



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
**DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

Jl. Pattimura No.20 Kebayoran Baru Jakarta Selatan 12110, Telp. (021) 7203165, Fax (021) 7393938

Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Bina Marga
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga



SURAT EDARAN  
NOMOR: 23 /SE/Db/2021  
TENTANG  
PEDOMAN DESAIN DRAINASE JALAN

A. Umum

Untuk meningkatkan kinerja pekerjaan konstruksi jalan serta menjamin kualitas dan melindungi struktur badan jalan, disusun Pedoman Desain Drainase Jalan (PDDJ) sebagai *policy technology* Direktorat Jenderal Bina Marga. Pedoman ini menyinkronkan beberapa pedoman/tata cara tentang Perencanaan Drainase Jalan yang telah diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Selain itu, pedoman ini merupakan revisi berupa penambahan terkait dengan drainase berwawasan lingkungan serta penekanan dalam hal pemahaman dan pertimbangan desain pada pelaksanaan desain drainase jalan.

Revisi dimaksud dilakukan antara lain terhadap struktur penyajian yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan dengan penambahan muatannya untuk melengkapi kebutuhan agar dapat diaplikasikan baik untuk desain jaringan jalan nasional maupun jaringan jalan daerah. Revisi ini disusun untuk mengakomodasi tantangan dan hambatan dalam penyelenggaraan jalan di Indonesia.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444)
2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655)
3. Peraturan Presiden Nomor 27 Tahun 2020 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 40)
4. Keputusan Presiden Nomor 52/TPA Tahun 2020 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Dari dan Dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

5. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 900)
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473)
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 26 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 16 Tahun 2020 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 1144).
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 9 Tahun 2021 tentang Konstruksi Berkelanjutan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 306).

#### C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan teknis desain drainase jalan baik untuk jaringan jalan nasional maupun untuk jaringan jalan daerah.

Surat Edaran ini bertujuan agar terlaksananya konstruksi jalan yang berkeselamatan, lancar dan nyaman serta dapat memberikan pelayanan secara optimal terhadap arus lalu lintas selama umur desain pelayanan.

#### D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini meliputi:

1. pertimbangan umum dan teknis serta kriteria desain drainase jalan;
2. ketentuan umum dan teknis desain hidrologi dan hidrolika;
3. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran permukaan perkerasan jalan;
4. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran terbuka;
5. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran tertutup;
6. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran gorong-gorong;
7. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran lereng;
8. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran bawah permukaan;
9. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain saluran dek jembatan (drainase jembatan);
10. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain polder (di lingkungan jalan); dan
11. ketentuan umum dan teknis dan prosedur desain drainase berwawasan lingkungan.

## E. Tata Cara Desain Drainase Jalan

Tata cara Pedoman desain drainase jalan ini terdiri atas 11 (sebelas) bagian ketentuan dan desain bangunan drainase jalan, yaitu:

1. Pertimbangan Desain : berisi pertimbangan umum dan pertimbangan teknis, serta kriteria desain sistem drainase jalan perkotaan/luar kota dalam pembangunan/peningkatan dan pemeliharaan sistem drainase jalan.
2. Desain Hidrologi dan Hidrolika : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup debit air rencana, penentuan curah hujan, hidrograf dalam mendesai analisa hidrologi dan hidrolika.
3. Desain Saluran Permukaan Perkerasan Jalan : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis bagian-bagian bangunan drainase, komponen desain, serta bagan alir dan prosedur desain saluran permukaan perkerasan jalan.
4. Desain Saluran Terbuka : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup jenis, tipe, kemiringan, aliran kritis, kapasitas, komponen desain, serta bagan alir dan prosedur desain saluran terbuka.
5. Desain Saluran Tertutup : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup ukuran, kecepatan aliran dalam pipa, selubung, alinemen, outlet, bangunan pelengkap saluran, komponen desain, serta bagan alir dan prosedur desain saluran tertutup.
6. Desain Saluran Gorong-Gorong : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup dimensi, kecepatan aliran minimum, kapasitas, kondisi aliran, selubung, penyumbatan, struktur inlet dan outlet, tipe dan jenis, komponen desain, serta bagan alir dan prosedur tahapan desain saluran gorong gorong.
7. Desain Saluran Lereng : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup klasifikasi /saluran lereng, jenis saluran, saluran tangkap, saluran puncak, penempatan saluran tangkap, bentuk dan kelengkapan saluran bangunan bocoran pada saluran lereng, saluran vertikal, komponen desain, serta bagan alir desain dan prosedur tahapan saluran lereng
8. Desain Saluran Bawah Permukaan : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup layout, tata letak, pemasangan pipa berlubang, pemasangan kain geotekstil, ketentuan bahan filter, dan komponen desain, serta bagan alir desain dan prosedur tahapan drainase bawah permukaan.
9. Desain Drainase Jembatan : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup pertimbangan teknis, kemiringan dek, saluran tepi, inlet, outlet, pipa cucuran, lubang drainase, sambungan pipa, cleanout, dan komponen desain, serta bagan alir dan prosedur tahapan desain drainase jembatan.
10. Desain Polder : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup data, kriteria konstruksi, sistem polder pada segmen ruang jalan, sistem polder pada area lahan, komponen desain, mendesain polder mencakup tampungan air, kriteria desain, debit dan geometrik rembesan air, kapasitas pompa, serta bagan alir desain polder.
11. Desain Drainase Berwawasan Lingkungan : berisi ketentuan umum, ketentuan teknis mencakup infiltrasi dan jenis LID di lingkungan jalan, mencakup bioretensi, sumur kering, lahan filter vegetasi, sengkedan

basah, perkerasan permeabel porous, ketentuan penerapan, efisiensi sistem LID dalam mereduksi polutan, komponen desain, serta bagan alir desain teknologi LID jalan.

Ketentuan lebih rinci mengenai tata cara desain drainase jalan termuat dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

#### F. Penutup

Dengan diterbitkannya Surat Edaran ini, Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga tentang Standar Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, SNI 03-3424-1994, Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan, No. 008/T/BNKT/1990, Direktorat Pembinaan Jalan Kota, Direktorat Jenderal Bina Marga, Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. Pd. T-02-2006-B tentang Perencanaan Sistem Drainase Jalan, dan Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, No. 05/BM/2013 tentang Perancangan Drainase Jalan Perkotaan dicabut dan dinyatakan tidak berlaku.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

#### Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal : 17 Desember 2021

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,





# PEDOMAN

No. 15 / P/ BM/ 2021

Bidang Jalan dan Jembatan

---

## PEDOMAN DESAIN DRAINASE JALAN

SALINAN



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

## PRAKATA

Pedoman desain drainase jalan ini akan menjadi acuan bagi penyelenggara jalan maupun pihak-pihak lain yang terlibat dalam pekerjaan desain drainase jalan pada jaringan jalan perkotaan dan luar kota meliputi semua jenis bangunan fasilitas saluran drainase.

Pedoman ini merupakan hasil sinkronisasi dari beberapa pedoman desain drainase jalan yang ada di Kementerian PUPR dengan beberapa penambahan penekanan pada aspek pemahaman dan pertimbangan serta pengalaman praktek lapangan yang baik (*Best practices*). Adanya pedoman desain drainase jalan ini, desain drainase yang ada pada Norma, Standar, Prosedur, dan Kriteria (NSPK) yang ada di Direktorat Jenderal Bina Marga sebelumnya tidak berlaku lagi.

NSPK yang terdahulu yaitu:

1. SNI 03-3424-1994, tentang Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan;
2. Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan, NO. 008/T/BNKT/1990, Direktorat Pembinaan Jalan Kota, Direktorat Jenderal Bina Marga;
3. Pedoman Konstruksi dan Bangunan Nomor Pd. T-02-2006-B tentang Perencanaan Sistem Drainase Jalan; dan
4. Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, Nomor 05/BM/2013 tentang Perancangan Drainase Jalan Perkotaan.

Penyusunan pedoman ini diprakarsai oleh Direktorat Pembangunan Jalan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan pedoman ini telah dibahas dalam forum tim teknis yang melibatkan narasumber, pakar, dan *stakeholder*.

Jakarta, 17 Desember 2021  
Direktur Jenderal Bina Marga,



Hedy Rahadian

## DAFTAR ISI

<b>PRAKATA</b> .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
Daftar Gambar .....	vi
Pendahuluan.....	xi
1. Ruang Lingkup .....	1
2. Acuan Normatif.....	1
3. Istilah dan Definisi .....	2
4. Pertimbangan Desain .....	18
5. Desain Hidrologi dan Hidrolika.....	36
6. Desain Saluran Permukaan Perkerasan Jalan.....	54
7. Desain Saluran Terbuka.....	75
8. Desain Saluran Tertutup .....	106
9. Desain saluran gorong-gorong.....	133
10. Desain saluran lereng .....	151
11. Desain Saluran Bawah Permukaan .....	168
12. Desain drainase jembatan .....	205
13. Desain polder .....	221
14. Desain drainase berwawasan lingkungan .....	244
Lampiran A. Penerapan desain bangunan drainase .....	264
Lampiran Bibliografi.....	319
Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa.....	322

## DAFTAR TABEL

Tabel 5-1	Pemilihan Metoda Curah Hujan.....	43
Tabel 5-2	Perbandingan Rumus Hidrograf Satuan Sintesis Cara ITB, SCS, Nakayasu dan GAMA-1 .....	45
Tabel 5-3	Perbandingan Rumus Hidrograf Satuan Sintesis Cara ITB, SCS, Nakayasu dan GAMA-1 (Lanjutan).....	48
Tabel 5-4	Berbagai Rumus Time Lag dan Waktu Puncak untuk HS cara ITB .....	50
Tabel 5-5	Distribusi Hujan Efektif Kasus DAS Kecil .....	53
Tabel 6-1	Tipikal Kemiringan Melintang Badan Jalan dan Bahu Jalan.....	56
Tabel 6-2	Koefisien Kekasaran Menning .....	63
Tabel 6-3	Standar Waktu Konsentrasi <i>Inlet</i> .....	64
Tabel 6-4	Ukuran Lubang Pemasukan Samping.....	66
Tabel 7-1	Tipe Penampang Saluran Samping Jalan .....	77
Tabel 7-2	Kecepatan Alir Ijin ( <i>Kinori, 1970</i> ).....	78
Tabel 7-3	Kecepatan Aliran Air yang diijinkan Berdasarkan Jenis Material .....	80
Tabel 7-4	Kemiringan Talud Saluran yang direkomendasikan .....	81
Tabel 7-5	Kemiringan Saluran Memanjang ( $l_s$ ) Berdasarkan Jenis Material .....	81
Tabel 7-6	Hubungan Kemiringan Saluran ( $i_s$ ) dan Jarak Pematah Arus ( $l_p$ ).....	82
Tabel 7-7	Kekasaran manning untuk saluran dengan pelapis kaku dari batu, dengan kedalaman aliran air dangkal .....	86
Tabel 7-8	Kekasaran manning bagi saluran-saluran berumput (tinggi rumput 50–150 mm) (QUD M, 2013).....	87
Tabel 7-9	Angka kekasaran manning ( $n$ ) tipe dan kondisi saluran .....	88
Tabel 7-10	Tipikal Kehilangan Energi karena Transisi pada Saluran Terbuka (QUDM, 2013).....	93
Tabel 7-11	Kemiringan Talud Berdasarkan Debit Aliran .....	95
Tabel 7-12	Rumus untuk Menghitung Komponen Penampang Saluran.....	97
Tabel 7-13	Jarak antara <i>outlet</i> .....	99
Tabel 8-1	Kecepatan Berdasarkan Diameter Pipa dan Kemiringan .....	107
Tabel 8-2	Nilai kekasaran pipa , $k_p$ (m) .....	122
Tabel 9-1	Kecepatan aliran maksimum pada gorong-gorong .....	137
Tabel 9-2	Faktor-faktor penyumbatan untuk diterapkan pada gorong-gorong ....	140
Tabel 9-3	Tipe penampang gorong-gorong .....	141
Tabel 10-1	Kelas kemiringan lereng .....	152
Tabel 10-2	Desain dan contoh sarana drainase lereng .....	156
Tabel 10-3	Jenis saluran dan peruntukan .....	156
Tabel 10-4	Pelaksanaan saluran drainase lereng .....	160
Tabel 10-5	Penyebab dan sarana untuk menghindari.....	161



Tabel 10-6	Uraian bangunan untuk membuang bocoran air pada lereng .....	162
Tabel 11-1	Jenis saluran tangkap pada drainase bawah permukaan .....	172
Tabel 11-2	Panjang pipa drainase sesuai kemiringan tanah .....	182
Tabel 11-3	Jarak interval antara pipa-pipa drainase .....	183
Tabel 11-4	Penempatan bahan komponen pipa drainase .....	183
Tabel 11-5	Lokasi saluran bawah permukaan .....	183
Tabel 11-6	Pemasangan pipa berlubang sesuai jenis tanah .....	185
Tabel 11-7	Persyaratan bahan filter .....	186
Tabel 11-8	Ketentuan diameter butir .....	186
Tabel 11-9	Pemasangan saluran bawah permukaan samping jalan sesuai kondisi medan .....	191
Tabel 11-10	Sifat dan pemasangan pipa berlubang/perforasi .....	192
Tabel 11-11	Ringkasan Rumus Aliran Dalam Pipa .....	196
Tabel 11-12	Jarak horizontal berdasarkan jenis tanah.....	202
Tabel 13-1	Bentuk system drainase polder pada daerah lahan.....	227
Tabel 13-2	Rasio hubungan $k_{bottom}/k_{top}$ dan $B_{bottom}/B_{top}$ .....	238
Tabel 14-1	Karakteristik Bioretensi .....	246
Tabel 14-2	Karakteristik <i>drywell</i> .....	248
Tabel 14-3	Karakteristik <i>filter/ buffer strip</i> .....	249
Tabel 14-4	Karakteristik saluran rumput ( <i>Grassed Swales</i> ).....	251
Tabel 14-5	Batasan dalam penerapan LID .....	254
Tabel 14-6	Efisiensi berbagai sistem LID mereduksi polutan .....	256

## Daftar Gambar

Gambar 4-1	Bagian-Bagian Ruang Jalan .....	22
Gambar 4-2	Tipikal Jalan Dua Lajur Dua Arah .....	23
Gambar 4-3	Tipikal Jalan Empat Lajur Dua Arah Takterbagi.....	23
Gambar 4-4	Tipikal Jalan Empat Lajur Dua Arah Terbagi .....	23
Gambar 4-5	Tipikal Jalan Delapan Lajur Dua Arah Terbagi, dilengkapi Separator....	24
Gambar 4-6	Tipikal dan Kemiringan Jalan pada Tikungan .....	24
Gambar 4-7	Tipikal Bentuk Kemiringan Melintang Jalan .....	25
Gambar 4-8	Kondisi Medan Jalan Datar Antara Kota .....	25
Gambar 4-9	Kondisi Medan Jalan Datar Perkotaan .....	26
Gambar 4-10	Kondisi Medan Jalan Bukit.....	26
Gambar 4-11	Kondisi Medan Jalan Pegunungan .....	26
Gambar 4-12	Tata Letak Gorong-Gorong di Daerah Ladang Basah (Cara Sederhana) .....	28
Gambar 4-13	Bentuk Lereng dan Pengaruhnya Terhadap Hidrologi.....	33
Gambar 5-1	Lokasi Pos Pengamatan Hujan .....	42
Gambar 5-2	Perhitungan Curah Hujan dengan Cara <i>Polygon Thiessen</i> .....	42
Gambar 5-3	Perhitungan Curah Hujan dengan Cara Isohyet .....	43
Gambar 5-4	Integrasi Numerik Kurva Hidrograf dengan Metoda Trapesium .....	51
Gambar 5-5	Superposisi Hidrograf .....	52
Gambar 5-6	Hidrograf Banjir DAS Kecil 0.250 km <sup>2</sup> dan L=0.120 km. ....	53
Gambar 6-1	Tipikal Sisi Luar Jalan Perkotaan dan Luar Kota .....	55
Gambar 6-2	Kemiringan Melintang Jalan .....	56
Gambar 6-3	Arah Aliran pada Tikungan dengan Superelevasi.....	57
Gambar 6-4	Pembuatan Saluran Bantu ke Alur Alam atau Sungai .....	58
Gambar 6-5	Titik Masuk Air ke dalam Bagian Struktur Perkerasan Jalan (Cedergren,1973a).....	58
Gambar 6-6	Jalur Aliran Air Permukaan dan Air Bawah Permukaan pada Bagian Struktur Perkerasan Beton Semen Portland (Cedergren, 1973a) .....	59
Gambar 6-7	Tampak atas Geometrik Jalan.....	60
Gambar 6-8	Fitur Bagian Sisi Perkerasan Jalan .....	60
Gambar 6-9	Berbagai Bentuk Penampang Melintang Saluran Talang Air .....	61
Gambar 6-10	Tinggi dan Lebar Genangan Pada Kereb .....	61
Gambar 6-11	Diagram Debit Aliran pada Saluran Berbentuk Segitiga .....	63
Gambar 6-12	Kapasitas Lubang Pemasukan Samping .....	65
Gambar 6-13	Inlet Jalan sesuai Kemiringan Memanjang Jalan > 4 % .....	67
Gambar 6-14	Contoh Saluran Inlet Jalan .....	67

Gambar 6-15 Inlet Saluran Tepi.....	68
Gambar 6-16 Inlet Kereb Tepi ( <i>curb opening inlet</i> ) .....	68
Gambar 6-17 Inlet Kombinasi.....	68
Gambar 6-18 Lokasi Inlet yang direkomendasikan di hilir akibat perubahan Kemiringan Longitudinal .....	69
Gambar 6-19 Lokasi Inlet pada Lokasi Tertentu (Kaki Simpang atau Bus Stop) .....	70
Gambar 6-20 Geometrik Saluran Talang/Tali Air .....	71
Gambar 6-21 Bagan Alir Desain Saluran Permukaan Badan Jalan .....	72
Gambar 7-1 Bentuk Pematah Arus .....	82
Gambar 7-2 Solusi terhadap rumus manning untuk saluran berumput ( <i>grassed swales</i> ) berbentuk 'V' (MSMA, 2012) .....	83
Gambar 7-3 Solusi untuk rumus manning, untuk saluran berumput berbentuk Trapesium (MSMA, 2012).....	84
Gambar 7-4 Solusi untuk rumus manning untuk saluran trapesium dengan pelapis kaku (MSMA, 2012).....	85
Gambar 7-5 Daerah Layanan Tampungan Air Hujan.....	91
Gambar 7-6 $d_{50}$ ukuran untuk kurva saluran sedang (<5%).....	92
Gambar 7-7 Kemiringan Pengembangan Maksimum .....	93
Gambar 7-8 Penampang Saluran Terbuka Bentuk Segi Tiga.....	95
Gambar 7-9 Penampang Saluran Terbuka Bentuk Trapesium .....	95
Gambar 7-10 Penampang Saluran Terbuka Bentuk Segi Empat .....	96
Gambar 7-11 Penampang Saluran Terbuka Bentuk Lingkaran .....	96
Gambar 7-12 Tinggi Jagaan Saluran.....	98
Gambar 7-13 Penampang Melintang Saluran Samping Jalan .....	99
Gambar 7-14 Bagan Alir Desain Saluran Terbuka .....	100
Gambar 7-15 Bagan Alir Perhitungan Debit Rencana dan Debit Saluran .....	104
Gambar 7-16 Bagan Alir Perhitungan Dimensi Saluran dan Kemiringan Saluran.....	105
Gambar 8-1 Diagram Debit Aliran Saluran Bentuk Segitiga .....	107
Gambar 8-2 Diagram Debit Aliran pada <i>Box Culvert</i> .....	108
Gambar 8-3 Diagram Debit Aliran pada Pipa .....	109
Gambar 8-4 Konfigurasi Tipikal Tapak Batu <i>Outlet</i> .....	110
Gambar 8-5 Orientasi dan Jarak Aman Tipikal Outlet Saluran .....	111
Gambar 8-6 Sistem Gorong-Gorong Kotak Tipikal menggunakan <i>U-Ditch</i> Pracetak .....	113
Gambar 8-7 Contoh Bentuk Bak Kontrol .....	114
Gambar 8-8 Aliran Pengaliran dengan Luas Penampang Penuh dan Tanpa Tekanan .....	115
Gambar 8-9 Kondisi Pengaliran Luas Penampang Penuh dan dengan Tekanan ...	116
Gambar 8-10 Dimensi Aliran pada Penampang Lingkaran.....	117

Gambar 8-11	Debit dan Kecepatan Air dalam Pipa yang Terisi Sebagian .....	117
Gambar 8-12	Komponen Sistem Saluran Tertutup .....	119
Gambar 8-13	Kondisi HGL di Hilir Pipa .....	119
Gambar 8-14	Tinggi kritis aliran dalam pipa .....	121
Gambar 8-15	Tinggi kritis aliran dalam box culvert .....	121
Gambar 8-16	Diagram “Moody” untuk nilai kekasaran pipa tertekan.....	123
Gambar 8-17	Ringkasan ketentuan garis hidrolis ( <i>hydraulic grade line</i> ) dan garis energi ( <i>energy grade line</i> ).....	124
Gambar 8-18	Tipikal koefisien kehilangan energi (nilai-nilai K) untuk struktur hidraulik .....	127
Gambar 8-19	Konfigurasi umum bantalan batu saluran buang.....	128
Gambar 8-20	Ukuran dari struktur-struktur batu kering untuk pipa tunggal atau gorong-gorong kotak.....	129
Gambar 8-21	Ukuran dari struktur-struktur batu kering untuk pipa jamak atau gorong- gorong Kotak (QUDM, 2013) .....	129
Gambar 8-22	Bagan alir desain saluran tertutup.....	131
Gambar 9-1	Bagian konstruksi gorong-gorong.....	134
Gambar 9-2	Jarak antara gorong-gorong .....	136
Gambar 9-3	Gorong Gorong Sebagai Saluran Alami.....	138
Gambar 9-4	Metode penempatan gorong-gorong keterangan lokasi dalam saluran alami akan memerlukan gorong-gorong yang terlampau panjang.....	139
Gambar 9-5	Struktur tipikal outlet (DID, 2012) .....	140
Gambar 9-6	Gorong-gorong persegi ( <i>box culvert</i> ) dari beton bertulang.....	141
Gambar 9-7	Beberapa tipe gorong-gorong.....	142
Gambar 9-8	Aliran air di gorong-gorong – <i>Inlet controlled</i> (CPAA, 1983).....	143
Gambar 9-9	Aliran Air di gorong-gorong berbentuk lingkaran – <i>Inlet Controlled</i> (CPAA, 1983) .....	144
Gambar 9-10	Aliran air gorong-gorong berbentuk persegi panjang, <i>Inlet Controlled</i> (CPAA, 1983) .....	145
Gambar 9-11	Aliran Air di gorong-gorong – <i>Outlet Controlled</i> .....	146
Gambar 9-12	Aliran Air di Gorong-Gorong Berbentuk Lingkaran – <i>Outlet Controlled</i> (CPAA, 1983) .....	147
Gambar 9-13	Aliran Air di Gorong-Gorong Berbentuk Persegi Panjang – <i>Outlet Controlled</i> (CPAA, 1983) .....	148
Gambar 9-14	Bagan alir desain gorong-gorong .....	149
Gambar 10-1	Saluran pencegat.....	153
Gambar 10-2	Sketsa lereng secara melintang .....	154
Gambar 10-3	Lokasi saluran penangkap secara melintang jalan .....	155
Gambar 10-4	Saluran tanpa lapisan pelindung dan saluran semen tanah.....	158

Gambar 10-5	Sketsa saluran beton tulangan bentuk “U” (a) dan setengah lingkaran (b) .....	159
Gambar 10-6	Sketsa saluran beton tulangan bentuk “U” pada saluran drain memanjang .....	159
Gambar 10-7	Sketsa penampang melintang suatu banquette .....	160
Gambar 10-8	Sketsa bocoran lambat ( <i>Oozing</i> ) pada lereng.....	161
Gambar 10-9	Sketsa galian yang diisi batu beserta tata letak .....	163
Gambar 10-10	Sketsa bronjong kawat pada lereng .....	163
Gambar 10-11	Sketsa suling-suling .....	164
Gambar 10-12	Bentuk saluran vertical pada lereng .....	164
Gambar 10-13	Bagan alir desain saluran permukaan badan jalan.....	166
Gambar 11-1	Mekanisme terjadinya kelembaban pada lapisan strukur perkerasan jalan .....	170
Gambar 11-2	Drainase bawah permukaan dalam beberapa kombinasi air permukaan .....	171
Gambar 11-3	Drainase bawah permukaan.....	171
Gambar 11-4	Drainase untuk infiltrasi permukaan dengan drainase bawah permukaan .....	174
Gambar 11-5	Drainase untuk infiltrasi air permukaan dengan drainase bawah permukaan .....	174
Gambar 11-6	Saluran drainase bawah permukaan untuk menurunkan level air tanah asli.....	175
Gambar 11-7	Filter permeabel untuk menurunkan efek perbedaan akuifer dan permeabel .....	175
Gambar 11-8	Parit untuk mencegah aliran melalui lapisan permeabel serong .....	176
Gambar 11-9	Filter permeabel untuk menurunkan efek head dari akuifer permeable .....	176
Gambar 11-10	Saluran drainase permukaan dan bawah permukaan .....	177
Gambar 11-11	Drainase permukaan dan bawah permukaan prancis .....	177
Gambar 11-12	Drainase permukaan dan bawah permukaan block.....	178
Gambar 11-13	Saluran drainase bawah permukaan dengan saluran peniris .....	178
Gambar 11-14	Saluran drainase dan kerb .....	179
Gambar 11-15	Sengkedan dilengkapi Fin Drain (a) .....	179
Gambar 11-16	Sengkedan dilengkapi Fin Drain (b) .....	180
Gambar 11-17	Pemasangan geotekstil pada saluran drainase bawah permukaan prancis.....	180
Gambar 11-18	Sketsa saluran drainase melintang.....	181
Gambar 11-19	Saluran <i>drain</i> yang dipasang secara melintang jalan .....	182
Gambar 11-20	Pemasangan lembar geotekstil pada drainase bawah permukaan....	184
Gambar 11-21	Kurva distribusi diameter butiran dari bahan filter.....	187

Gambar 11-22	Jenis drainase bawah permukaan.....	191
Gambar 11-23	Geometrik Pengurasan .....	195
Gambar 11-24	Diagram untuk penentuan kapasitas pipa.....	197
Gambar 11-25	Bagan untuk menentukan laju aliran menjadi dasar permeabel horizontal.....	199
Gambar 11-26	Lapisan kedap air dalam.....	200
Gambar 11-27	Geometrik drainase dan garis hidrolik secara melintang jalan .....	201
Gambar 11-28	Bagan alir proses desain drainase bawah permukaan .....	203
Gambar 12-1	Saluran talang air .....	207
Gambar 12-2	Efisiensi tangkapan aliran frontal untuk berbagai jenis jeruji .....	210
Gambar 12-3	Ilustrasi Drainase Jembatan .....	213
Gambar 12-4	Inlet Tipe Jeruji (HEC 12) .....	213
Gambar 12-5	Jenis jeruji (HEC 12).....	214
Gambar 12-6	Bagan Alir Desain Inlet Jembatan .....	216
Gambar 12-7	Bagan alir desain inlet jembatan .....	220
Gambar 13-1	Skema Drainase Sistem Polder pada Segmen Jalan .....	224
Gambar 13-2	Skema drainase sistem polder pada persimpangan <i>underpass</i> .....	225
Gambar 13-3	Komponen bangunan drainase sistem polder yang ideal .....	226
Gambar 13-4	Kumulatif debit masuk dan keluar serta volume tampungan .....	229
Gambar 13-5	Sistem polder pada ruas jalan .....	230
Gambar 13-6	Sistem polder pada perlintasan jalan tak sebidang/ <i>underpass</i> .....	231
Gambar 13-7	Aliran air dalam area lahan polder satu kolam tampungan .....	232
Gambar 13-8	Aliran air dalam area lahan polder dua kolam retensi.....	233
Gambar 13-9	Kondisi stasioner muka air tanah dengan curah hujan normal (m/d) ..	235
Gambar 13-10	Hubungan antara kedalaman saluran dan jarak saluran .....	236
Gambar 13-11	Pompa <i>centrifugal</i> .....	239
Gambar 13-12	<i>Pompa axial</i> .....	239
Gambar 13-13	<i>Pompa aliran campuran</i> .....	240
Gambar 13-14	Bagan Alir Proses Desain Drainase Sistem Polder .....	241

## Pendahuluan

Adanya kelebihan air atau kelembaban yang tidak semestinya di dalam struktur badan jalan, akan berdampak menurunnya kinerja teknik material struktur konstruksi, fungsional dan lingkungan jalan. Karena itu struktur badan jalan harus dilindungi dari masuknya air, baik dari aliran permukaan saat hujan maupun dari aliran air bawah permukaan, yaitu melalui pengelolaan laju dan *volume* aliran air dalam upaya mengurangi risiko lebih buruk pada sistem jalan dan lingkungan.

Indonesia yang beriklim tropis dengan curah hujan cukup tinggi, ini sangat berisiko masuknya air ke badan jalan jika tidak dikelola dengan pengendalian yang baik dan benar, bisa terjadi kerusakan lingkungan, konstruksi perkerasan jalan sebelum mencapai umur rencananya dan hambatan lalu lintas. Banyak terjadi kerusakan di beberapa ruas jalan di Indonesia, yang diduga salah satu penyebabnya adalah masalah penanganan drainase jalan yang kurang optimal, kondisi tersebut menyebabkan terjadinya hambatan lalu lintas yang berdampak pada kerugian waktu, biaya dan sosial yang besar bagi pengguna jalan. Penanganan yang tepat menjadi sangat penting, kita ketahui adanya tahapan penanganan, yang dimulai dari perencanaan, desain, pengoperasian dan pemeliharaan. Pada tahap desain dibutuhkan adanya pedoman desain drainase yang lebih komprehensif yang tidak fokus pada masalah aspek teknis saja, tetapi perlunya memperhatikan aspek pemahaman dan pertimbangan menyangkut keselamatan, fungsi, peran, prinsip, dan dampak.

Dari beberapa pedoman desain drainase jalan yang ada, pada dasarnya sudah mengakomodasi semua kepentingan desain drainase jalan secara teknis. Pada pedoman ini, menyusun kembali dengan mensinkronisasi dari beberapa pedoman drainase yang ada di Kementerian PUPR. Selain itu adanya penambahan penekanan dalam hal pemahaman dan pertimbangan desain dari pengalaman praktek lapangan yang baik (*Best practices*).

Pemahaman dan pertimbangan dalam desain drainase diperlukan karena desain sistem drainase jalan membutuhkan pola pikir yang menyeluruh dan terpadu (*Integrated sistem*), yang melibatkan stakeholder terkait (*Multi Stakeholder*) dan lintas sektoral guna menyelesaikan persoalan dan dampak di hulu dan hilir serta lingkungan jalan itu sendiri. Pedoman ini bertujuan untuk menyediakan berbagai teknik, metodologi, dan pedoman untuk mencapai tujuan desain drainase jalan, sehingga didapat keseragaman dalam drainase jalan perkotaan dan luar kota, sehingga bisa menghasilkan desain teknis yang dapat memberikan aspek keselamatan, kelancaran dan kenyamanan bagi penggunaan jalan dan lingkungan. Tujuan lain terutama bagi parapraktisi jalan agar mampu memahami permasalahan dan dampak serta pemeliharaan.

Lingkup substansi analisis pedoman ini mencakup analisis yang dimulai dari analisis hidrologi dan hidrolika, meliputi desain komponen bangunan drainase jalan, yaitu saluran; permukaan, terbuka, tertutup, lereng, bawah permukaan, jembatan dan polder serta drainase jalan berwawasan lingkungan.

SALINAN



## Pedoman Desain Drainase Jalan

### 1. Ruang Lingkup

Pedoman ini menetapkan pertimbangan, ketentuan umum, ketentuan teknis, dan cara pengerjaan. Area yang dilingkupi meliputi area seluas tangkapan air hujan (*catchment area*), yang berpotensi menjadi air banjir rencana untuk saluran bangunan drainase jalan, yaitu meliputi area badan jalan dan ruang pengawasan jalan (Ruwasja), Ruwasja seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1, dan/atau kemungkinan secara teknis adanya pertimbangan penambahan ruang tertentu di luar Ruwasja.

Pedoman ini dapat diterapkan pada semua sistem jaringan jalan, baik di jaringan jalan perkotaan maupun di luar kota, bangunan fasilitas drainase jalan yang dibahas meliputi:

- a. Saluran permukaan perkerasan jalan;
- b. Saluran terbuka, meliputi; saluran samping dan median;
- c. Saluran tertutup, yaitu saluran gorong-gorong;
- d. Saluran tangkap;
- e. Saluran bawah permukaan;
- f. Drainase jembatan;
- g. Saluran polder;
- h. Drainase jembatan; dan
- i. Drainase berwawasan lingkungan.

### 2. Acuan Normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini:

Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444)

Peraturan Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Desain Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 900)

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 1451)

SNI 03-1724-1989 tentang Tata Cara Desain Hidrologi dan Hidrolika untuk Bangunan di Sungai

SNI 02-2406-1991 tentang Tata Cara Desain Umum Drainase Perkotaan

SNI 03-2415-1991 tentang Metode Perhitungan Debit Banjir

SNI 03-3424-1994 tentang Tata Cara Pereencanaan Drainase Permukaan Jalan

SNI 03-2453-2002 tentang Tata Cara Desain Sumur Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan

SNI 3981: 2008 tentang Desain Instalasi Saringan Pasir Lambat

SNI-2415-2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana

Pt. T-04-2002-B tentang Tata Cara Penanggulangan Erosi Permukaan Lereng Permukaan Jalan dengan Tanaman

Pd. T-02-2002-B tentang Tata Cara Desain Geometrik Persimpangan Sebidang

Pd. T-16-2004-B tentang Survei Inventarisasi Geometrik Jalan Perkotaan

Pd.T-02-2006-B tentang Pedoman Desain Sistem Drainase Jalan

Pd. T-05/BM/2013 tentang Perancangan Drainase Jalan Perkotaan

Manual Nomor 01/BM/2005 tentang Hidrolika Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan

### 3. Istilah dan Definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini, adalah sebagai berikut :

#### 3.1

##### **air hujan (*stormwater*)**

air akibat *runoff* dari suatu kejadian turunnya hujan. Selama suatu kejadian turun hujan, sebagian air tetap di atas permukaan atau tertahan di dalam tanah atau akuifer bawah tanah sebagai air tanah, sebagian air digunakan langsung oleh tanaman dan sisanya mengalir di permukaan. Aliran di atas tanah (*overland*) adalah yang disebut air hujan (*stormwater*). Air ini bisaanya bergerak sebagai aliran *overland (sheet) flow* atau aliran saluran (terkonsentrasi).

#### 3.2

##### **aliran kritis (*critical flow*)**

aliran di dalam suatu saluran terbuka pada energi spesifik minimum dan mempunyai bilangan Froude setara 1,0.

#### 3.3

##### **aliran *orifice***

aliran air melalui suatu bukaan terendam dan dikendalikan oleh gaya-gaya tekanan

### 3.4

#### **aliran *subkritis***

aliran bercirikan kecepatan rendah, kedalaman besar, kemiringan sedang, dan bilangan Froude kurang dari 1,0.

### 3.5

#### **aliran *superkritis***

aliran bercirikan kecepatan tinggi, kedalaman dangkal, kemiringan curam, dan bilangan Froude lebih dari 1,0.

### 3.6

#### ***hidroplaning***

*hidroplaning* atau yang bisaa orang sebut juga dengan *hydroplaning*, merupakan kondisi dimana ban mobil mengambang atau tidak benar-benar menyentuh permukaan jalan akibat ban mobil tidak mampu menepis genangan air.

### 3.7

#### **badan air penerima**

wadah-wadah air alamiah atau buatan berupa laut, sungai, danau, kolam retensi, kolam detensi, kolam tandon, sumur resapan, dan sarana resapan lainnya yang ramah lingkungan.

### 3.8

#### **badan jalan**

bagian jalan yang meliputi jalur lalu lintas, dengan atau tanpa jalur pemisah, dan bahu jalan.

### 3.9

#### **bahu jalan**

bagian ruang manfaat jalan yang berdampingan dengan jalur lalu lintas untuk menampung kendaraan yang berhenti, keperluan darurat, dan untuk pendukung samping bagi lapis pondasi bawah, dan lapis permukaan.

### 3.10

#### **bangunan pelengkap drainase jalan**

bangunan air yang melengkapi sistem drainase jalan berupa, gorong-gorong, bangunan pertemuan, bangunan terjunan, siphon, talang, tali air/*street inlet*, pompa, dan pintu air.

### 3.11

#### **bangunan pelengkap**

bangunan air yang melengkapi drainase berupa gorong-gorong, bangunan pertemuan, bangunan terjunan, siphon, talang, tali air/*street inlet*, pompa dan pintu air

### 3.12

#### **banjir**

aliran air tinggi yang melimpasi tepian alami atau buatan di bagian manapun dari suatu kali atau sungai

### 3.13

#### **barrel**

saluran conduit tertutup digunakan untuk mengalirkan air di bawah atau melalui suatu timbunan yang menjadi bagian dari *spillway* utama

### 3.14

#### **buangan (*outfall*)**

titik atau struktur Keterangan saluran tertutup (*conduit*) mengeluarkan aliran ke badan air

### 3.15

#### **daerah tangkapan air (*dta*)**

daerah yang mengalirkan air hujan ke dalam saluran dan/atau badan air penerima lainnya.

### 3.16

#### **daerah tangkapan/layanan (*catchment area*)**

suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah ataupun buatan terutama dibatasi punggung-punggung bukit dan atau elevasi tertinggi segmen jalan yang ditinjau, Keterangan air meresap dan atau mengatur dalam suatu sistem pengaliran melalui lahan tersebut.

### 3.17

#### **debit aliran (*Q*)**

volume air yang mengalir melalui benda uji pada waktu tertentu pada perbedaan tinggi tekanan.

### 3.18

#### **debit banjir rencana**

debit maksimum dari suatu sistem drainase yang didasarkan periode ulang tertentu yang digunakan dalam desain.

### 3.19

#### **drainase**

prasarana yang berfungsi mengalirkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air penerima.

### 3.20

#### **drainase jalan**

prasarana yang dapat bersifat alami ataupun buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah, biasanya menggunakan bantuan gaya gravitasi, yang terdiri atas saluran samping dan gorong-gorong ke badan air penerima atau

tempat peresapan buatan (contoh: sumur resapan air hujan atau kolam drainase tampungan sementara).

### **3.21**

#### **drainase permukaan**

- a. sarana untuk mengalirkan air, dari suatu tempat ke tempat lain;
- b. suatu jaringan saluran yang umumnya berbentuk saluran terbuka yang berfungsi untuk mengalirkan air hujan dari suatu daerah pelayanan ke tempat pembuangan yang umumnya berbentuk badan air;
- c. prasarana yang dapat bersifat alami atau buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun air tanah, bisaanya menggunakan bantuan gaya gravitasi

### **3.22**

#### **drainase bawah permukaan**

sarana untuk mengalirkan air yang berada di bawah permukaan dari suatu tempat ke tempat lain dengan tujuan melindungi bangunan yang berada di atasnya.

### **3.23**

#### **drainase jalan luar kota**

prasarana yang dapat bersifat alami atau buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah secara gravitasi, yang terdiri atas saluran samping dan gorong-gorong kesaluran terdekat dari sistem drainase jalan luar kota atau ke badan air penerima.

### **3.24**

#### **drainase jalan perkotaan**

prasarana yang dapat bersifat alami atau buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan maupun bawah tanah secara gravitasi, yang terdiri atas saluran samping dan gorong-gorong ke saluran terdekat dari sistem drainase perkotaan atau ke badan air penerima.

### **3.25**

#### **drainase perkotaan**

drainase di wilayah kota yang berfungsi mengelola/mengendalikan air permukaan, sehingga tidak mengganggu dan atau merugikan masyarakat.

### **3.26**

#### **drainase perkotaan berwawasan lingkungan**

prasarana drainase di wilayah kota yang berfungsi mengelola/mengendalikan air permukaan (limpasan air hujan) sehingga tidak menimbulkan masalah genangan, banjir, dan kekeringan bagi masyarakat, dan bermanfaat bagi kelestarian lingkungan hidup.

### 3.27

#### **drainase permukaan jalan**

prasarana yang dapat bersifat alami atau buatan yang berfungsi untuk memutuskan dan menyalurkan air permukaan jalan, yang bisaanya menggunakan bantuan gaya gravitasi dan mengalirkannya ke badan-badan air.

### 3.28

#### **dataran banjir (*Floodplain*)**

dataran rendah bersebelahan dengan badan air yang kerap kebanjiran.

### 3.29

#### **debit (*discharge*)**

volume air yang mengalir melewati suatu penampang melintang saluran atau jalur air persatuan waktu.

### 3.30

#### **debit banjir rencana (*design discharge*)**

debit maksimum dari suatu sungai, atau saluran yang besarnya didasarkan atas kala ulang tertentu.

### 3.31

#### **Daerah Aliran Sungai (DAS)**

suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas didarat merupakan pemisah topografis dan batas laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

### 3.32

#### **daerah pengaliran (*catchment*)**

suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah ataupun buatan terutama dibatasi punggung-punggung bukit dan atau elevasi tertinggi segmen yang ditinjau, Keterangan air meresap dan atau mengalir dalam suatu pengaliran melalui lahan tersebut.

### 3.33

#### **dataran basah (*wetland*)**

daerah-daerah yang tergenang atau jenuh oleh air permukaan atau air tanah pada frekuensi dan durasi yang mencukupi untuk menopang, di bawah keadaan normal, suatu kelaziman tumbuhan yang bisaanya sudah teradaptasi untuk hidup di dalam kondisi tanah jenuh air. Dataran basah umumnya termasuk rawa, paya, dan tanah berlumpur.

### 3.34

#### **detensi (*detention*)**

penampungan sementara aliran air hujan di dalam kolam, yang digunakan untuk mengendalikan besaran debit puncak oleh besaran pelepasan terkontrol.

### 3.35

#### **erosi**

penggerusan, pengikisan atau pelepasan material akibat air.

### 3.36

#### **evaluasi**

kegiatan untuk menilai, memperbaiki dan meningkatkan seberapa jauh sebuah proyek atau program kegiatan dapat berjalan secara efektif, efisien dan optimal seperti yang telah dirumuskan bersama.

### 3.37

#### **freeboard**

ruang dari puncak suatu tanggul ke elevasi muka air tertinggi yang diperkirakan dari kejadian tampungan rencana terbesar. Ruang ini diperlukan sebagai margin keamanan di dalam suatu kolam atau genangan.

### 3.38

#### **gorong-gorong**

suatu bangunan yang berfungsi sebagai saluran drainase, yang memungkinkan air untuk mengalir di bawah jalan.

### 3.39

#### **garis kemiringan energi (*Energy Grade line*)**

suatu garis yang mewakili elevasi *head* energi (dalam kaki atau meter) dari air yang mengalir dalam suatu pipa, saluran tertutup, atau saluran terbuka. Garis ini di atas garis kemiringan hidrolika (*gradien*) pada jarak sama dengan *head* kecepatan aliran air ( $V^2/2g$ ) yang mengalir di setiap ruas atau titik sepanjang pipa atau saluran.

### 3.40

#### **garis kemiringan hidrolika (*Hydraulic Grade Line /HGL*)**

suatu garis bersinggungan dengan muka aliran air di dalam suatu saluran terbuka. Dalam suatu saluran tertutup dengan aliran bertekanan, HGL adalah muka air Keterangan air akan meninggi di dalam tabung pada titik manapun sepanjang pipa. Hal ini sama dengan elevasi garis grade energi. Garis ini sama dengan elevasi garis grade energi dikurangi head kecepatan aliran,  $V^2/2g$ .

### 3.41

#### **gradien hidrolika**

kemiringan permukaan air atau potensiometrik. Perubahan *head* statis per satuan jarak dalam arah tertentu. Jika tidak ditentukan, arah tersebut umumnya dipahami yang Keterangan tingkat penurunan *head* maksimum.

### 3.42

#### **grate Inlets**

batang-batang dan/atau melintang disusun untuk membentuk suatu struktur *inlet*.

### 3.43

#### **head hidrolika**

tinggi di atas bidang datum (seperti muka air laut) dari kolom air yang ditopang oleh tekanan hidrolika pada suatu titik tertentu dalam air tanah. Untuk sumur, *head* hidrolika adalah sama dengan jarak antara muka air di sumur dan bidang datum.

### 3.44

#### **hidrograf**

suatu grafik yang menunjukkan tahapan, aliran, kecepatan, atau karakteristik air lainnya terhadap waktu. Hidrograf sungai bisaanya menunjukkan debit aliran, hidrograf air tanah menunjukkan muka air atau *head*.

### 3.45

#### **hidrologi**

hidrologi adalah:

- a. Ilmu yang berhubungan dengan air di bumi, ketersediaan, peredaran dan sebarannya, sifat kimia dan fisiknya, reaksi dengan lingkungannya, termasuk hubungannya dengan makhluk hidup serta proses yang mengendalikan penyusutan dan pengisiulangannya sumber daya air daratan dan berbagai fase daur hidrologi. Dalam pedoman ini terbatas pada hidrologi terapan.
- b. Bidang ilmu yang mempelajari siklus pergerakan air yang berada di muka bumi ini, baik yang akhirnya mengalir sebagai limpasan permukaan (*surface run-off*) maupun yang meresap masuk ke dalam tanah dan menjadi aliran air tanah (manual hidrolika dan jembatan)

### 3.46

#### **hidrolika**

hidrolika adalah:

- a. ilmu yang mempelajari gerak air termasuk material yang dibawanya
- b. Ilmu yang mempelajari sifat dan hal-hal yang terkait dengan aliran dan material yang dibawanya, termasuk gaya-gaya yang ditimbulkannya.



- c. Bidang ilmu yang mempelajari dinamika aliran air, baik aliran di saluran terbuka yang merupakan aliran bebas (*free flow*) maupun aliran pipa/aliran tekan (*pipe flow/pressure flow*) (manual hidrolika dan jembatan).

### **3.47**

#### **intensitas hujan**

tingkat curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi dan bisaanya diberikan dalam satuan milimeter per jam.

### **3.48**

#### ***impermeable***

suatu kondisi dimana material tidak mampu menyalurkan air berkuantitas signifikan di bawah perbedaan tekanan.

### **3.49**

#### **inlet**

suatu bentuk koneksi antara permukaan badan dan suatu saluran untuk masuknya aliran air permukaan dan air hujan.

### **3.50**

#### **inlet drainase**

saluran pembawa yang mengalirkan air yang berasal dari perkerasan menuju saluran drainase.

### **3.51**

#### ***inlet kombinasi (combination Inlets)***

penggunaan baik *kerb opening inlet* dan *grated inlet*

### **3.52**

#### **intensitas curah hujan (*rainfall Intensity*)**

laju dimana presipitasi (turunnya hujan) terjadi pada saat tertentu.

### **3.53**

#### **jalan perkotaan**

jalan di daerah perkotaan yang mempunyai perkembangan secara permanen dan menerus sepanjang seluruh atau hampir seluruh jalan, minimum pada satu sisi jalan, apakah berupa perkembangan jalan atau bukan.

### **3.54**

#### **kereb**

bagian dari jalan berupa struktur vertikal dengan bentuk tertentu yang digunakan sebagai pelengkap jalan untuk memisahkan badan jalan dengan fasilitas lain, seperti jalur pejalan kaki, median, separator, pulau jalan, maupun tempat parkir.

### 3.55

#### **kedalaman kritis (*critical depth*)**

kedalaman aliran saat kejadian aliran kritis.

### 3.56

#### **kelandaian/*Grade***

kemiringan suatu permukaan tanah, atau dasar saluran.

### 3.57

#### **kejadian hujan rencana (*design rainfall event*)**

pilihan kejadian hujan pada besaran, intensitas, durasi, dan frekuensi yang ditetapkan untuk digunakan sebagai basis desain.

### 3.58

#### **kejadian hujan utama (*major rainfall event*)**

suatu kejadian presipitasi yang lebih tinggi daripada curah hujan terbesar bisaanya untuk setahun.

### 3.59

#### **kemiringan**

suatu rasio lari antara panjang (horizontal) ke tinggi (vertikal).

### 3.60

#### **kolam tandon**

prasarana drainase yang berfungsi untuk menampung dan meresapkan air hujan di suatu wilayah.

### 3.61

#### **laju limpasan (*overflow rate*)**

laju pelepasan kolam detensi dibagi dengan luas permukaan kolam. Ini dipandang sebagai laju aliran rata-rata melalui kolam.

### 3.62

#### **limpasan**

semua aliran air hujan yang keluar dari daerah tangkapan air menuju ke aliran permukaan atau tampungan permukaan.

### 3.63

#### **lompatan hidrolika (*hydraulic jump*)**

pemutusan aliran yang terjadi pada transisi mendadak dari aliran superkritis ke subkritis di arah hilir aliran.

### 3.64

#### **lid**

singkatan dari *low impact development*, yang digunakan untuk menggambarkan perencanaan tanah dan rekayasa desain untuk mengelola limpasan air hujan. Atau suatu

sistem pengelolaan air yang menerapkan konsep konservasi air berwawasan lingkungan.

### **3.65**

#### **median jalan**

bagian dari jalan yang tidak dapat dilalui oleh kendaraan dengan bentuk memanjang sejajar jalan, terletak di sumbu/tengah jalan, dimaksudkan untuk memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan, median dapat berbentuk median yang ditinggikan (*raised*), median yang diturunkan, atau median datar.

### **3.66**

#### **muka air tanah (*water table*)**

permukaan atas suatu zona jenuh kecuali dimana permukaan tersebut terbentuk oleh suatu badan kedap; atau tempat titik-titik air tanah. Keterangan tekanannya sama dengan tekanan atmosferik; atau permukaan dimana air tanah ditemukan di dalam suatu sumur dalam suatu akuifer bebas (*unconfined*). Muka air tanah merupakan suatu permukaan potensiometrik tertentu.

### **3.67**

#### **operasi**

kegiatan untuk menjalankan dan memfungsikan prasarana dan sarana drainase perkotaan sesuai dengan maksud dan tujuannya.

### **3.68**

#### **outlet**

titik pembuangan air dari suatu kali, sungai, danau, saluran buatan atau air pasang- surut.

### **3.69**

#### **periode ulang**

waktu hipotetik dimana probabilitas kejadian debit atau hujan dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut.

### **3.70**

#### **pasangan batu (*riprap*)**

suatu lapisan atau tumpukan batu pelindung yang dipasang untuk mencegah erosi atau melorotnya suatu struktur atau timbunan akibat aliran *runoff* permukaan dan air hujan.

### **3.71**

#### **pelaksanaan konstruksi**

tahapan fisik drainase perkotaan, dengan kegiatan mulai dari tahap persiapan konstruksi (*pre-construction*), pelaksanaan konstruksi (*construction*) dan uji coba (*test commissioning*).

### **3.72**

#### **pembangunan**

pendirian suatu bangunan atau pengerjaan suatu pekerjaan atau penggunaan lahan atau bangunan atau pekerjaan atau sub-bagian lahan.

### 3.73

#### **pembawa (*conveyance*)**

suatu mekanisme untuk mengangkut air dari satu titik ke titik lainnya (keterangan termasuk pipa-pipa, parit, dan saluran).

### 3.74

#### **penampang melintang (*crossfall*)**

tingkat perubahan elevasi badan terhadap jarak tegak lurus dari arah pergerakan. Ini juga dikenal sebagai lereng melintang atau kelandaian melintang.

### 3.75

#### **pengendalian erosi dan sedimen**

tindakan sementara atau permanen yang diambil untuk mengurangi erosi, mengendalikan pengendapan dan sedimentasi, untuk memastikan bahwa air sedimen tidak meninggalkan lokasi.

### 3.76

#### **pengurangan energi (*energy dissipator*)**

cara apapun dimana energi total dari air mengalir dikurangi. Dalam desain drainase air hujan, cara ini bisaanya berupa mekanisme yang mengurangi kecepatan aliran sebelum, atau pada, debit dari suatu *outfall* untuk menghindari erosi. Cara tersebut termasuk landasan bebatuan (*rock splash pads*), *drop manholes*, kolam atau peredam aliran beton (*concrete stilling basins/baffles*), dan cek dam.

### 3.77

#### **pelimpasan (*overtopping*)**

mengalir melampaui pembatas-pembatas suatu elemen penampung atau pembawa.

### 3.78

#### **pemantauan**

kegiatan memantau kemajuan sebuah program/proyek/kegiatan agar tetap berjalan dalam prosedur yang telah ditetapkan.

### 3.79

#### **permeabilitas**

kapasitas suatu material geologis dalam menyalurkan zat cair. Derajat permeabilitas tergantung pada ukuran dan bentuk bukaan dan besaran interkoneksi material.

### 3.80

#### **pemeliharaan**

kegiatan yang dilakukan untuk menjamin fungsi prasarana dan sarana drainase perkotaan sesuai dengan rencana.

### **3.81**

#### **permukaan kedap (*impervious surface*)**

suatu bidang permukaan keras yang mana mencegah atau menahan masuknya air ke dalam lapisan tanah dalam kondisi alaminya, dan/atau menyebabkan air mengalir pada permukaannya dalam kuantitas lebih besar atau pada debit aliran lebih tinggi dibandingkan aliran dalam kondisi alami; sebelum pengembangan. Bidang-bidang kedap termasuk (namun tak terbatas pada) atap, *walkway*, teras, jalur mobil (*driveway*), lapangan parkir, daerah pergudangan, perkerasan aspal atau beton, kerikil dan material tanah padatan.

### **3.82**

#### **penyelenggara sistem drainase perkotaan**

pemerintah, badan usaha, dan/atau kelompok masyarakat yang melakukan Penyelenggaraan sistem drainase perkotaan.

### **3.83**

#### **penyelenggaraan sistem drainase perkotaan**

upaya merencanakan, melaksanakan konstruksi, mengoperasikan, memelihara, memantau, dan mengevaluasi fisik dan non fisik drainase perkotaan.

### **3.84**

#### **perairan penerima**

badan air atau air permukaan yang menerima air dari sistem drainase hulu buatan (atau alami).

### **3.85**

#### **perangkap pencemar kasar (*Gross pollutant trap*)**

suatu perangkat yang digunakan untuk mencegah pencemar dari terbawa air hujan.

### **3.86**

#### ***pervious***

suatu material yang meloloskan perlintasan air.

### **3.87**

#### **prasarana drainase**

lekunguan atau saluran air di permukaan atau di bawah tanah, baik yang terbentuk secara alami maupun dibuat oleh manusia, yang berfungsi menyalurkan kelebihan air dari suatu ke badan air penerima.

### **3.88**

#### **probabilitas**

suatu ukuran dari frekuensi atau kejadian banjir yang diperkirakan. Untuk penjelasan sepenuhnya, silahkan lihat Probabilitas Pelampauan Tahunan (*annual exceedance probability*).

### **3.89**

#### **polutan kasar (*gross pollutants*)**

benda-benda bawaan air hujan biasanya lebih besari dari 3 mm (termasuk sampah dan zat).

### **3.90**

#### **polder**

suatu sistem yang secara hidrologis terpisah dari sekelilingnya baik secara alamiah maupun buatan yang dilengkapi dengan tanggul, sistem drainase internal, pompa dan/atau penampungan/saluran/reserpoar.

### **3.91**

#### **ruang manfaat jalan (*rumaja*)**

meliputi badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang pengamanannya. Merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi dan kedalaman tertentu yang ditetapkan oleh penyelenggara jalan yang bersangkutan berdasarkan pedoman yang ditetapkan oleh Menteri.

### **3.92**

#### **ruang milik jalan (*rumija*)**

terdiri dari ruang manfaat jalan dan sejalur tanah tertentu di luar ruang manfaat jalan; merupakan ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, kedalaman, dan tinggi tertentu.

### **3.93**

#### **ruang pengawasan jalan (*ruwasja*)**

merupakan ruang tertentu di luar ruang milik jalan yang penggunaannya ada di bawah pengawasan penyelenggara jalan.

### **3.94**

#### **radius hidrolika**

ini merupakan rasio antara luas penampang aliran terhadap keliling basah. Untuk pipa bulat beraliran penuh, radius hidrolika adalah seperempat dari diameter. Untuk saluran segi lebar, radius hidrolikanya kira-kira sama dengan kedalaman aliran.

### **3.95**

#### **rak sampah (*trash rack*)**

suatu perangkat pelindung yang dipasang untuk melindungi struktur *outlet* dari puing-puing yang mengalir masuk.

### **3.96**

#### **rehabilitasi**

kegiatan untuk memperbaiki saluran dan sarana drainase lainnya termasuk bangunan pelengkap yang mengalami penurunan kondisi dan fungsi agar kinerjanya sesuai dengan desain.

### **3.97**

#### **rencana induk sistem drainase perkotaan**

desain dasar drainase yang menyeluruh dan terarah pada suatu daerah perkotaan yang mencakup desain jangka, jangka menengah dan jangka pendek sesuai dengan rencana umum tata ruang kota.

### **3.98**

#### **risiko**

suatu konsep didefinisikan sebagai perkiraan frekuensi atau probabilitas dari pengaruh tak diinginkan akibat suatu paparan tertentu oleh konsentrasi lingkungan potensial ataupun diketahui terhadap suatu material. Material dianggap aman jika risiko-risiko berkenaan dengan paparan tersebut dinilai dapat diterima. Estimasi risiko dinyatakan dalam istilah absolut. Risiko absolut adalah risiko berlebihan akibat paparan. Risiko adalah rasio risiko suatu populasi terpapar terhadap risiko suatu populasi tidak terpapar.

### **3.99**

#### **retensi**

penahanan limpasan di dalam suatu kolam tanpa melepaskannya kecuali melalui cara- cara evaporasi, infiltrasi, atau pemintasan darurat.

### **3.100**

#### **retrofitting**

renovasi suatu struktur atau prasarana yang sudah ada untuk memenuhi kondisi yang telah berubah atau untuk meningkatkan kinerja.

### **3.101**

#### **runoff**

runoff atau limpasan adalah volume air yang mengalir dalam satuan waktu melalui penampang melintang suatu alur yang diketahui, misalnya sungai, saluran, pipa, akuifer, pelimpah, dan sebagainya.

### **3.102**

#### **saluran drainase**

wadah yang menerima aliran air dari permukaan tanah dan menyalurkannya ke saluran berikutnya.

### **3.103**

#### **saluran *inlet/gutter inlet***

saluran pembawa yang mengalirkan air yang berasal dari perkerasan jalan menuju saluran drainase.

### **3.104**

#### **saluran pengumpul bawah/*under drain***

saluran yang direncanakan untuk mengumpulkan dan mengalirkan air hasil penyaringan ke dalam saluran keluaran (*outlet*).

### **3.105**

#### **saluran primer**

saluran drainase yang menerima air dari saluran-saluran sekunder dan meneruskan alirannya ke badan air.

### **3.106**

#### **saluran sekunder**

saluran drainase yang menerima air dari saluran-saluran tersier dan meneruskan alirannya ke saluran primer.

### **3.107**

#### **saluran samping jalan**

saluran yang dibuat di sisi kiri dan kanan badan jalan; saluran samping ini bisa terbuka atau tertutup (di bawah trotoar atau jalur hijau).

### **3.108**

#### **saluran terbuka**

saluran alam maupun buatan yang terbuka bagian atasnya sehingga permukaan airnya berhubungan dengan udara/atmosfir dan alirannya merupakan aliran permukaan bebas atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*).

### **3.109**

#### **saluran tertutup**

saluran buatan yang tertutup bagian atasnya, umumnya berbentuk lingkaran atau persegi empat, dimana alirannya dapat berupa aliran permukaan bebas atau aliran saluran terbuka, dapat pula berupa aliran tertekan atau aliran saluran tertutup (*pipe flow/pressurized flow*).

### **3.110**

#### **sistem drainase**

serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air atau tempat peresapan buatan. Bangunan sistem drainase dapat terdiri atas saluran penerima, saluran pembawa air berlebih, saluran pengumpul dan badan air penerima.

### **3.111**

#### **superelevasi**

kemiringan melintang permukaan jalan di tikungan.



### 3.112

#### **saluran aliran rendah (*lowflow channel*)**

saluran potongan atau berpelapis dari *inlet* ke *outlet* di dalam kolam kering yang dirancang untuk membawa aliran *runoff* rendah dan/atau aliran dasar (*base flow*) langsung ke *outlet* tanpa detensi.

### 3.113

#### **sarana drainase**

bangunan pelengkap yang merupakan bangunan yang ikut mengatur dan mengendalikan aliran air hujan agar aman dan mudah melewati, belokan daerah curam, bangunan tersebut seperti gorong-gorong, pertemuan saluran, bangunan terjunan, jembatan, tali-tali air, pompa, pintu air.

### 3.114

#### **saluran kotak (*box gutter*)**

saluran yang umumnya berbentuk persegi digunakan untuk mengalirkan air hujan berlokasi di dalam bangunan.

### 3.115

#### **sistem drainase perkotaan**

satu kesatuan teknis dan non teknis dari prasarana dan sarana drainase perkotaan.

### 3.116

#### **sistem minor**

- a. Suatu yang terdiri dari komponen-komponen drainase air hujan yang biasanya dirancang untuk membawa runoff dari kejadian-kejadian hujan yang lebih sering. Komponen-komponen ini termasuk kerb, saluran, parit, inlet, manhole, pipa dan saluran tertutup lainnya, saluran terbuka, pompa, kolam detensi, prasarana pengendalian kualitas air, dan lain-lain.
- b. Di dalam desain drainase, contoh saluran yang termasuk minor adalah saluran dan saluran tersier.

### 3.117

#### **sistem pembawa (*conveyance system*)**

hal ini mengacu ke prasarana drainase, baik yang alami maupun buatan, yang mengumpulkan, menampung, dan menyediakan aliran air hujan dan air permukaan dari titik-titik lahan tertinggi hingga ke perairan yang menerimanya. Unsur-unsur elemen pembawa termasuk *swale* dan lintasan drainase kecil, kali, sungai, danau, dan dataran basah. Unsur-unsur buatan pembawa termasuk saluran, parit, pipa, saluran terbuka dan sebagian besar prasarana retensi/detensi.

### 3.118

#### **sistem polder**

suatu yang secara hidrologis terpisah dari sekelilingnya baik secara alamiah maupun buatan yang dilengkapi dengan tanggul, drainase internal, pompa dan/atau waduk, serta pintu air.

### 3.119

#### **saluran air hujan (*stormwater drain*)**

suatu komponen drainase air hujan tertentu yang menerima *runoff* dari *inlet* dan membawa *runoff* ke suatu titik. Ini berupa saluran tertutup atau saluran terbuka yang menghubungkan ke dua atau lebih *inlet*.

### 3.120

#### **sumur resapan**

prasarana drainase yang berfungsi untuk meresapkan air hujan dari atap bangunan ke dalam tanah melalui lubang sumuran.

### 3.121

#### **swale**

suatu cekungan terbuka alami atau buatan, atau parit lebar dan dangkal, yang menampung atau membawa *runoff* secara intermiten. Bisa digunakan sebagai suatu BMP untuk menahan dan menyaring *runoff*.

### 3.122

#### **trottoar**

jalur pejalan kaki yang umumnya sejajar dengan jalan dan lebih tinggi dari permukaan perkerasan jalan untuk menjamin keselamatan pejalan kaki yang bersangkutan.

### 3.123

#### **tanggul (*berm*)**

suatu landasan yang memecah keselarasan suatu lereng; timbunan atau tanggul linier.

### 3.124

#### **tingkat kededapan (*imperviousness*)**

persentase luas bidang kedap di dalam bidang yang ditetapkan.

## 4. Pertimbangan Desain

### 4.1 Pertimbangan Umum

- a. Drainase merupakan serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu tempat, sehingga tempat tersebut dapat difungsikan secara semestinya.
- b. Drainase merupakan fenomena regional yang tidak menganut batas-batas antara yurisdiksi pemerintah atau antara properti. Ini membuatnya perlu untuk

- merumuskan program yang mencakup keterlibatan institusi pemerintah, public/masyarakat dan swasta.
- c. Mengintegrasikan kebutuhan sarana fasilitas drainase jalan secara lokal dan regional melalui optimalisasi hidrologi, sehingga dapat meminimalkan biaya desain dan pemeliharaan.
  - d. Konsep aliran air permukaan akibat hujan pada dasarnya menjelaskan hal sebagai berikut:
    - 1) drainase tidak boleh dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain;
    - 2) pemilik lahan di hulu dapat meminta kemudahan drainase di atas properti di hilir, tetapi tidak boleh membebani properti hilir secara tidak wajar dengan peningkatan laju aliran atau perubahan yang tidak wajar pada aliran air alami dari properti hulu; dan
    - 3) properti hilir tidak dapat memblokir limpasan alami melalui situs mereka dan harus menerima limpasan dari properti hulu.
  - e. Fungsi, harapan, tuntutan, kendala, risiko, dan biaya yang perlu ditangani dengan tepat untuk diperhitungkan dalam drainase jalan.
  - f. Peran serta masyarakat dalam pengelolaan sistem drainase jalan perlu dilakukan, seperti dalam mengakomodasikan kearifan lokal, agar tujuan dan fungsi drainase dapat berjalan dengan baik, ini bisa dilakukan diantaranya melalui program padat karya.
  - g. Konstruksi jalan merupakan proyek kegiatan rekayasa dengan tujuan untuk menyediakan fasilitas jalan yang seragam, sehingga lalu lintas dapat berjalan dengan selamat dan mudah. Tujuan tersebut tidak bisa tercapai, jika salah satu penyebabnya adalah faktor drainase jalan yang tidak dikelola dengan baik.(perlu/tidak)
  - h. Pembangunan sistem drainase jalan harus memperhatikan aspek kemudahan pelaksanaan dan pemeliharaan.
  - i. Dalam hal tertentu dan dengan syarat-syarat tertentu serta seijin penyelenggara jalan, saluran drainase jalan dapat diperuntukkan sebagai saluran lingkungan.
  - j. Dalam pembangunan fisik drainase jalan perlu memperhatikan sumber daya lokal yang berkemampuan sehingga lebih mudah, ekonomis dan merasa memiliki.
  - k. Pemeliharaan drainase jalan sering tidak lepas dari pengaruh drainase kawasan atau lingkungan, sehingga dalam pemeliharaan menjadi tanggung jawab bersama dari berbagai stakeholder institusi, serta melibatkan lintas

sektor masyarakat, akademisi, tokoh-tokoh, dan usaha bisnis lainnya secara bergotong royong.

- l. Aspek konservasi air harus menjadi pertimbangan dalam sistem drainase jalan yang berkelanjutan, dengan penerapan teknologi pembangunan berdampak rendah (LID) di Rumija atau Ruwasja.
- m. Dua lingkungan utama yang berpotensi mempengaruhi drainase jalan yaitu lingkungan internal jalan dan lingkungan eksternal jalan, yaitu:
  - 1) Lingkungan jalan sebagai koridor jalan sebagaimana didefinisikan oleh batas-batas bagian-bagian ruang jalan, sehingga otoritas jalan memiliki tanggung jawab pengendalian.
  - 2) Lingkungan eksternal adalah area di luar koridor jalan, yang dapat mencakup area sensitif, seperti hutan, pertanian, lahan basah, saluran air alami/buatan, properti pribadi dan infrastruktur lainnya. Lingkungan eksternal dapat menjangkau jarak tertentu dari lingkungan jalan dan bukan merupakan tanggung jawab otoritas jalan. Namun, otoritas jalan perlu bekerja sama dengan *stakeholder* terkait sehubungan dengan setiap pembangunan jalan bisa saling mempengaruhi hulu dan hilir.
- n. Kontrol desain adalah aspek kendala teknis atau lingkungan yang tidak dapat diubah, atau sangat sulit untuk diubah, oleh karena itu perlunya beberapa pembatasan atau kontrol pertimbangan pada saat desain.
- o. Pertimbangan ekonomis/biaya infrastruktur drainase jalan merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan. Biaya tidak hanya modal awal, tetapi harus mencakup biaya selama umur rencana dan ketahanan terhadap peristiwa akibat beban ekstrim dari pengaruh luar/alam harus dimasukkan. Ini langkah sulit untuk diukur pada tahap awal, dibutuhkan pengembangan lebih lanjut untuk memberikan panduan yang lebih konstruktif dan bermanfaat.
- p. Memperhatikan keselamatan bagi pengguna jalan (kendaraan dan pejalan kaki) dan masyarakat sekitarnya serta keseimbangan estetika dengan elemen yang ada di badan jalan.

## 4.2 Pertimbangan Teknik

### 4.2.1 Lingkup Desain

- a. Lingkup desain drainase meliputi kegiatan pembangunan baru dan/atau peningkatan.
- b. Pembangunan baru meliputi kegiatan membangun: saluran, memperbanyak saluran, memperpanjang saluran, mengalihkan aliran, sistem polder dan kolam tampung/retensi (*storage*).

- c. Peningkatan meliputi kegiatan memperbaiki saluran dan sarana drainase lainnya termasuk bangunan pelengkap sesuai dengan kriteria desain.
- d. Desain drainase merupakan fungsi dan/atau kriteria faktor; topografi, geologi, hidrologi dan hidrolika.

#### 4.2.2 Data Teknik

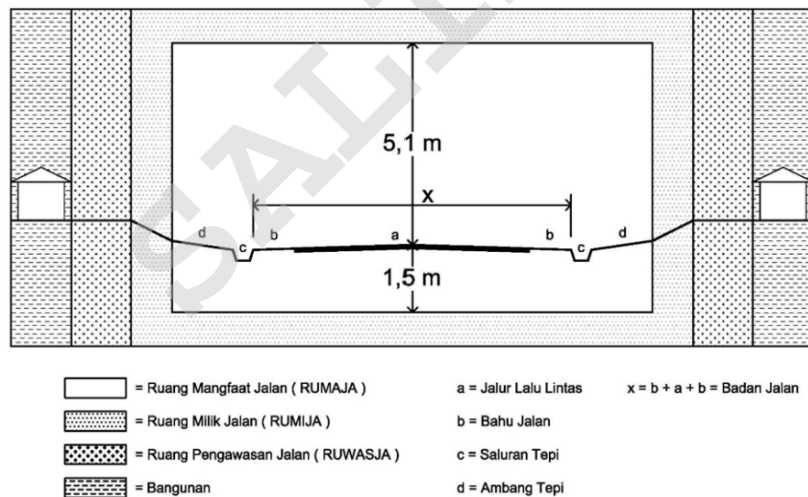
- a. Data spasial yaitu data dasar yang sangat dibutuhkan dalam desain drainase jalan, yang diperoleh baik dari lapangan maupun dari pustaka/sumber lain, mencakup antara lain:
  - 1) peta dan data tata guna lahan;
  - 2) peta fitur topografi;
  - 3) data jaringan jalan, geometrik jalan, dan lansekap;
  - 4) data struktur perkerasan jalan;
  - 5) data jaringan drainase;
  - 6) data lokasi utilitas bawah tanah;
  - 7) data kondisi tanah;
  - 8) data muka air tanah;
  - 9) data kependudukan yang terdiri dari jumlah, kepadatan, dan penyebarannya;
  - 10) data kepadatan bangunan;
  - 11) data rencana pengembangan tata ruang kota;
  - 12) data hidrologi meliputi:
    - a) data hujan minimal sepuluh tahun terakhir;
    - b) data tinggi muka air, debit sungai, pengaruh air balik, peil banjir, dan data pasang surut untuk daerah rendah yang berbatasan dengan laut.
  - 13) data hidrolika meliputi:
    - a) data kondisi dan fungsi saluran, jenis saluran, dan geometrik saluran;
    - b) data elevasi permukaan air atau kemiringan aliran;
    - c) data arah aliran.
- b. Data teknik lainnya yang harus dipertimbangkan yaitu: data prasarana dan sarana, terutama di area jalan perkotaan yang telah ada antara lain: jaringan drainase, jaringan air limbah, jaringan telpon, jaringan listrik, jaringan pipa air minum, jaringan gas dan jaringan utilitas lainnya jika ada.
- c. Data verifikasi lapangan yang dilakukan untuk mencocokkan hasil hitungan debit rencana dari analisa hidrologi dan hasil hitungan tinggi muka air sungai/saluran yang dapat dilakukan melalui wawancara dengan penduduk setempat mengenai muka air banjir maksimum yang pernah terjadi di lokasi

tempat rencana saluran dan bangunan air yang direncanakan, dengan penambahan data sebagai berikut:

- 1) data kuantitatif banjir/genangan yang meliputi: luas genangan, lama genangan, kedalaman rata-rata genangan, dan frekuensi genangan berikut permasalahannya.
- 2) data saluran dan bangunan pelengkap yang telah ada.
- 3) data sarana drainase perkotaan lainnya seperti kolam tandon, kolam resapan, sumur resapan yang telah ada.

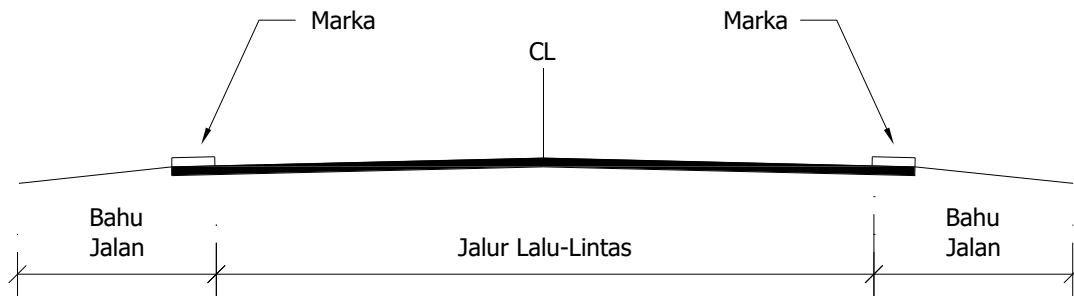
#### 4.2.3 Sistem Jaringan dan Ruang Jalan

- a. Jaringan jalan harus terstruktur secara hirarki klasifikasi fungsi, dirancang sesuai dengan kebutuhan ciri-ciri pengguna koridor jalan yang dihubungkannya. Untuk itu fasilitas drainase jalan baik bentuk maupun tata letak harus menyesuaikannya.
- b. Ruang jalan yang meliputi ruang milik jalan (Rumija), ruang manfaat jalan (Rumaja) dan ruang pengawasan jalan (Ruwasja), seperti diilustrasikan pada Gambar 4-1.
- c. Ruang badan jalan ( $x = b+a+b$ ), hanya diperuntukan untuk bangunan dan atau perlengkapan jalan yang terkait langsung dengan lalu lintas.



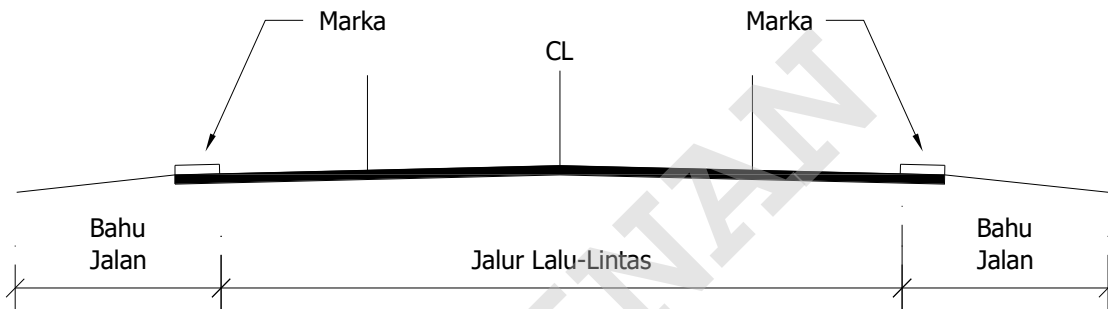
**Gambar 4-1** Bagian-Bagian Ruang Jalan

- d. Tipikal tipe/konfigurasi badan jalan yang terdiri dari:
  - 1) tipikal, dua lajur dua arah tidak terbagi (2/2-TT)



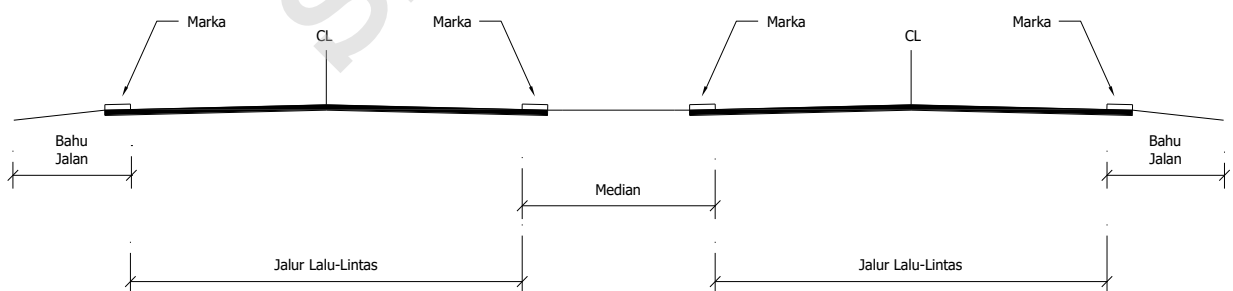
**Gambar 4-2** Tipikal Jalan Dua Lajur Dua Arah

- 2) tipikal, empat lajur dua arah takterbagi (4/2-TT)



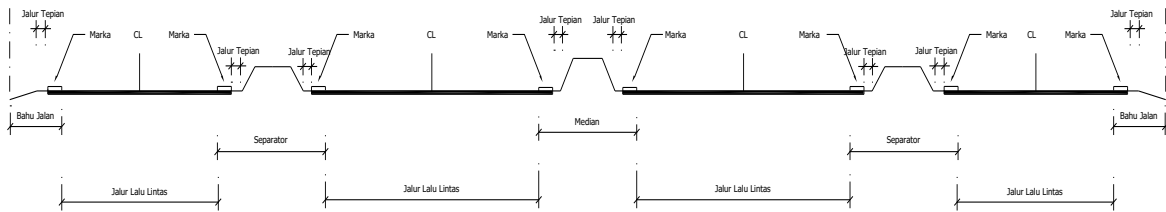
**Gambar 4-3** Tipikal Jalan Empat Lajur Dua Arah Takterbagi

- 3) tipikal, empat lajur dua arah terbagi (4/2-T)



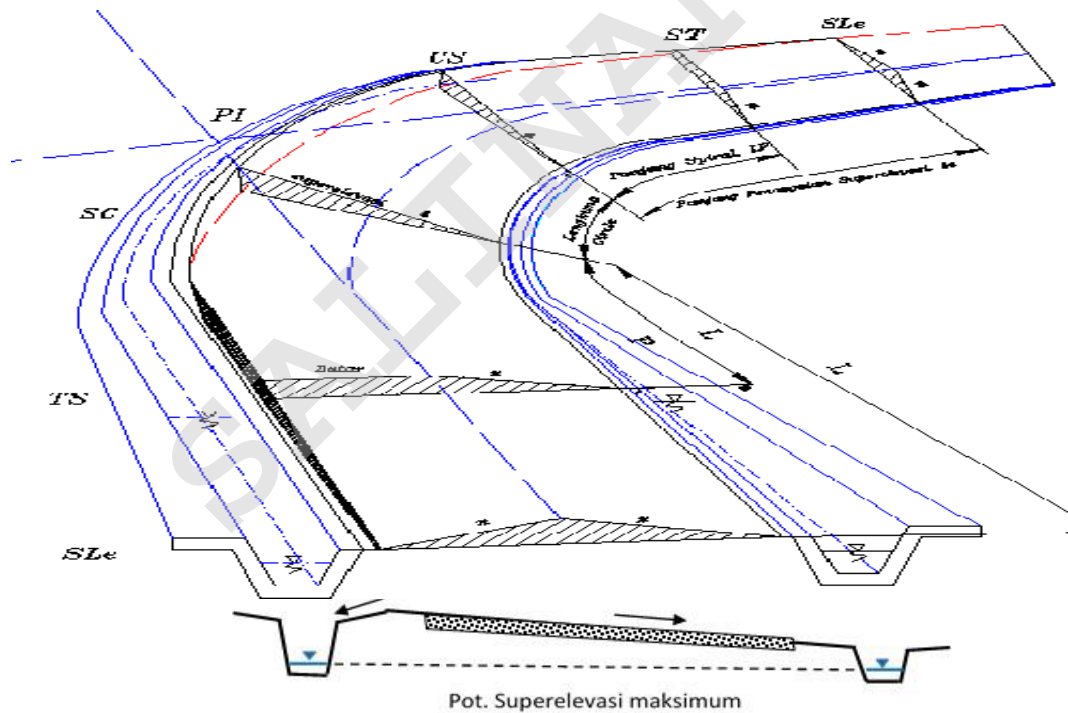
**Gambar 4-4** Tipikal Jalan Empat Lajur Dua Arah Terbagi

- 4) tipikal, delapan lajur dua arah terbagi (8/2-T), dilengkapi separator sebagai pemisah lajur cepat dan lambat.



**Gambar 4-5** Tipikal Jalan Delapan Lajur Dua Arah Terbagi, dilengkapi Separator

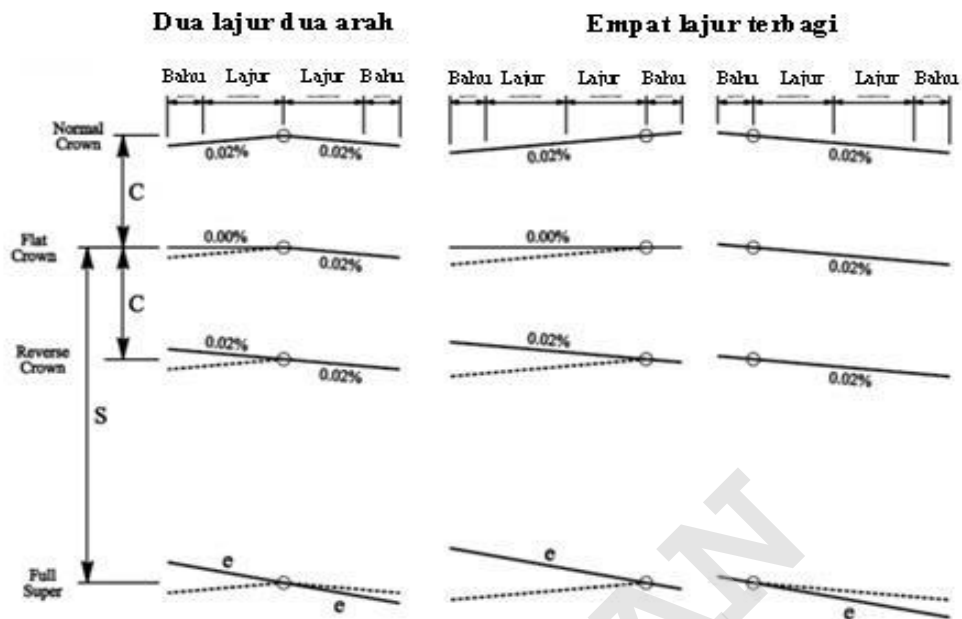
- 5) Tipikal kemiringan jalan pada tikungan, seperti dalam
- 6)
- 7)
- 8) Gambar 4-6.



**Gambar 4-6** Tipikal dan Kemiringan Jalan pada Tikungan



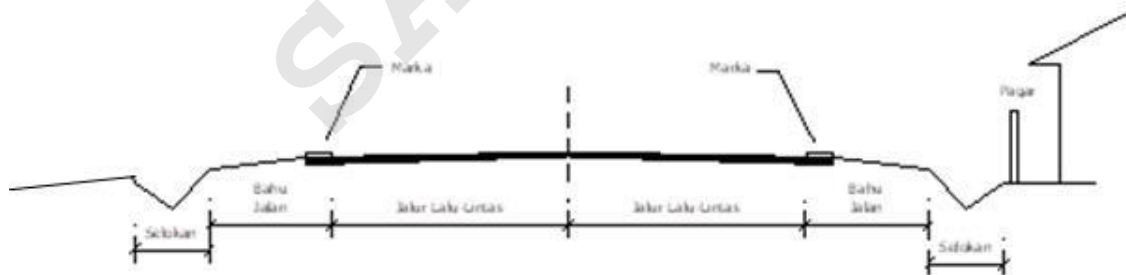
9) Poros perputaran kemiringan melintang jalan



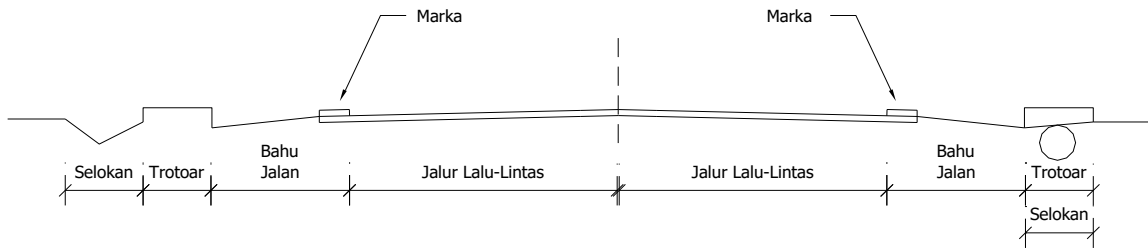
**Gambar 4-7** Tipikal Bentuk Kemiringan Melintang Jalan

e. Tipe jalan berdasarkan golongan medan

- 1) Golongan medan pada daerah datar, seperti dalam Gambar 4-9 dan Gambar 4-9.

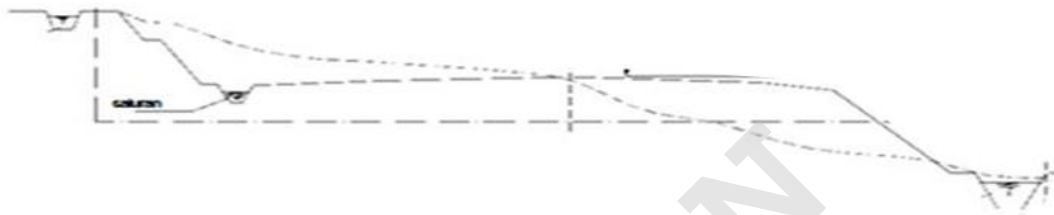


**Gambar 4-8** Kondisi Medan Jalan Datar Antara Kota



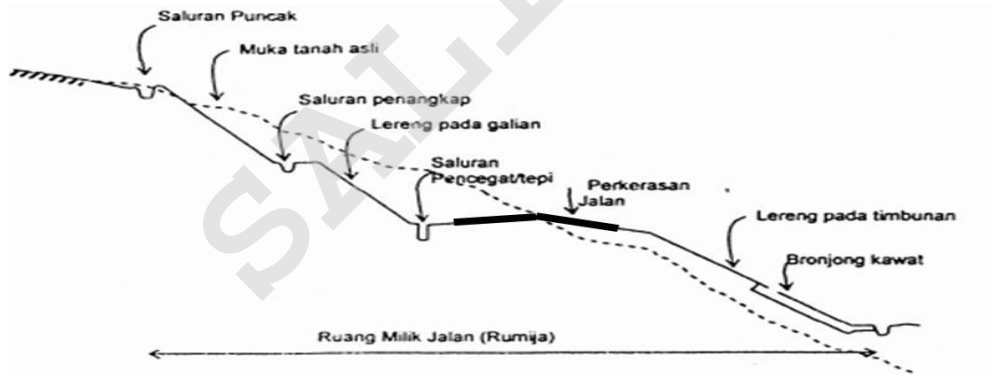
**Gambar 4-9** Kondisi Medan Jalan Datar Perkotaan

- 2) Golongan medan pada bukit, seperti dalam Gambar 4-10.



**Gambar 4-10** Kondisi Medan Jalan Bukit

- 3) Golongan medan pada pegunungan seperti dalam Gambar 4-11.



**Gambar 4-11** Kondisi Medan Jalan Pegunungan

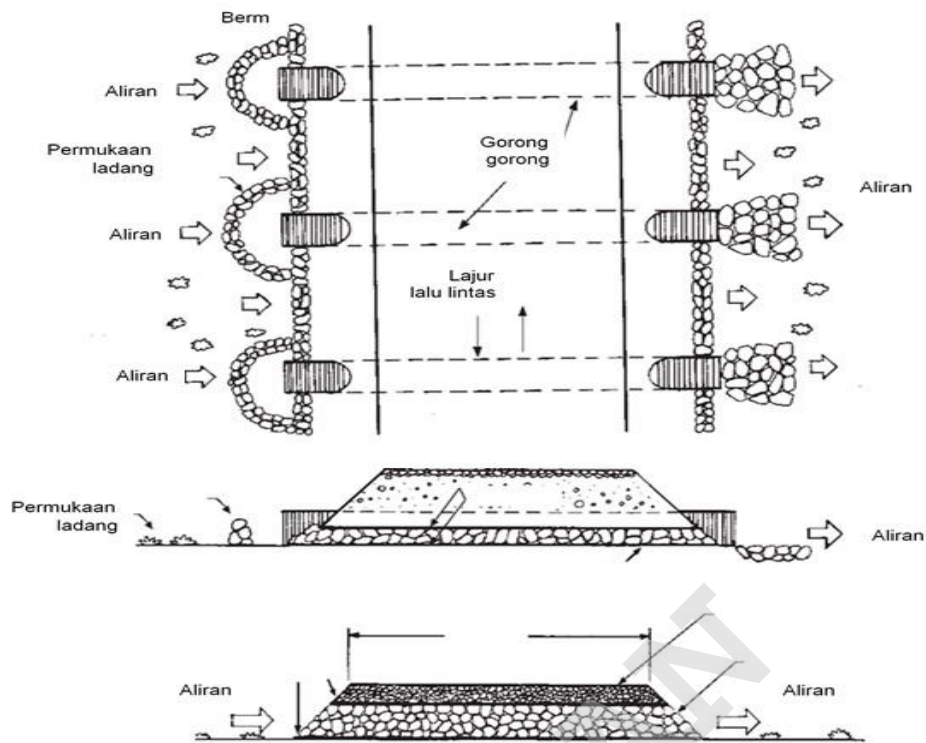
- f. Elevasi subgrade
  - 1) Elevasi permukaan jalan perlu dinaikkan ke ketinggian yang lebih tinggi dari perkiraan tingkat banjir untuk mengurangi risiko kerusakan jalan dan mencegah jalan yang tidak dapat diakses selama kejadian banjir.
  - 2) Elevasi sub-grade minimal 0,5 m di atas permukaan banjir tertinggi agar air tidak masuk dan menenggelamkan substruktur jalan.
- g. Limpasan aliran air di permukaan lajur/lintasan lalu lintas
  - 1) Tujuan utama jalan adalah untuk lalu lintas.

- 2) Batas wajar penggunaan aliran limpasan permukaan pada lajur lalu lintas, diatur dalam kriteria desain yang dirangkum dalam Tabel, untuk limpasan air hujan.

**Tabel 4-1** Limpasan Aliran Air di Permukaan Lajur Lalu Lintas

<b>Klasifikasi jalan</b>	<b>Maksimum perambahan</b>
Lockal	Tidak ada limpasan berlebih, air dapat menyebar ke puncak jalan.
Kolektor	Tidak ada limpasan berlebih, air harus meninggalkan setidaknya satu lajur bebas air.
Arteri	Tidak ada limpasan berlebih, air harus meninggalkan setidaknya dua lajur di setiap arah.
Bebas hambatan	Tidak ada limpasan berlebihan disetiap lajur.

- h. Jalan di area ladang basah
  - 1) Lintasan jalan di daerah ladang basah, seperti; padang rumput yang lembab, rawa-rawa, daerah air tanah yang tinggi, dan sumber mata air, ini bermasalah dan tidak diinginkan.
  - 2) Area ladang basah harus dihindari. Jika area ladang basah dilintasi dan tidak dapat dihindari, drainase khusus atau metode konstruksi tertentu harus digunakan untuk mengurangi dampak, seperti badan jalan dapat bertindak sebagai bendungan aliran permukaan ladang. Untuk itu:
    - a) Diperlukan pemasangan beberapa pipa/gorong-gorong atau urukan batuan permeabel kasar untuk menjaga aliran melintas/tersebar, dan penggunaan lapisan filter dan geotekstil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-12 (untuk kondisi lintasan air sederhana).
    - b) Mengkonsentrasikan aliran air di ladang basah atau mengubah pola aliran permukaan dan bawah permukaan alami.
    - c) Mencegah aliran permukaan lebih cepat menuju saluran, yang mengakibatkan terjadinya erosi.



**Gambar 4-12** Tata Letak Gorong-Gorong di Daerah Ladang Basah (Cara Sederhana)

#### 4.2.4 Sistem Jaringan Saluran Drainase Jalan

- Jaringan drainase jalan harus terstruktur secara berjenjang dari hulu sampai hilir sesuai peran, fungsi, dimensi dan besarnya beban debit air.
- Bangunan infrastruktur drainase jalan baik bentuk maupun penempatan harus selaras dengan ciri-ciri fisik dan karakteristik klasifikasi sistem jaringan jalan (fungsi, kelas dan tipe jalan). Ini untuk memberikan gambaran dalam berbagai kebijakan yang akan dilakukan.
- Desain sistem drainase jalan harus memperhatikan daerah tangkapan air hujan yang akan terkumpul di saluran drainase jalan.
- Sistem drainase permukaan jalan (saluran; samping, tengah/median, gorong-gorong dan lereng) bertujuan untuk mengendalikan aliran air di permukaan yang mengalir ke badan jalan dari daerah tangkapan air hujan dan berakhir di saluran pembawa (*outlet*) buatan/alami.
- Sistem drainase bawah permukaan bertujuan untuk menurunkan muka air tanah atau air yang naik dari *subgrade* serta mencegah air infiltrasi dari daerah sekitar dan permukaan jalan.
- Aliran air tidak boleh dibiarkan menghasilkan volume atau kecepatan yang cukup tinggi, bisa menyebabkan keausan fisik saluran di sepanjang saluran.

- g. Sistem drainase jalan harus memenuhi dua aspek utama jika ingin efektif sepanjang umur rencananya, yaitu melakukan:
- 1) Meminimalkan gangguan pola drainase alami.
  - 2) Mengeringkan air dengan terkendali di permukaan dan bawah permukaan jauh dari jalan, tetapi jangan sampai tidak terkendali di daerah hilir yang mengakibatkan kerusakan.
- h. Setiap pertemuan saluran harus dilengkapi bak kontrol.
- i. Pada dasarnya kapasitas saluran lebih ditentukan oleh debit air rencana permukaan jalan yang terkumpul dari daerah tangkapan.
- j. Jika tidak ada bangunan fasilitas saluran pembuang/pembawa akhir (alami/lingkungan), maka otoritas jalan berkewajiban untuk membuat saluran sampai dengan saluran pembawa yang ada (*outlet*).
- k. Kondisi geografis memainkan peran penting dalam menentukan jenis dan bentuk struktur bangunan fasilitas drainase jalan, tidak semua jenis dan bentuk desain dapat diadopsi untuk lokasi tertentu, ada kemungkinan tidak sesuai.
- l. Peningkatan urbanisasi akan meningkatkan laju debit aliran limpasan permukaan ke properti hilir, karena perubahan area kedap air, akibat perubahan tutupan/guna lahan dan bangunan pelengkap jalan lainnya.
- m. Sistem jaringan drainase jalan harus diintegrasikan lebih awal ke dalam struktur guna lahan yang ada, seperti struktur tata kota untuk kawasan perkotaan, meskipun hal ini di luar cakupan pedoman ini.
- n. Sistem drainase jalan baru harus terintegrasi dengan pola sistem drainase yang sudah ada, baik dengan drainase jalan yang berbeda status/klasifikasi jalan atau drainase alami/lingkungan, maka dalam pelaksanaan bila diperlukan dapat melakukan koordinasi dengan instansi terkait atau pemerintah daerah.
- o. Perlunya menetapkan asumsi-asumsi kondisi daerah tangkapan air hujan dan dataran banjir di masa depan. Ini bisa sulit tetapi bagaimanapun penting, manakala terjadi perubahan klasifikasi jaringan jalan dan/atau tata guna lahan dan/atau iklim selama masa umur rencana drainase jalan.
- p. Penyediaan segala jenis fasilitas bangunan drainase jalan tidak boleh dilakukan tanpa mempertimbangkan praktek pemeliharaan, ini penting dilakukan antara lain untuk:
- 1) Kebutuhan akses jalan dalam pemeliharaan atau peningkatan.
  - 2) Kebutuhan jenis dan kapasitas peralatan saat pemeliharaan.
  - 3) Kebutuhan keselamatan khusus.

- q. Penempatan bangunan fasilitas drainase jalan harus memperhatikan zona bersih (*clear zone*), yaitu suatu area yang terbentang dari tepi jalur jalan yang bebas dari bahaya atau rintangan fisik, membahayakan apabila ada kendaraan keluar karena hilang kendali.
- r. Prasarana dan sarana drainase jalan, harus menjalankan fungsi untuk dapat mengalirkan air dari satu tempat ke tempat lain dengan lancar dan baik tanpa mengindahkan kaidah hidrolika.
- s. Dalam kelancaran aliran air, harus memperhatikan elevasi permukaan di bagian hulu dan hilir, ini berkaitan bahwa aliran mengikuti hukum gravitasi, atau mengalir dari tempat lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah.
- t. Dalam sistem drainase jalan, harus memperhatikan muka air tanah, jenis tanah (geoteknik), konfigurasi jalan, tataguna lahan, dan saluran pembawa (*outlet*) serta ketersediaan lahan/ruang.
- u. Jaringan sistem drainase harus terstruktur dan berhiraki, baik dimensi dan fungsinya.
- v. Keberadaan sungai dan bangunan air lainnya yang terdapat di lokasi harus diperhatikan. Badan sungai yang terpotong oleh rute jalan harus ditanggulangi dengan fasilitas drainase gorong-gorong/jembatan.

#### 4.2.5 Struktur Saluran

- a. Bisa meredam energi aliran yang mengakibatkan erosi atau penggerusan saluran.
- b. Mengatur kecepatan aliran jangan sampai terjadi pengendapan/sedimentasi.
- c. Mempunyai daya dukung struktur, akibat beban yang dipikul secara vertikal dan horizontal.
- d. Setiap fasilitas bangunan drainase bisa menjalankan peran dan fungsinya.
- e. Mempunyai daya tahan terhadap pengaruh cuaca yang ekstrim.
- f. Jenis dan mutu bahan bangunan agar dipilih sesuai dengan persyaratan desain, tersedia cukup banyak bahan dan mudah diperoleh.

#### 4.2.6 Topografi

- a. Ukuran daerah tangkapan air hujan memiliki pengaruh penting pada hubungan curah hujan/limpasan dan kesesuaian dalam metode perhitungan.
- b. Kemiringan daerah tangkapan dengan lereng yang curam menyebabkan air mengalir lebih cepat dengan durasi waktu lebih pendek saat terjadi banjir puncak.

- c. Pola aliran pada area tangkapan dengan topografi berkontur datar, bukit dan lereng, akan mengikuti hukum grafitasi seperti diilustrasikan pada Gambar 4-13.
- d. Laju infiltrasi jauh lebih tinggi pada permulaan peristiwa hujan/presipitasi dari pada beberapa jam kemudian.
- e. Jenis/sifat dan geologi tanah memiliki pengaruh penting pada aliran permukaan, terutama karena pengaruh laju infiltrasi.
- f. Tutupan atau tata guna lahan area tangkapan banyak mempengaruhi besar kecilnya nilai hambatan dan infiltrasi.

#### **4.2.7 Hidrologi**

- a. Analisis hidrologi diperlukan untuk memperkirakan pelepasan debit air rencana yang menjadi komponen utama dari keseluruhan upaya desain fasilitas bangunan drainase.
- b. Limpasan yang dihasilkan di dalam daerah tangkapan air hujan melalui presipitasi akan bergantung pada:
  - 1) Karakteristik peristiwa hujan/badai;
  - 2) Karakteristik respon daerah tangkapan; dan
  - 3) Pengaruh penyimpanan sementara di daerah tangkapan dan limpasan.

#### **4.2.8 Hidrolika**

- a. Hidrolika sebagai cabang ilmu yang mempelajari perilaku air baik dalam keadaan diam ataupun bergerak.
- b. Struktur hidraulik jalan menjalankan fungsi penting dalam mengalirkan, mengalihkan, atau membuang air permukaan langsung dari jalan.
- c. Kecepatan maksimum aliran agar ditentukan tidak lebih besar dari pada kecepatan maksimum yang diizinkan sehingga tidak terjadi percepatan kerusakan.
- d. Variabel parameter hidrolika dan variable pembentuk lainnya, sebagai informasi dalam merencanakan berbagai bangunan fasilitas drainase dan bangunan pelengkap.

### **4.3 Kriteria Desain**

#### **4.3.1 Kriteria Bangunan Fisik**

- a. Fasilitas drainase jalan dapat diklasifikasikan secara luas menjadi tiga kategori utama, berdasarkan lokasi dan bentuk konstruksi. Fasilitas saluran terbuka atau saluran tertutup:

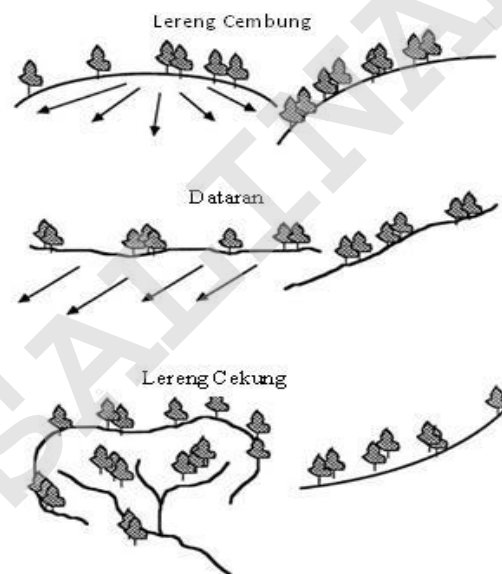
- 1) Saluran terbuka antara lain saluran permukaan perkerasan jalan, median, bahu/trotoar, talang, sengkedan dan fasilitas lainnya.
  - 2) Saluran tertutup termasuk gorong-gorong dan sistem drainase badai.
  - 3) Saluran bawah permukaan.
  - 4) Saluran polder.
- b. Bahwa setiap aliran disetiap jenis aliran, berlaku sifat-sifat hidraulik.
  - c. Kriteria desain, digunakan untuk menetapkan tingkat pencapaian atau kesesuaian yang diharapkan serta relevan, memastikan bahwa hasil akhirnya (*detail engineering design*) dapat dinilai dan dipertahankan.
  - d. Standar/spesifikasi desain; menetapkan nilai atau batas yang disetujui atau ditentukan dalam desain atau prosedur yang harus diikuti.
  - e. Jenis dan mutu bahan bangunan agar dipilih sesuai dengan persyaratan desain, tersedia cukup banyak dan mudah diperoleh.
  - f. Kekuatan dan kestabilan bangunan agar diperhitungkan sesuai dengan beban yang dipikul dan sejalan dengan umur layan.
  - g. Menaikkan elevasi permukaan jalan merupakan solusi paling populer untuk beradaptasi dengan perubahan penggunaan guna lahan dan peristiwa iklim terutama banjir. Elevasi permukaan jalan perlu dinaikkan ke ketinggian yang lebih tinggi dari perkiraan elevasi banjir rencana untuk mengurangi risiko kerusakan jalan dan mencegah jalan yang tidak dapat diakses selama kejadian banjir.
  - h. Disarankan saat pemilihan koridor/rute jalan memperhatikan muka air bajir dan elevasi muka air tanah.
  - i. Sistem drainase jalan dikelola dengan baik, maka akan mempunyai manfaat:
    - 1) meningkatnya kualitas air;
    - 2) perlindungan dan peningkatan kualitas tanah pada area sensitif di lingkungan jalan;
    - 3) tercapainya umur rencana bangunan fisik drainase jalan yang sejalan dengan kinerja yang didapatnya;
    - 4) mengurangi biaya konstruksi jalan;
    - 5) mengurangi biaya pemeliharaan jalan; dan
    - 6) kelancaran dan keselamatan lalu lintas.

#### 4.3.2 Kriteria Topografi

- a. Topografi atau kemiringan muka tanah menentukan arah aliran dan rute limpasan/drainase lingkungan/jalan, dan area genangan serta arah konsentrasi aliran, seperti diilustrasikan pada Gambar 4-13.



- b. Topografi menginformasikan kelayakan penempatan fasilitas drainase jalan, seperti; saluran permukaan, saluran samping, saluran lereng dan saluran pembuangan.
- c. Desain geometrik jalan menyangkut *route/trace* alinemen horizontal dan vertical, harus mencerminkan topografi suatu wilayah (datar/bukit/pegunungan), untuk memungkinkan desain dan pengendalian air permukaan akibat hujan terintegrasi.
- d. Adanya perbedaan karakteristik lingkungan antara kawasan perkotaan dan luar kota, karena berbeda tata guna lahan dan lalu lintas. Ini akan berdampak pada hasil desain seperti; tata letak, jenis dan bentuk fasilitas drainase jalan ditinjau dari aspek keselamatan.
- e. Nilai komersial dan estetika dari berbagai bagian dari suatu kawasan pengembangan juga sering kali diturunkan dari karakteristik topografi yang berbeda.



**Gambar 4-13** Bentuk Lereng dan Pengaruhnya Terhadap Hidrologi

#### 4.3.3 Kriteria Geologi

- a. Jenis atau sifat-sifat tanah mempengaruhi permeabilitas, infiltrasi, daya dukung tanah dan laju limpasan/rembesan air permukaan/bawah permukaan.
- b. Kemiringan/kelandaian tanah, merupakan faktor penting dalam terjadinya kecepatan aliran/energi, ini bisa berdampak erosi dan kelambatan aliran yang bisa berdampak terjadinya sedimentasi.

- c. Muka air tanah, merupakan faktor penting dalam terjadinya perembesan/terendam lapisan struktur perkerasan jalan dan area yang terendam akibat air yang terjebak.

#### 4.3.4 Kriteria Hidrologi

- a. Langkah pertama dalam mendesain fasilitas bangunan drainase adalah menentukan jumlah air atau debit yang harus dibawa fasilitas tersebut.
- b. Analisis hidrologi yang diperlukan untuk memperkirakan pelepasan debit air rencana yang menjadi faktor utama dari keseluruhan upaya desain.
- c. Empat macam proses dalam siklus hidrologi yang perlu dilingkup, yaitu: presipitasi, evaporasi/evapotranspirasi, limpasan permukaan/aliran permukaan, serta aliran air tanah. Untuk melakukan interpretasi data yang dibutuhkan bagi proses tersebut, hidrologi harus dapat menentukan suatu debit maksimum (banjir) atau debit minimum (debit-debit kecil), dan harus mampu memilih frekuensi mana yang paling mungkin terjadi agar dapat dipakai sebagai banjir rencana dalam suatu bangunan fasilitas drainase jalan.
- d. Batasan daerah pengaliran yang diperlukan untuk mengetahui luas daerah pengaliran dapat ditentukan oleh dua hal, yaitu: kondisi topografi yang membentuk batas-batas alami atau ditentukan oleh bentuk bangunan-bangunan buatan (guna lahan).
- e. Air akan mengalir mematuhi hukum gravitasi, yaitu mengalir menuruni dari bukit atau gunung ke daerah lebih rendah.

#### 4.3.5 Kriteria Hidrolika

- a. Terdapat dua jenis aliran air dalam suatu saluran alam maupun buatan, yaitu aliran bebas/aliran saluran terbuka (*free flow/open channel flow*) dan aliran tekanan/tertutup/aliran dalam pipa (*pressure flow/pipa flow*).
- b. Sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh pengaruh kekentalan (*viscosity*) dan gravitasi sehubungan dengan adanya gaya-gaya inersia aliran yang dapat bersifat laminier, turbulen atau peralihan.
- c. Aliran tekanan/aliran pipa tipe aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena air harus mengisi seluruh ruang pada saluran. Aliran tekanan/aliran pipa, yang terkurung dalam saluran tertutup, tidak terpengaruh langsung oleh tekanan udara, kecuali oleh tekanan hidrolik jika diperlukan.
- d. Kecepatan minimum aliran agar ditentukan tidak lebih kecil dari pada kecepatan minimum yang diizinkan sehingga tidak terjadi pengendapan dan pertumbuhan tanaman air.

- e. Bentuk penampang saluran agar dipilih berupa segi empat, trapesium, lingkaran, bagian dari lingkaran, bulat telur, bagian dari bulat telur atau kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut.
- f. Saluran sebaiknya dibuat dengan bentuk majemuk, terdiri atas saluran kecil dan saluran besar, guna mengurangi beban pemeliharaan.
- g. Kelancaran pengaliran air dari jalan ke dalam saluran drainase agar dilewatkan melalui lubang pematas yang berdimensi dan berjarak penempatan tertentu.
- h. Dimensi bangunan pelengkap seperti gorong-gorong, pintu air dan lubang pemeriksaan agar ditentukan berdasarkan kriteria desain sesuai dengan lokasi kawasan perkotaan/luar kota dan fungsi/klasifikasi jalan.
- i. Debit rencana ( $Q_r$ ) sebagai input analisis dimensi/kapasitas saluran, ditentukan oleh metoda analisis yang ditentukan oleh besar kecilnya luas area tangkapan hujan.

#### 4.3.6 Karakteristik Sistem Drainase Jalan Perkotaan

- a. Urbanisasi akan meningkatkan laju debit aliran limpasan permukaan, karena adanya perubahan area kedap air dari tutupan guna lahan property dan badan jalan.
  - b. Drainase kawasan perkotaan harus merupakan upaya strategi multi-tujuan dan multi-sarana.
  - c. Filosofi yang menonjol dalam drainase kawasan perkotaan selain masalah teknis hidrolika, juga meliputi seperti: keindahan dan keselamatan serta mengurangi potensi dampak polusi dan risiko erosi.
- Secara umum drainase kawasan perkotaan, menggunakan saluran dalam bentuk saluran terbuka yang ditutup.
- Antara tepi perkerasan jalan dengan trotoar atau bahu jalan, dilengkapi kerb, talang/tali air dan inlet, seperti ditunjukkan pada Gambar 6-8.

#### 4.3.7 Karakteristik Sistem Drainase Jalan Luar Kota

- a. Lingkungan jalan luar kota, banyaknya fitur saluran seperti; aliran alami, depresi, lahan basah, dataran banjir, tanah permeabel, vegetasi untuk penyerapan (*infiltrasi*), kondisi tersebut membantu; mengendalikan; kecepatan limpasan, memperpanjang waktu konsentrasi, menyaring sedimen, mengurangi polutan lainnya, dan mendaur ulang nutrisi.
- b. Adanya saluran irigasi dan/atau alami yang saling beririsan, yang berbeda elevasi dan berbeda tujuan.

- c. Dalam desain drainase jalan harus hati-hati dalam memetakan dan mengidentifikasi sistem saluran alami dan irigasi yang ada.
- d. Teknik yang melestarikan atau melindungi dan meningkatkan saluran alami sangat dianjurkan. Desain yang baik untuk meningkatkan efektivitas sistem saluran tersebut jangan sampai menghilangkan atau mengganti, apalagi mengabaikan.
- e. Jalan luar kota umumnya diperuntukan untuk lalu lintas kendaraan berkecepatan lebih tinggi, untuk itu saluran permukaan terbuka lebih disarankan dalam bentuk V. Dengan asumsi jika ada kendaraan yang hilang kendali dan masuk dalam saluran, tidak terjadi kecelakaan yang lebih parah dan kendaraan lebih mudah untuk ke luar kembali.

## **5. Desain Hidrologi dan Hidrolika**

### **5.1 Ketentuan Umum**

- a. Analisis hidrologi diperlukan untuk menunjang suatu desain, pengoperasian sarana dan prasarana yang diperlukan terkait masalah air.
- b. Desain drainase mencakup banyak disiplin ilmu, dua diantaranya adalah hidrologi dan hidrolika.
- c. Hidrologi adalah cabang ilmu geografi yang mempelajari seputar pergerakan, distribusi, dan kualitas air yang ada di bumi serta siklus hidrologi dan sumber daya air.
- d. Hidrolika merupakan satu topik dalam Ilmu terapan dan keteknikan yang berurusan dengan sifat-sifat mekanis fluida, yang mempelajari perilaku aliran air secara mikro maupun makro.
- e. Luas daerah tangkapan digunakan untuk memperkirakan daya tampung curah hujan, yang terdistribusi sebagai air yang meresap ke dalam tanah, atau terus mengalir melalui pori-pori sebagai aliran air bawah permukaan, beberapa akan menguap kembali ke atmosfer, dan sisanya akan berkontribusi sebagai aliran limpasan permukaan. Volume limpasan permukaan tersebut yang akan ditampung oleh fasilitas bangunan drainase (permukaan dan bawah permukaan).
- f. Debit air limpasan yang dihasilkan dari area tangkapan air hujan tertentu, dan ini berkaitan dengan siklus hidrologi untuk mendapatkan parameter hidrolika dalam menghitung kapasitas bangunan drainase.
- g. Tutupan guna lahan, berkaitan dengan laju presipitasi, laju limpasan permukaan, kualitas air dan waktu kedatangannya ke suatu tempat tujuan lokasi yang direncanakan.

- h. Curah hujan pada saat daerah tangkapan dalam kondisi basah atau jenuh dapat mengakibatkan banjir yang sangat besar dengan magnitudo yang lebih besar dari perkiraan banjir rencana, sedangkan terjadinya hujan pada saat daerah tangkapan kondisi kering dapat mengakibatkan aliran yang relatif lebih kecil atau bahkan tidak ada limpasan air.
- i. Perbedaan jenis tutupan akan berbeda sangat signifikan antara kawasan perkotaan dengan kawasan luar kota.

## 5.2 Komponen Desain

- a. Dalam menganalisa karakteristik hidrologi didukung beberapa komponen data seperti intensitas curah hujan, luas area tangkapan air hujan, kontur tanah, sifat-sifat tanah, waktu konsentrasasi, koefisien aliran, dan debit air rencana. Ini merupakan komponen desain hidrologi.
- b. Bentuk dan geometrik bangunan drainase yang diusulkan sebagai alat angkut debit air dari hulu sampai hilir.
- c. Banyak komponen desain lainnya yang terlibat dalam bangunan drainase sesuai dengan masing-masing bangunan drainase yang bersangkutan seperti aliran tertekan, kekasaran saluran, kemiringan, kecepatan dan dimensi saluran.
- d. Komponen atau variable lebih jelas seperti ditunjukkan pada setiap rumus pada ketentuan teknis dalam menentukan besaran volume, kecepatan, waktu dan dimensi bangunan drainase.
- e. Analisis dimensi dan/atau kapasitas saluran drainase, terlebih dahulu harus menentukan debit rencana ( $Q_r$ ),  $Q_r$  bisa didapat kalau area tangkapan air hujan kecil  $Q_r$  menggunakan rumus metoda rasional rumus Nomor 1, kalau area tangkapan air hujan besar menggunakan  $Q_r$  dari analisis hidrograf rumus Nomor 10.

## 5.3 Ketentuan teknis

### 5.3.1 Debit Air Rencana

- a. Dalam menentukan debit air rencana, umumnya menggunakan metode Rasional, karena dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa curah hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh daerah pengaliran selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ).
- b. Penetapan debit rencana, menggunakan Rumus matematik metode Rasional sebagai berikut :

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad 1)$$

Keterangan :

Q = Debit puncak limpasan (m<sup>3</sup>/detik)

0,278 = Konstanta, digunakan jika satuan luas daerah menggunakan km<sup>2</sup>

C = Koefisien aliran\*

I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km<sup>2</sup>)

\* Koefisien aliran permukaan (0 ~ C ~ 1) sesuai dengan karakteristik permukaan lahan daerah tangkapan air sekitar saluran di sepanjang jalan (seperti dalam Tabel dan Tabel).

- c. Nilai C dengan metoda hidrograf, lihat Tabel 5-5 dan Tabel 5-2.
- d. Luas daerah pengaliran di kawasan perkotaan pada umumnya terdiri dari beberapa daerah yang mempunyai karakteristik permukaan tanah yang berbeda (*subarea*), sehingga koefisien pengaliran untuk masing-masing subarea nilainya berbeda, dan untuk menentukan koefisien pengaliran pada wilayah tersebut dilakukan penggabungan dari masing-masing subarea. Variabel luas subarea dinyatakan dengan A<sub>j</sub> dan koefisien pengaliran dari tiap subarea dinyatakan dengan C<sub>j</sub>, maka untuk menentukan debit digunakan rumus  $Q = 0,278 \cdot C_j \cdot A_j$  (m<sup>3</sup>/detik).
- e. Nilai C di lapangan tidak selalu sama tergantung tata guna lahan, nilai C yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai C rata-rata. Cara untuk menentukan nilai C rata-rata, dapat dilakukan dengan rumus berikut (Kamiana, 2011):

$$C = \frac{\sum_{1-n}^n A_i C_i}{\sum_{1-n}^n A_i} \quad 2)$$

Keterangan :

C = koefisien pengaliran rata-rata,

C<sub>i</sub> = koefisien pengaliran tiap-tiap tata guna tanah dan

A<sub>i</sub> = luas tiap-tiap tata guna tanah (km<sup>2</sup>).

Perkiraan nilai koefisien pengaliran (C) sesuai jenis permukaan seperti ditunjukkan pada Tabel.

**Tabel 5-1** Nilai Koefisien Aliran Lahan Khusus (C)

Diskripsi lahan/karakter permukaan	Koefisien aliran, C
Perkerasan <ul style="list-style-type: none"> <li>• aspal dan beton</li> <li>• batu bata, paving</li> </ul>	0,70 – 0,95 0,50 – 0,70
Halaman, tanah berpasir <ul style="list-style-type: none"> <li>• datar – 2%</li> <li>• rata-rata, 2 – 7%</li> <li>• curam, 7%</li> </ul>	0,05 – 0,10 0,10 – 0,15 0,15 – 0,20
Halaman, tanah berat <ul style="list-style-type: none"> <li>• datar – 2%</li> <li>• rata-rata, 2 – 7%</li> <li>• curam, 7%</li> </ul>	0,13 – 0,17 0,18 – 0,22 0,25 – 0,35
Halaman kereta api	0,10 – 0,35
Taman tempat bermain	0,10 – 0,25
Taman, pekuburan	0,10 – 0,25
Hutan <ul style="list-style-type: none"> <li>• datar, 0 -0,5%</li> <li>• bergelombang, 5-10%</li> <li>• berbukit, 10 -30%</li> </ul>	0,10 – 0,40 0,25 – 0,50 0,30 - 0,60

**Tabel 5-2** Nilai Koefisien Aliran secara Umum

Tipe daerah aliran	Keterangan	Koefisien C
Perumahan	Tanah gemuk 2 - 7 %	0,18 - 0,22
Busines	Daerah kota lama, daerah pinggran	0,75 - 0,95 0,50 - 0,70
Perumahan	Single family terpisah penuh, tertutup, rapat, apartemen	0,3 - 0,5 0,4 - 0,6 0,6 - 0,7 0,5 - 0,7
Industri	Ringan dan atau berat	0,5 - 0,8 0,6 - 0,9

- f. Periode ulang untuk menentukan debit rencana, disesuaikan dengan klasifikasi jalan, seperti ditunjukkan pada Tabel.

**Tabel 5-3** Periode Ulang Debit Rencana

Klas dan/atau Fungsi Jalan	Periode Ulang (Tahun)
Jalan tol	100
Jalan arteri	50
Jalan kolektor	50
Jalan lokal	25

- g. Nilai Intensitas (I) curah hujan, dimana faktor yang mempengaruhi adalah nilai curah hujan (R) dan nilai waktu konsentrasi ( $t_c$ ). Nilai intensitas hujan dapat dihitung dengan Metode Mononobe :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad 3)$$

Keterangan :

- I = intensitas hujan (mm/jam) dengan periode ulang T tahun,  
 $R_{24}$  = curah hujan harian maksimum dalam 24 jam (mm) dengan periode ulang T tahun dan  
 $t_c$  = waktu turun/konsentrasi (jam).

- h. Waktu konsentrasi bervariasi dengan ukuran dan bentuk daerah tangkapan, kemiringan lahan, jenis permukaan.  
 i. Waktu konsentrasi di daerah pengaliran ( $t_0$ ) dan di saluran ( $t_d$ ), kemudian hasil kedua perhitungan dijumlahkan, sehingga rumusnya menjadi seperti berikut :

$$t_c = t_0 + t_d \text{ (menit)} \quad 4)$$

dimana :

$$t_c = \left[ \frac{2}{3} \times 3,28 \times I \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right]^{0,167} \text{ (menit)} \quad 5)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 \times v} \text{ (menit)} \quad 6)$$

Keterangan :

- n = angka kekasaran permukaan lahan,  
 S = kemiringan lahan,  
 L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m),



Ls = panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m) dan

V = kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

Perkiraan nilai koefisien pengaliran (n) sesuai jenis permukaan seperti ditunjukkan pada Tabel.

**Tabel 5-4** Nilai Kekasaran Permukaan Jalan

No	Kondisi lapis permukaan	n <sub>d</sub>
1	Lapisan semen dan aspal beton	0.013
2	Permukaan licin dan kedap air	0.020
3	Permukaan licin dan kokoh	0.100
4	Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0.200
5	Padang rumput dan rerumputan	0.400
6	Hutan gundul	0.600
7	Hutan rimbum dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0.800

### 5.3.2 Penentuan Curah Hujan

a. Penentuan curah hujan, banyak cara yang diantaranya:

1) Cara rata-rata aljabar

Cara ini memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

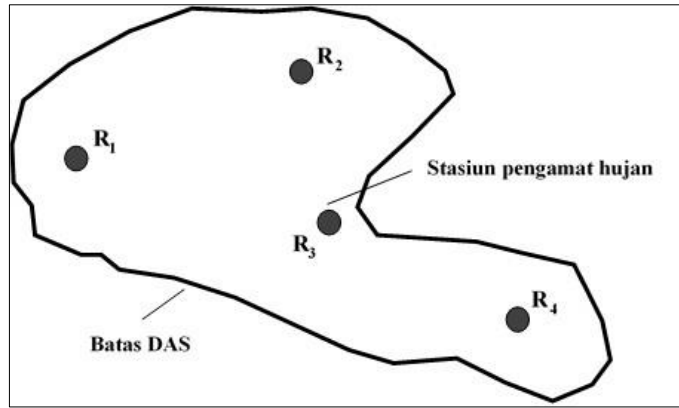
$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_n) \quad 7)$$

Keterangan :

R = curah hujan rata-rata daerah (mm)

n = jumlah titik-titik (pos-pos) pengamatan

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>n</sub> = curah hujan di tiap titik pengamatan



**Gambar 5-1** Lokasi Pos Pengamatan Hujan

2) Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang. Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar. Hal yang perlu diperhatikan dalam cara poligon thiessen ini adalah stasiun pengamatan minimal tiga stasiun dan penambahan stasiun akan merubah seluruh jaringan.

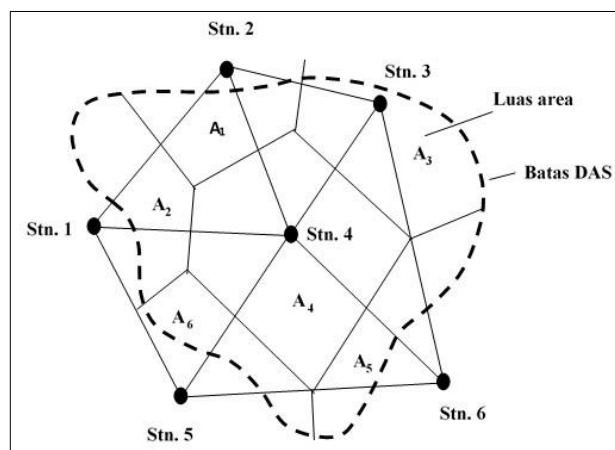
$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad 8)$$

Keterangan :

$\bar{R}$  = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = Curah hujan pada stasiun 1, 2, .....,n (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah pada poligon 1, 2, .....,n (Km<sup>2</sup>)



**Gambar 5-2** Perhitungan Curah Hujan dengan Cara *Polygon Thiessen*

3) Cara Isohyet

Dengan cara ini, kita harus menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (*isohyet*). Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapatkan hujan areal rata-rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat yang memungkinkan untuk membuat isohyet. Pada waktu menggambar isohyetse baiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik).

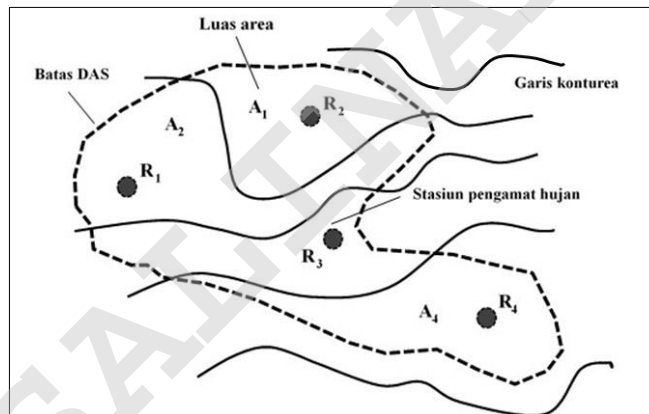
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_2 + R_3}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + A_n} \quad 9)$$

Keterangan :

R = Curah hujan rata-rata (mm)

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, .., R<sub>n</sub> = Curah hujan stasiun 1, 2, ....., n (mm)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, .., A<sub>n</sub> = Luas bagian yang dibatasi oleh isohyet (Km<sup>2</sup>)



Gambar 5-3 Perhitungan Curah Hujan dengan Cara Isohyet

- b. Pemilihan metode curah hujan yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan, berdasarkan tiga faktor, seperti ditunjukkan pada Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Pemilihan Metoda Curah Hujan

Berdasarkan faktor	Satuan	Metoda
Jaringan pos penakar curah hujan	Jumlah pos penakar hujan cukup	Metoda isohyet, thiessen dan rata-rata aljabar dapat dipakai.
	Jumlah pos penakar hujan terbatas	Metode thiessen dan rata-rata aljabar

Berdasarkan faktor	Satuan	Metoda
	Pos penakar hujan tunggal	Metode hujan titik tersebut.
Luas DAS	DAS besar (> 5000 Km <sup>2</sup> )	Metoda isohyet
	DAS sedang (500 s/d 5000 Km <sup>2</sup> )	Metoda thiessen
	DAS kecil (< 500 Km <sup>2</sup> )	Metode rata-rata aljabar
Topografi DAS	Pegunungan	Metode rata-rata aljabar
	Dataran	Metoda thiessen
	Berbukit dan tidak beraturan	Metoda thiessen

### 5.3.3 Hidrograf

- Apabila data yang tersedia hanya berupa data hujan dan karakteristik DAS, salah satu metoda yang disarankan adalah menghitung debit banjir dari data hujan maksimum harian rencana dengan cara superposisi hidrograf satuan sintetis.
- Metoda superposisi hidrograf satuan sintetis yang dapat digunakan diantaranya adalah cara HSS-SCS, HSS-Snyder, HSS-Gama-I, HSS-Nakayasu, HSS-ITB-1 dan HSS-ITB-2.
- Catatan: Ditemukannya Integrasi exact kurva HSS ITB-1 dan HSS ITB-2 (D.K. Natakusumah, 2014), sehingga hasil integrasi numerik yang digunakan dalam menghitung luas kurva HSS ITB-1 dan HSS ITB-2 dapat dipastikan kebenaran.
- Dari definisi HSS dan prinsip konservasi massa, dapat disimpulkan bahwa volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata di seluruh DAS (VDAS) harus sama volume hidrograf satuan sintetis (VHS) dengan waktu puncak  $T_p$ , atau  $1000 ADAS = AHSS Q_p T_p 3600$ .
- Akibatnya rumus debit puncak yang berlaku untuk semua bentuk HSS adalah:

$$Q_p = \frac{R A_{DAS}}{3.6 T_p A_{HSS}} \quad 10)$$

Atau dapat pula ditulis seperti berikut:

$$Q_p = \frac{K_p * R * A_{DAS}}{T_p} \quad 11)$$

Keterangan:

$Q_p$  = debit puncak hidrograf satuan ( $m^3/s$ )

$K_p$  =  $1/(3.6 \times A_{HSS})$  = Peak Rate Factor ( $m^3$  per  $s/km^2/mm$ ).

$R$  = curah hujan satuan (1 mm).

$T_p$  = waktu mencapai puncak (jam).

$A_{DAS}$  = luas DAS ( $km^2$ ).

$A_{HSS}$  = luas kurva HSS tak berdimensi (*dimensionless synthetic unit hidrograf*).

- f. Dari rumusan di atas terlihat bahwa rumus  $Q_p$  (Debit puncak) dan  $K_p$  (*Peak Rate Faktor*) di atas bentuknya lebih sederhana, mudah dipahami dan berlaku umum untuk semua HSS dengan prinsip kerja yang sama. Pada Tabel 5-2, Tabel 5-3 dan Tabel 5-4, ditunjukkan beberapa metoda HSS yang akan digunakan dalam pedoman ini. Rumus umum  $Q_p$  pada persamaan 10) atau 11) di atas selain berlaku untuk HSS ITB-1 dan ITB-2, juga dapat digunakan untuk HSS SCS dan Nakayasu.

**Tabel 5-2** Perbandingan Rumus Hidrograf Satuan Sintesis Cara ITB, SCS, Nakayasu dan GAMA-1

Parameter	ITB	SCS	Nakayasu	GAMA-1
Data Primer DAS (Dari peta DAS)	A = Luas DAS L = Panjang sungai	A = Luas DAS L = Panjang sungai terpanjang	A = Luas DAS L = Panjang sungai	Luas total DAS (A) Panjang Sungai Maksimum (L) Kemiringan DAS/Slope (S) Lebar DAS pada titik 0,75L Lebar DAS pada titik 0,25L Luas DAS Sebelah Hulu Titik Berat (AU) Banyaknya sungai order-1 (J1) Banyaknya sungai untuk semua order ( $\sum J_i$ )

Parameter	ITB	SCS	Nakayasu	GAMA-1
				Jumlah Panjang sungai order-1 (L1) Jumlah Panjang untuk semua order ( $\sum Li$ )
Data Sekunder DAS (Dihitung dari Data Primer)	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada	Faktor Lebar/width Factor (WF) Faktor simetri factor (SIM) = WF x RUA Faktor Sumber/Source Factor (SF) Frekuensi Sumber/Source frequency (SN) Jumlah Pertemuan Sungai Frequency (JN) Luas Relatif DAS (RUA) = AU/A Kerapatan Drainase/drainage density (D)
Input Non Fisik DAS	R = Curah Hujan Satuan Tr = Durasi hujan standar Ct = Coef Kalibrasi Waktu	R = Curah Hujan Satuan Tr = Durasi hujan standar Ct=Coef Waktu (1-1.2)	R = Curah Hujan Satuan	R = Curah Hujan Satuan
Time Lag tp	HSS ITB-1 tp = Ct 0.81225 L <sup>0.6</sup> HSS ITB-2	$t_p = Ct(LL_c)^n$ n=0.2-0.3 Cp = Coef Waktu (Untuk kalibrasi) Dapat juga menggunakan rumus time lag	$T_g = 0.21 L^{0.7}$ (L < 15 km) $T_g = 0.4 + 0.05L$ (L > 15 km)	Tidak Ada

Parameter	ITB	SCS	Nakayasu	GAMA-1
	$t_p$ $= C_t$ $(0.0394L+0.201)$ $C_t = \text{Coef}$ Waktu (0.3– 1.5, Untuk kalibrasi) Dapat juga menggunakan rumus time lag yang ada dalam literatur, (lihat <b>Lampiran-2</b> )	yang ada dalam literatur, (lihat <b>Lampiran-2</b> )		
Waktu puncak $T_p$	$T_p = t_p + 0.50$ $T_r$	$T_p = t_p + 0.50 T_r$	$T_r = 0.75 T_g$ $T_{0.8} = 0.8 T_r$ $T_p = T_g + 0.8 T_r$	$T_p$ $= 0.43 \left( \frac{L}{100F} \right)^3$ $+ 1.0665 S_{IM} + 1.2775$
Time Base $T_b$	$T_b = \infty$ Catatan : Prakteknya $T_b$ dibatasi $T_b/T_p = 10$	$T_b = 5 T_p$	$T_b = \infty$	$T_b = 27.4132 T_p^{0.1457} S^{-0.098}$

**Tabel 5-3** Perbandingan Rumus Hidrograf Satuan Sintesis Cara ITB, SCS, Nakayasu dan GAMA-1 (Lanjutan)

Parameter	ITB	SCS	Nakayasu	GAMA-1																																																												
Bentuk Kurva	<p>Kurva Tunggal atau Ganda</p> <p>1) Kurva tunggal HSS ITB-1</p> $q(t) = \{t * \exp(1 - t)\}^{\alpha C_p}$ <p>(<math>t \geq 0</math>)</p> <p>dimana <math>a=3.7</math></p> <p>2) Kurva ganda HSS ITB-2</p> $q(t) = t^{\alpha}$ <p>(<math>0 \leq t \leq 1</math>)</p> $q(t) = \exp(1 - t) * \beta C_p$ <p>(<math>t \geq 1</math>)</p> <p>dimana <math>a=2.4, b=0.80</math></p> <p>Catatan :</p> <p>1) <math>t = T/T_p</math> (tak berdimensi)</p> <p>2) <math>q = Q/Q_p</math> (tak berdimensi)</p> <p>3) <math>C_p = \text{Coef Kalibrasi } Q_p</math> (0.3–1.5)</p>	<p>Kurva Tunggal dari SCS pada tabel berikut</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>t/tp</th> <th>q/qp</th> <th>t/tp</th> <th>q/qp</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.400</td><td>0.750</td></tr> <tr><td>0.100</td><td>0.015</td><td>1.500</td><td>0.660</td></tr> <tr><td>0.200</td><td>0.075</td><td>1.600</td><td>0.560</td></tr> <tr><td>0.300</td><td>0.160</td><td>1.800</td><td>0.420</td></tr> <tr><td>0.400</td><td>0.280</td><td>2.000</td><td>0.320</td></tr> <tr><td>0.500</td><td>0.430</td><td>2.200</td><td>0.240</td></tr> <tr><td>0.600</td><td>0.600</td><td>2.400</td><td>0.180</td></tr> <tr><td>0.700</td><td>0.770</td><td>2.600</td><td>0.130</td></tr> <tr><td>0.800</td><td>0.890</td><td>2.800</td><td>0.098</td></tr> <tr><td>0.900</td><td>0.970</td><td>3.000</td><td>0.075</td></tr> <tr><td>1.000</td><td>1.000</td><td>3.500</td><td>0.036</td></tr> <tr><td>1.100</td><td>0.980</td><td>4.000</td><td>0.018</td></tr> <tr><td>1.200</td><td>0.920</td><td>4.500</td><td>0.009</td></tr> <tr><td>1.300</td><td>0.840</td><td>5.000</td><td>0.004</td></tr> </tbody> </table> <p>Catatan :</p> <p><math>t = T/T_p</math> (tak berdimensi)</p> <p><math>q = Q/Q_p</math> (tak berdimensi)</p>	t/tp	q/qp	t/tp	q/qp	0.000	0.000	1.400	0.750	0.100	0.015	1.500	0.660	0.200	0.075	1.600	0.560	0.300	0.160	1.800	0.420	0.400	0.280	2.000	0.320	0.500	0.430	2.200	0.240	0.600	0.600	2.400	0.180	0.700	0.770	2.600	0.130	0.800	0.890	2.800	0.098	0.900	0.970	3.000	0.075	1.000	1.000	3.500	0.036	1.100	0.980	4.000	0.018	1.200	0.920	4.500	0.009	1.300	0.840	5.000	0.004	<p>Kurva Majemuk (4 Kurva)</p> <p>1) (<math>0 \leq t \leq T_p</math>)</p> $Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4}$ <p>2) (<math>T_p \leq t \leq T_p + T_{0.3}</math>)</p> $Q_{d1} = Q_p \cdot 0.3 \left(\frac{1-T_p}{T_{0.3}}\right)$ <p>3) (<math>T_p + T_{0.3} \leq t \leq T_p + 1.5 T_{0.3}</math>)</p> $Q_{d2} = Q_p \cdot 0.3 \left(\frac{1-T_p+0.5}{1.5 \cdot T_{0.3}}\right)$ <p>4) (<math>t \geq T_p + 1.5 T_{0.3}</math>)</p> $Q_{d3} = Q_p \cdot 0.3 \left(\frac{1-T_p+1.5T_{0.3}}{2 \cdot T_{0.3}}\right)$ <p>Catatan : <math>T = \text{waktu (jam)}</math></p>	<p>Kurva Ganda</p> <p>1) Lengkung naik (<math>0 \leq T \leq T_p</math>)</p> $Q_t = Q_p T$ <p>2) Lengkung Turun (<math>T_p \leq T \leq T_b</math>)</p> $Q_t = Q_p e^{-T/K}$ <p>Catatan :</p> <p><math>T = \text{waktu (jam)}</math></p> <p><math>K</math></p> $= 0.5617A^{0.1798} S^{-0.1446} SF^{-1}$
t/tp	q/qp	t/tp	q/qp																																																													
0.000	0.000	1.400	0.750																																																													
0.100	0.015	1.500	0.660																																																													
0.200	0.075	1.600	0.560																																																													
0.300	0.160	1.800	0.420																																																													
0.400	0.280	2.000	0.320																																																													
0.500	0.430	2.200	0.240																																																													
0.600	0.600	2.400	0.180																																																													
0.700	0.770	2.600	0.130																																																													
0.800	0.890	2.800	0.098																																																													
0.900	0.970	3.000	0.075																																																													
1.000	1.000	3.500	0.036																																																													
1.100	0.980	4.000	0.018																																																													
1.200	0.920	4.500	0.009																																																													
1.300	0.840	5.000	0.004																																																													
$A_{HSS}$ (Exact)	1) Kurva tunggal HSS ITB-1	Tidak dinyatakan secara eksplisit	Tidak dinyatakan secara eksplisit	Tidak dinyatakan secara eksplisit																																																												



Parameter	ITB	SCS	Nakayasu	GAMA-1
	$A_{HSS} = \frac{e^m \Gamma(m+1,0)}{m^{m+1}}$ <p>Untuk <math>\alpha=3.7</math>, <math>C_p=1.0</math>            harga <math>m=3.7</math>, maka harga            fungsi Gamma dicari            dengan fungsi excell sbb  <math>\Gamma(m+1,0) = \text{EXP}</math>  <math>(\text{"GAMMALN"}(m+1)) * (1 - \text{GAMMADIST}(0, m+1, 1, \text{TRUE}))</math></p> <p>2) Kurva ganda HSS ITB-2</p> $A_{HSS} = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{n} - \frac{\exp(-(b-1)*n)}{n}$			
Peak Rate Faktor Kp (Exact)	$K_p = 1.0 / (3.6 * A_{HSS})$	$K_p = 0.2083$	Tidak dinyatakan secara eksplisit	Tidak dinyatakan secara eksplisit
Debit Puncak Qp	$Q_p = \frac{K_p A R}{T_p}$	$Q_p = \frac{K_p A R}{T_p}$	$Q_p = \frac{A R}{3.6(0.3T_p + 0.3)}$	$Q_p = 0.1836$ $A^{0.5886} T_p^{-0.4008} JN^{-0.2381}$

**Tabel 5-4** Berbagai Rumus Time Lag dan Waktu Puncak untuk HS cara ITB

Method	Time Lag	Waktu Puncak (Time to Peak)	Catatan
Kirpich	$T_c = 0.01947 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.835}} \right)$	$T_p = 2/3T_c$	Untuk Cathment Kecil (A=2 km <sup>2</sup> ) T <sub>c</sub> = Waktu Konsentrasi (Jam) L = Panjang Sungai (km) S = Kemiringan Sungai (m/m) T <sub>p</sub> = Waktu Puncak (Jam)
Snyder	$T_L = (L \cdot L_c)^{0.3}$	$T_e = T_p/5.5$ $T_p = \begin{cases} T_e \geq T_r \rightarrow T_p = t_p + 0.25 (T_r) \\ T_e < T_r \rightarrow T_p = t_p + 0.50 T_r \end{cases}$	TL = time lag (Jam) L = Panjang Sungai (km) L <sub>c</sub> = Jarak Titik Berat ke outlet (km) T <sub>e</sub> = Durasi Hujan Efektif (Jam) S = Kemiringan Sungai (m/m) T <sub>r</sub> = Satuan Durasi Hujan (jam) T <sub>p</sub> = Waktu Puncak (Jam)
Nakayasu	$T_L = \begin{cases} 0.21 L^{0.7} & (L < 15 \text{ km}) \\ 0.527 + 0.058 L & (L \geq 15 \text{ km}) \end{cases}$	$T_p = 1.6T_L$	TL = time lag (Jam) L = Panjang Sungai (km) T <sub>p</sub> = Waktu Puncak (Jam)
SCS	$T_L = L^{0.8} \left( \frac{2540 - 22.86 \text{ CN}}{14104 \text{ CN}^{0.7} S^{0.5}} \right)$	$T_p = T_L + 0.5 T_r$	TL = time lag (Jam) L = River Lenght (km) S = Kemiringan Sungai (m/m) CN = Curve number (50 - 95) T <sub>r</sub> = Satuan Durasi Hujan (jam) T <sub>p</sub> = Waktu Puncak (Jam)

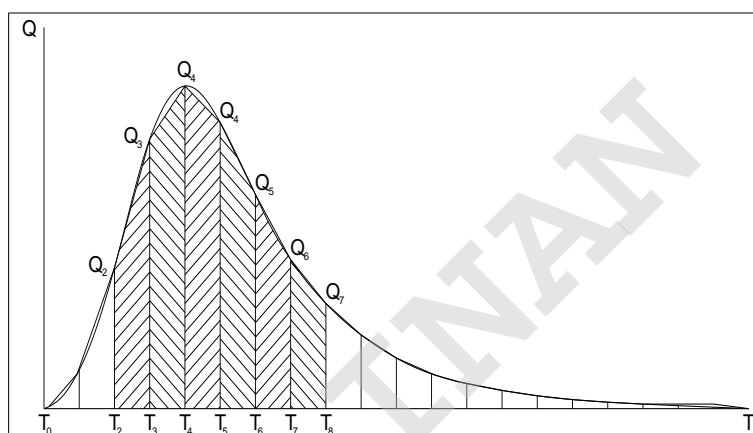
- g. Debit banjir puncak untuk semua HSS yang dibahas yaitu HSS cara ITB, SCS, Nakayasu dilakukan dengan cara ITB, yaitu dengan mula-mula mengitung harga  $K_p$ . (*Peak Rate Factor*) dalam ( $m^3$  per  $s/km^2/mm$ )

$$K_p = 1 / (3.6 \times A_{HSS}) \quad (12)$$

Dan selanjutnya menghitung harga  $Q_p$  ( $m^3$ )

$$Q_p = \frac{K_p * R * A_{DAS}}{T_p} \quad (13)$$

- h. Perhitungan Luas HSS diperoleh dengan metoda trapesium banyak pias seperti ditunjukkan pada Gambar 5-4 Terlihat bahwa kurva lengkung didekati dengan sejumlah segmen garis lurus yang menerus (*piecewise straight lines*).



**Gambar 5-4** Integrasi Numerik Kurva Hidrograf dengan Metoda Trapesium

- i. Integrasi numerik dengan metoda trapesium dilakukan menggunakan persamaan.

$$A_{HSS} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (T_{i+1} - T_i) \times (Q_{i+1} + Q_i) \quad (14)$$

Untuk hidrograf HSS harga  $Q_0$  dan  $Q_N$  umumnya sama dengan nol.

- j. Setelah luas  $A_{HSS}$  diperoleh dengan integrasi numerik, dapat dihitung harga  $K_p$  dan  $Q_p$ , dengan rumus umum cara ITB. Hasil yang diperoleh selanjutnya akan dibandingkan dengan harga  $K_p$  dan  $Q_p$  dari rumusan aslinya untuk memeriksa ketelitian hasil perhitungan. Perhitungan dianggap benar jika selisih harga numerik dan eksak kurang dari 2%.
- k. Karena hujan yang jatuh di DAS terjadi tidak merata terhadap waktu, hidrograf yang terjadi didefinisikan sebagai superposisi dari hidrograf satuan akibat total curah hujan yang terjadi. Total hidrograf dianggap merupakan jumlah kumulatif dari hidrograf satuan dikalikan curah hujan yang terjadi sesungguhnya. Untuk

Prinsip superposisi dari hidrograf satuan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut;

$$Q = \sum_{k=0}^n P_N U_N = P_1 U_1 + P_2 U_2 + \dots + P_N U_N \quad 15)$$

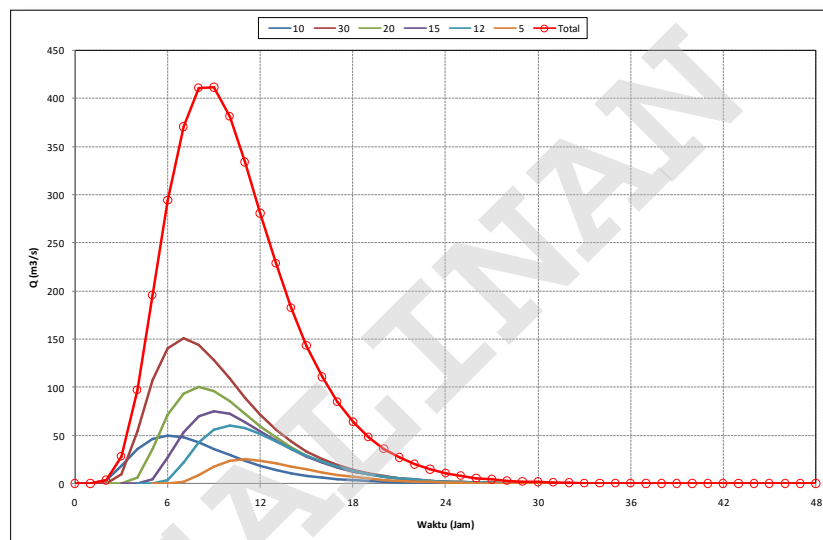
Keterangan:

$Q_n$  = ordinat storm hidrograf.

$P_i$  = kelebihan curah hujan.

$U_n$  = ordinat unit hidrograf.

- l. Dalam prakteknya perhitungan di atas dilakukan dengan menggunakan tabel superposisi. Contoh hasil superposisi hidrograf ditunjukkan pada Gambar 5-5.



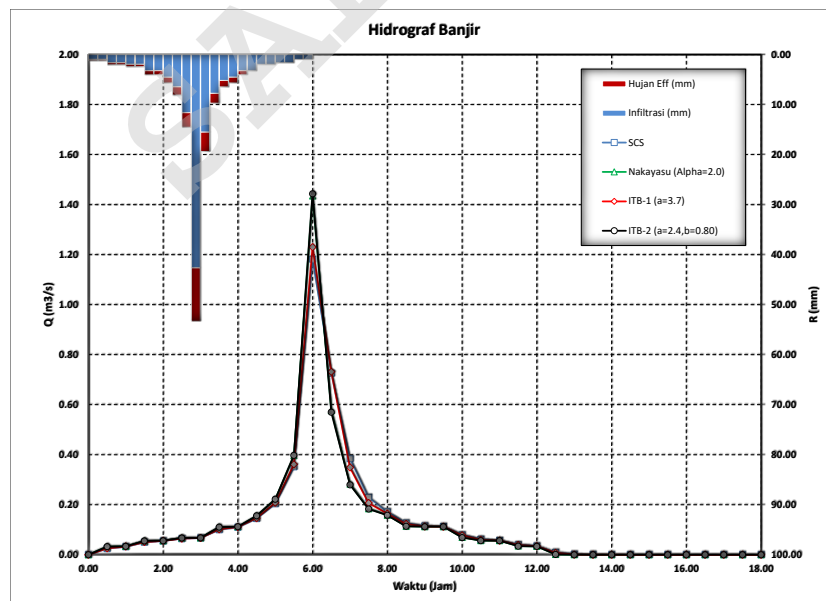
**Gambar 5-5** Superposisi Hidrograf

- m. Distribusi hujan untuk perencanaan hidrolika drainase jalan dengan DAS kecil dengan  $t_c < 10$  menit digunakan metoda rational.
- n. Distribusi hujan untuk desain hidrolika jalan dengan DAS besar dengan  $t_c > 1.0$  jam, menggunakan metoda hidrograf satuan sintetis dengan distribusi hujan yang direkomendasikan sesuai distribusi PSA-007 atau distribusi ITB-DI (ITB-Durasi-Interval) dengan interval 1 jam.
- o. Distribusi hujan untuk DAS besar ( $T_P > 1.0$  Jam) distribusi yang digunakan adalah PSA-007 atau ITB-DI (ITB-Durasi-Interval). Dengan interval 1 jam.
- p. Distribusi hujan untuk DAS berukuran sedang dan kecil ( $10 \text{ menit} < T_P < 1.0$  Jam), dengan durasi dibatasi sampai 6 jam dan distribusi yang digunakan adalah ITB-DI (ITB-Durasi-Interval). Dengan interval waktu ( $1/2, 1/3, 1/4, 1/5$  atau  $1/6$  jam).

- q. Perhitungan hidrograf bajir dilakukan dengan HSS Cara ITB-1 dan ITB-2, SCS dan Nakayasu. Banjir terjadi di DAS tersebut akibat hujan efektif pada seperti pada Tabel 5-5 (interval 1/4 jam). Setelah melalui proses superposisi hidrograf hanya memperhitungkan distribusi hujan efektif (warna merah) didapat hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 5-5 dan
- r. Gambar 5-6 Apabila menggunakan DAS lebih kecil, maka nilai C = 1.

**Tabel 5-5** Distribusi Hujan Efektif Kasus DAS Kecil

Jam	R (mm)	Infil (mm)	Reff (mm)
0.00	0.000	0.000	0.000
0.50	1.211	0.969	0.242
1.00	1.211	0.969	0.242
1.50	2.019	1.615	0.404
2.00	2.019	1.615	0.404
2.50	2.423	1.938	0.485
3.00	2.423	1.938	0.485
3.50	4.038	3.230	0.808
4.00	4.038	3.230	0.808
4.50	5.653	4.523	1.131
5.00	8.076	6.461	1.615
5.50	14.537	11.630	2.907
6.00	53.303	42.642	10.661
6.50	19.383	15.506	3.877
7.00	9.691	7.753	1.938
7.50	6.461	5.169	1.292
8.00	5.653	4.523	1.131
8.50	4.038	3.230	0.808
9.00	4.038	3.230	0.808
9.50	2.423	1.938	0.485
10.00	2.423	1.938	0.485
10.50	2.019	1.615	0.404
11.00	2.019	1.615	0.404
11.50	1.211	0.969	0.242
12.00	1.211	0.969	0.242
Total	161.524	129.219	32.305
		80.00%	20.00%



**Gambar 5-6** Hidrograf Banjir DAS Kecil 0.250 km<sup>2</sup> dan L=0.120 km.

### 5.3.4 Analisa Hidrolika

- a. Ketentuan teknis komponen hidrolika ditentukan sebagai berikut penentuan luas penampang saluran.

$$A = \frac{Q}{V} \quad 16)$$

Keterangan:

A = luas penampang basah saluran (m<sup>2</sup>)

Q = debit aliran yang didapat dari perhitungan hidrologi (m<sup>3</sup>/det)

V = kecepatan aliran (m/det)

- b. Kecepatan saluran dihitung dengan rumus Manning atau Strickler sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad 17)$$

$$V = k R^{2/3} i^{1/2} \quad 18)$$

Keterangan:

V = kecepatan aliran (m/det)

n = koefisien kekasaran Manning yang nilainya didasarkan pada bahan saluran.

k = koefisien kekasaran Strickler yang nilainya didasarkan pada bahan saluran.

R = jari-jari hidrolis saluran (m).

i = kemiringan aliran, dalam hal aliran seragam kemiringan aliran sama dengan kemiringan dasar saluran.

- c. Jari-jari hidrolis dihitung untuk rumus kecepatan non-gerusan yang diizinkan dari Rumus Manning, yaitu:

$$R = \left[ \frac{(n \cdot V)}{i^{1/2}} \right]^{2/3} \quad 19)$$

## 6. Desain Saluran Permukaan Perkerasan Jalan

### 6.1 Ketentuan Umum

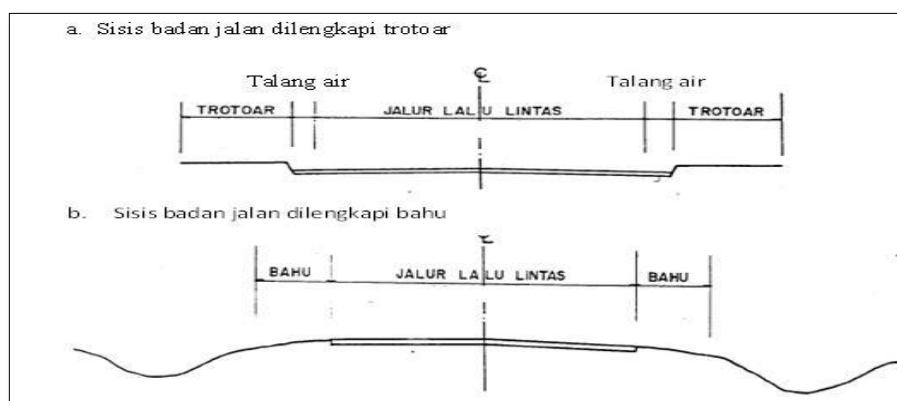
- a. Sistem drainase permukaan perkerasan jalan, berfungsi untuk mengendalikan limpasan air hujan di permukaan badan jalan dan daerah sekitarnya agar tidak menggenang, yang bisa berakibat merusak struktur jalan, lingkungan dan lalu lintas. Fungsi tersebut meliputi:

- 1) Mengendalikan debit air limpasan permukaan secepat-cepatnya ke luar dari permukaan badan jalan.
  - 2) Mencegah terjadinya hambatan dan kecelakaan lalu lintas.
  - 3) Mencegah/mengurangi rembesan ke dalam struktur perkerasan jalan.
- b. Sistem drainase permukaan harus mempertimbangkan ciri klasifikasi sistem jalan, seperti aspek; geometrik jalan, jenis perkerasan, tipe/konfigurasi jalan dan fasilitas saluran pembawa yang ada (pembuang/*street inlet* dan *outlet*).
- c. Mencegah terjadinya *hidroplaning*, ini merupakan kondisi terbentuknya lapisan air di antara ban mobil dengan permukaan jalan saat terjadi hujan. Pengemudi akan kehilangan kontrol atas kendaraan dan akibatnya terjadi hilang kendali/kecelakaan.
- d. *Hydroplaning* adalah fungsi dari kedalaman air, geometri jalan, kecepatan kendaraan, kedalaman tapak, tekanan inflasi ban, dan kondisi permukaan perkerasan.

## 6.2 Ketentuan Teknis

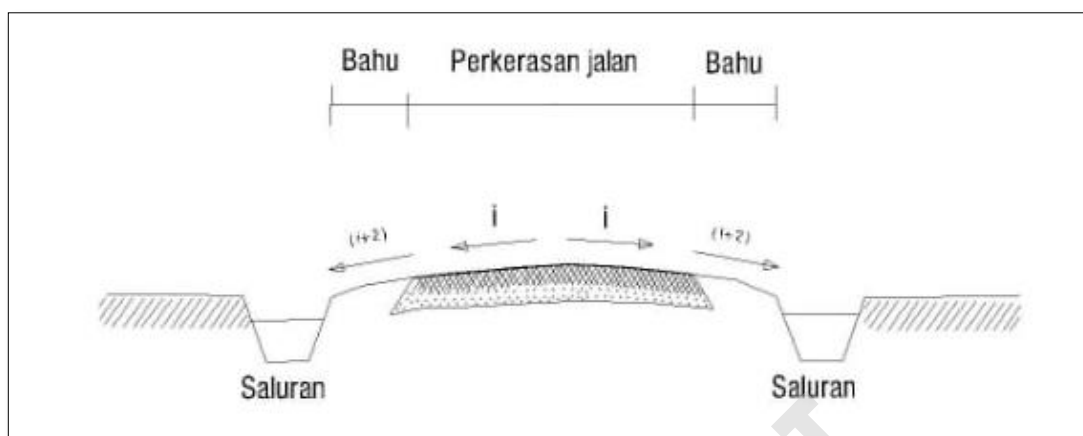
### 6.2.1 Elemen Geometrik Jalan

- a. Besaran elemen geometrik jalan, seperti; lebar jalu/lajur, lebar bahu/trotoar, lebar median' kemiringan melintang jalan, kemiringan memanjang. Untuk jalan baru mengikuti ketentuan desain geometrik jalan, untuk peningkatan mengikuti besaran yang ada di lapangan.
- b. Tipikel jalan luar kota, dimana badan jalan bagian luar umumnya dilengkapi bahu jalan sedangkan jalan perkotaan dilengkapi trotoar, seperti ditunjukkan pada Gambar 6-1.



**Gambar 6-1** Tipikel Sisi Luar Jalan Perkotaan dan Luar Kota

- c. Kemiringan melintang permukaan perkerasan jalan dan bahu/trotoar (*cross flow*) normal seperti diilustrasikan pada Gambar 6-2, dalam hal tertentu kemiringan melintang bisa disesuaikan dengan jenis perkerasan, seperti tercantum pada Tabel 6-1.



**Gambar 6-2** Kemiringan Melintang Jalan

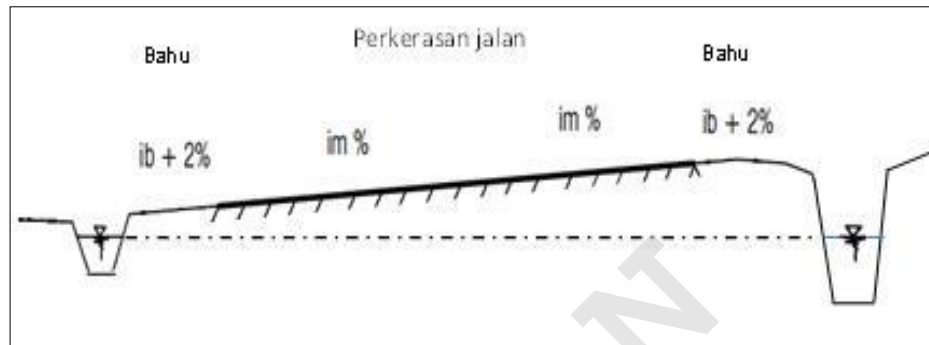
**Tabel 6-1** Tipikal Kemiringan Melintang Badan Jalan dan Bahu Jalan

No.	Jenis lapisan perkerasan jalan	Kemiringan perkerasan jalan ( $i_m$ )	Kemiringan bahu jalan ( $i_b$ , %)
1.	Aspal, beton	2 - 3	3 - 5
2.	Japat (jalan agregat padat tahan)	2 - 4	3 - 5
3.	Kerikil	3 - 6	4 - 7
4.	Tanah	4 - 6	5 - 7

- d. Kemiringan melintang badan jalan, ada empat bentuk, yaitu:
- 1) Searah atau juga tidak dengan kemiringan perkerasan jalan.
  - 2) Kemiringan bahu lebih besar dari kemiringan permukaan perkerasan jalan.
  - 3) Bahu kanan searah atau tidak searah lalu lintas, pada jalan berlajur banyak ada median, dimiringkan ke arah saluran yang ada di median jalan.
  - 4) Kemiringan melintang pada dasarnya ingin mendapatkan waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir ke saluran pembuang lebih pendek dan air cepat hilang dari permukaan jalan.

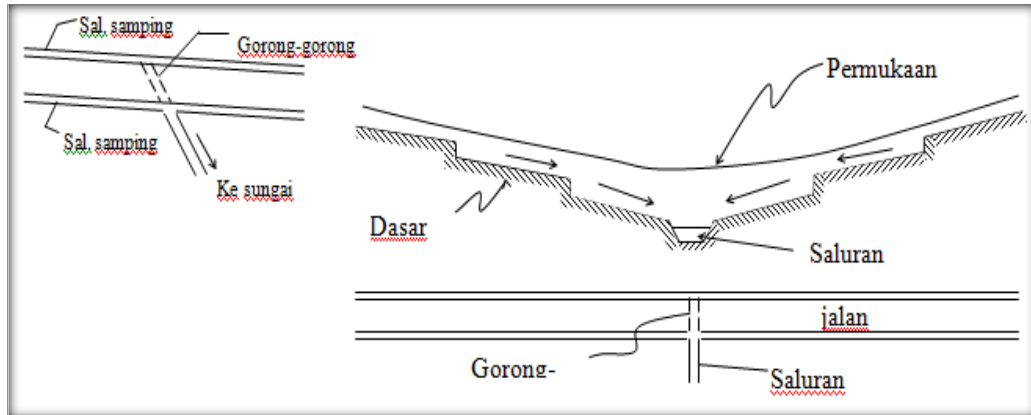


- 5) Bentuk poros perputaran kemiringan melintang jalan, diilustrasikan pada Gambar 6-2 dan Gambar 6-3.
- e. Pada bagian jalan di tikungan, diperlukan kemiringan melintang jalan maksimum (superelevasi), aspek yang harus diperhatikan:
- 1) Elevasi dasar saluran di tepi luar jalan pada tikungan tetap mengikuti kemiringan dasar saluran pada bagian hulu, lihat Gambar 6-3.



**Gambar 6-3** Arah Aliran pada Tikungan dengan Superelevasi

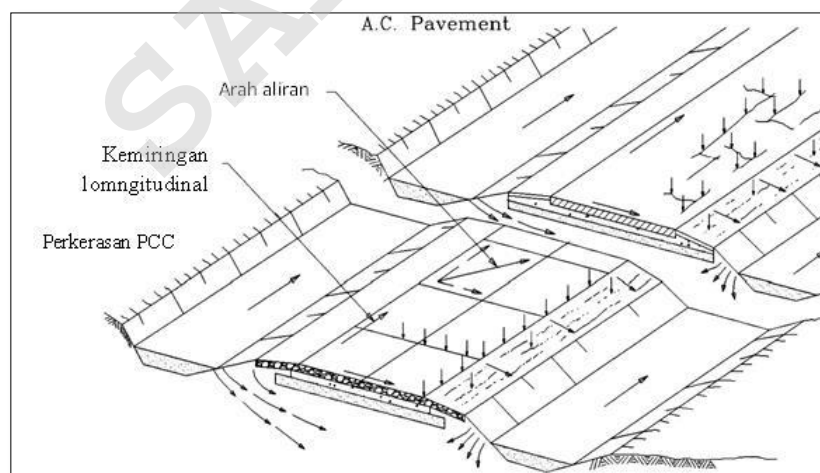
- 2) Pada tikungan yang lebar, badan/perkerasan jalan relatif pendek misal 2 (dua) lajur maka seperti Gambar 6-3 di atas dengan seluruh permukaan jalan dimiringkan satu arah.
  - 3) Untuk tipe jalan dengan jumlah lajur banyak, maka saluran di median dimanfaatkan dengan dimensi saluran lebih kecil dari saluran samping.
- f. Kemiringan memanjang/kelandaian jalan, untuk jalan baru sesuai desain geometri jalan, untuk peningkatan sesuai kemiringan memanjang di lapangan.
- g. Kesenambungan antara perkerasan jalan, bahu jalan dan saluran samping, harus bertingkat dengan benar untuk memungkinkan aliran permukaan mengalir ke titik pengumpulan.
- h. Pada saat curah hujan tinggi dan air dalam saluran tidak habis meresap di sepanjang saluran, maka perlu dibuatkan saluran bantu untuk menuju saluran alam atau sungai terdekat.
- i. Pada jalan yang berubah dari menurun kemudian menanjak, saluran bantu dibuat pada tempat perubahan tersebut, seperti diilustrasikan pada Gambar 6-4.



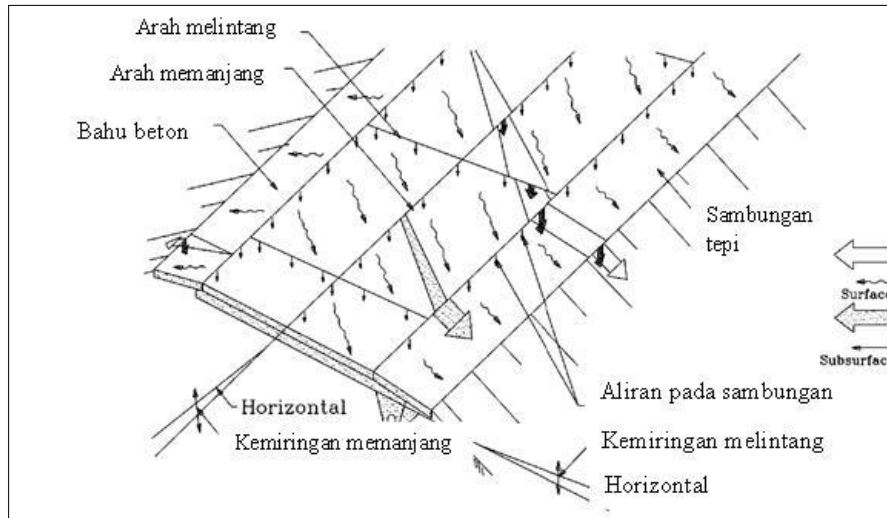
**Gambar 6-4** Pembuatan Saluran Bantu ke Alur Alam atau Sungai

### 6.2.2 Aliran Permukaan Jalan

- Kapasitas sistem drainase permukaan (kapasitas jalan dan kapasitas intersepsi saluran masuk) harus konsisten dengan kapasitas sistem pengangkutan air hujan di bagian hilir.
- Kapasitas pengangkutan jalan dibatasi oleh lebar, kedalaman, dan kecepatan aliran.
- Ilustrasikan alur pergerakan air di permukaan perkerasan dan di bawah permukaan dikendalikan oleh kemiringan longitudinal dan melintang jalan, seperti ditunjukkan pada Gambar 6-5 dan Gambar 6-6.



**Gambar 6-5** Titik Masuk Air ke dalam Bagian Struktur Perkerasan Jalan  
(Cedergren,1973a)



**Gambar 6-6** Jalur Aliran Air Permukaan dan Air Bawah Permukaan pada Bagian Struktur Perkerasan Beton Semen Portland (Cedergren, 1973a)

d. Untuk menentukan panjang (L), dapat dinyatakan dalam rumus:

$$L = W \sqrt{1 + \left(\frac{g}{S_c}\right)^2} \quad (20)$$

Keterangan:

W = lebar lapisan drainase

g = kemiringan longitudinal jalan raya

S<sub>c</sub> = kemiringan melintang jalan raya

Kemiringan jalur aliran (S), dapat dievaluasi menggunakan rumus:

$$S = W \sqrt{S_c^2 + g^2} \quad (21)$$

e. Jalur aliran air permukaan perkerasan jalan, faktor kemiringan memanjang, dan melintang serta panjang segmen jalan yang ditinjau, seperti ditunjukkan pada Gambar 6-7. Dimana jalur aliran ditentukan dengan menggabungkan kemiringan longitudinal dengan kemiringan melintang perkerasan jalan (S<sub>x</sub>) menggunakan rumus (Carpenter et al., 1981), yaitu:

$$L_R = W \left[ 1 + \left(\frac{S}{S_x}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (22)$$

Keterangan :

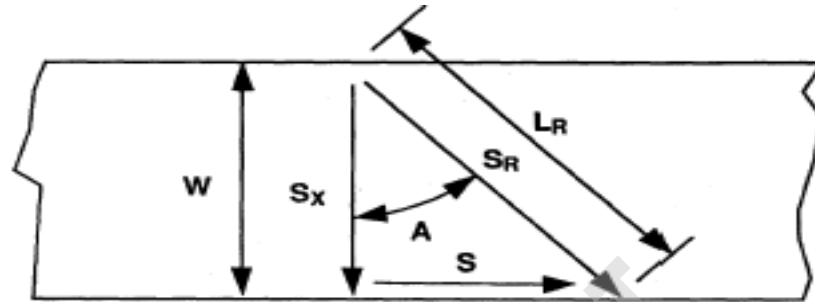
L<sub>R</sub> = panjang resultan alas, ft/ft.

W = lebar alas yang permeabel, ft/ft.

- f. Orientasi jalur aliran dapat ditentukan dengan menggunakan rumus 23.

$$\tan(A) = \frac{S}{S_x} \quad (23)$$

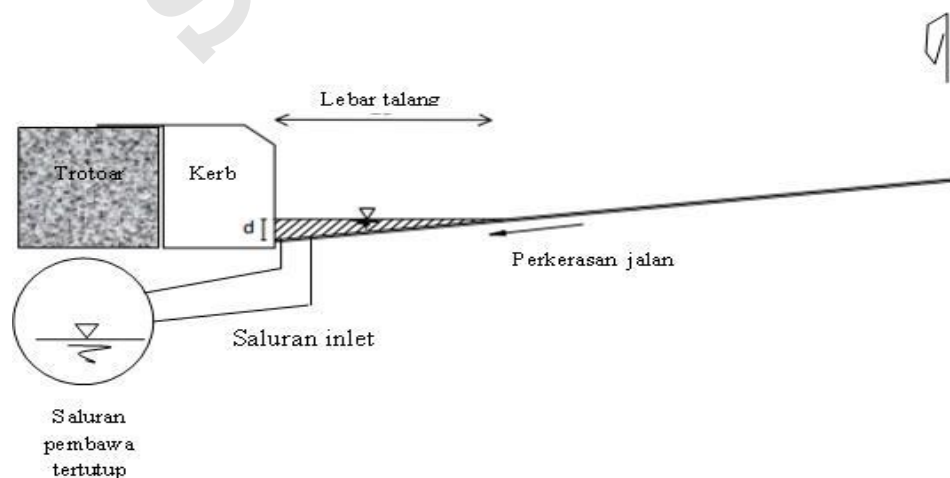
- 1)  $\tan(A)$ , dengan  $A$  adalah sudut antara kemiringan melintang jalan dan kemiringan resultan.
- 2) Panjang jalur aliran tidak boleh kurang dari lebar perkerasan jalan.



Gambar 6-7 Tampak atas Geometrik Jalan.

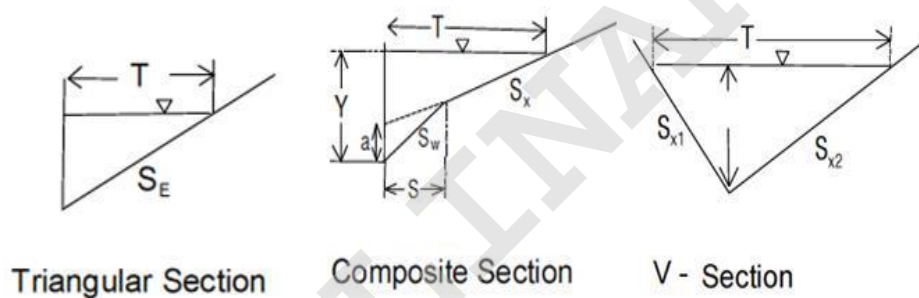
### 6.2.3 Saluran Talang

- a. Adanya kemiringan melintang dan memanjang jalan, maka aliran air permukaan di perkerasan jalan akan terkumpul di saluran talang/tali air yang berada di tepi perkerasan jalan berbatasan dengan bahu jalan atau trotoar.
- b. Kemiringan melintang talang dapat sama dengan perkerasan jalan atau dapat dirancang dengan kemiringan melintang yang lebih curam, biasanya 80 mm per meter lebih curam dari bahu jalan atau jalur parkir.
- c. Jalan perkotaan umumnya pertemuan tepi perkerasan dibatasi oleh kerb trotoar, seperti diilustrasikan pada Gambar 6-8.



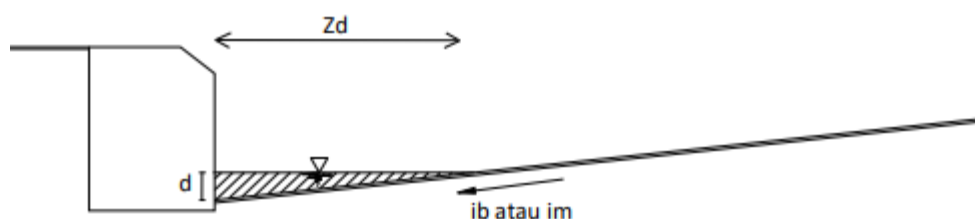
Gambar 6-8 Fitur Bagian Sisi Perkerasan Jalan

- d. Fasilitas untuk mengalirkan/membuang air yang tertampung di saluran talang air melalui:
- 1) Inlet jalan atau lubang gutter, jika dipasang trotoar dan kerb.
  - 2) Saluran penghubung untuk mengalirkan air dari inlet jalan ke saluran samping melalui bahu jalan, dan/atau melalui saluran di median.
- e. Secara melintang jalan, bila kerb tegak lurus dengan permukaan jalan, maka bentuk saluran menjadi bentuk segitiga. Jika kerb mempunyai kemiringan terhadap badan jalan, maka bentuk saluran mendekati bentuk V dan tidak mengganggu lalu lintas.
- f. Bila kemiringan badan jalan tidak sama dengan kemiringan perkerasan jalan, maka dasar saluran talang mempunyai dua kemiringan, sehingga disebut bentuk saluran kombinasi (*composite section*), seperti ditunjukkan pada Gambar 6-9.



**Gambar 6-9** Berbagai Bentuk Penampang Melintang Saluran Talang Air

- g. Debit air pada talang/tali air, adanya dua metoda perhitungan, yaitu:
- 1) Parameter yang diperlukan untuk menghitung aliran talang dari perkerasan ditunjukkan pada Gambar 6-10.
  - 2) Dihitung dengan rumus Manning sesuai penjelasan Gambar 6-10.



**Gambar 6-10** Tinggi dan Lebar Genangan Pada Kereb

$$Q = 0,375 \frac{Z_i}{n} i_j^{1/2} d^{8/3} \quad 24)$$

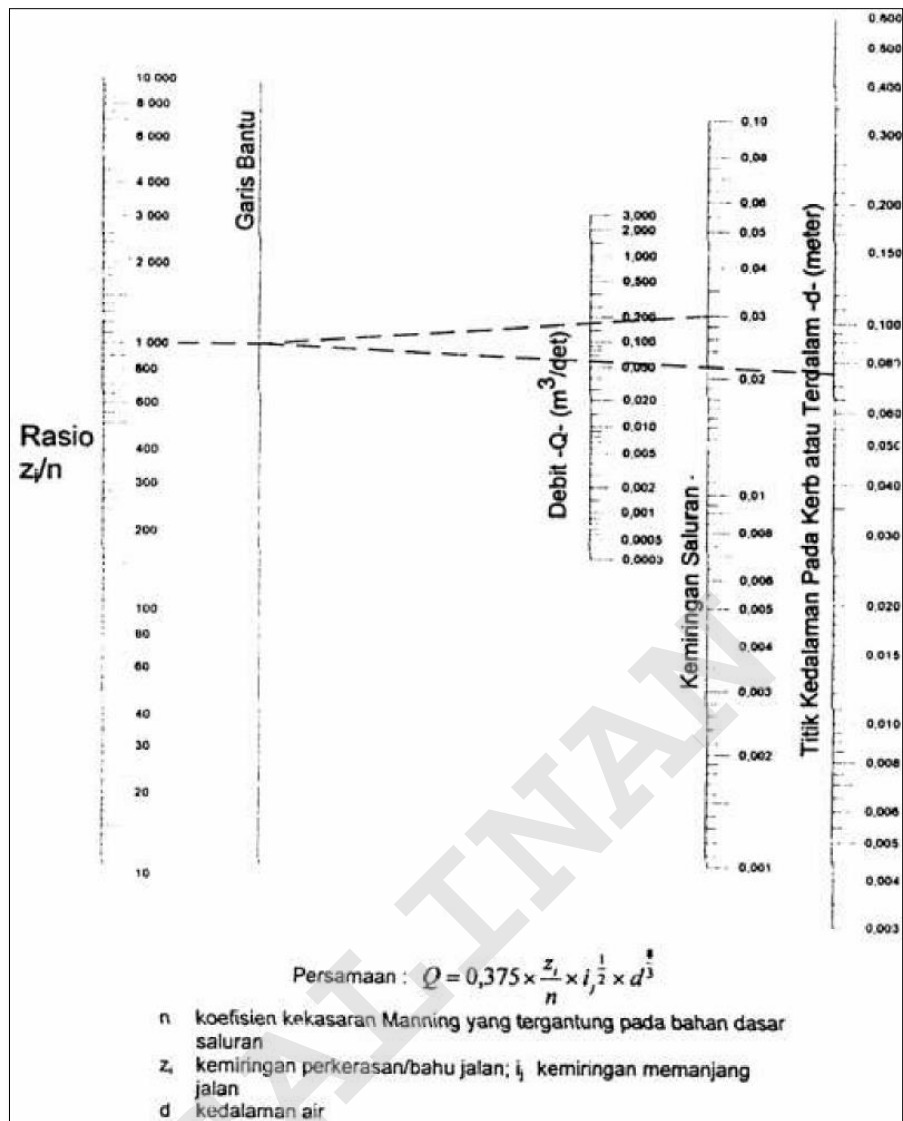
$$Z_i = \frac{1}{i_m} = \frac{1}{i_b} \quad 25)$$

Keterangan:

- Q = debit saluran talang
- d = kedalaman genangan air di saluran talang
- $i_m$  = kemiringan melintang jalan atau bahu jalan ( $i_b$ )
- $i_j$  = kemiringan memanjang jalan atau bahu jalan
- n = koefisien Manning dasar saluran
- $Z_1$  =  $1/i_m$  atau  $1/i_b$
- $Z_d$  = lebar genangan

Debit saluran permukaan dihitung dengan rumus nomor (20).

- h. Debit rencana (Q), diasumsikan didapat dari luas are tangkapan hujan per 100 m<sup>2</sup>, untuk menghindari terjadinya aquaplaning di permukaan jalan.
- i. Lebar genangan ( $Z_d$ ) dibatasi yaitu maksimum 2,0 m dan hujan yang terjadi adalah hujan kala ulang 5 tahun.
- j. Perhitungan  $Z_d$  dapat dilakukan dengan menggunakan
- k. Gambar 6-11, diagram debit aliran pada saluran berbentuk segitiga.
- l. Perhitungan hidraulik yang diperlukan untuk menentukan kapasitas saluran talang air yang masuk dilakukan secara independen untuk setiap sisi jalan. Karena geometrik aliran dan jalan sering kali berbeda dari satu sisi jalan ke sisi jalan lainnya. dihitung dengan rumus atau diagram Manning (
- m. Gambar 6-11).
- n. Tinggi jagaan talang air harus mampu menahan debit rencana 50 tahun, tinggi jagaan maksimum 3,5 cm di bawah puncak trotoar.



**Gambar 6-11** Diagram Debit Aliran pada Saluran Berbentuk Segitiga

- o. Nilai yang direkomendasikan dari koefisien kekasaran Manning ( $n$ ), untuk aliran talang diberikan pada Tabel 6-2.

**Tabel 6-2** Koefisien Kekasaran Manning

Tipe perkerasan	$n$
Concrete	0.013
Hot mix asphaltic	0.015
Sprayed seal	0.018

#### 6.2.4 Inlet Jalan

- a. Inlet jalan merupakan saluran yang menghubungkan aliran air dari saluran talang/tali air menuju saluran samping atau tengah.
- b. Inlet kerb bisa ditempatkan di kerb pulau atau median.
- c. Adapun ketentuan yang dilakukan seperti yang direkomendasikan, ditentukan berdasarkan waktu konsentrasinya. Seperti pada Tabel 6-3.

**Tabel 6-3** Standar Waktu Konsentrasi *Inlet*

Lokasi	Waktu (Menit)
Area perkerasan jalan	5
Area Perkotaan dan Perumahan dengan kemiringan rata-rata > 15%	5
Area Perkotaan dan Perumahan dengan kemiringan rata-rata > 10 - 15%	8
Area Perkotaan dan Perumahan dengan kemiringan rata-rata > 6 - 10%	10
Area Perkotaan dan Perumahan dengan kemiringan rata-rata > 3 - 6%	13
Area Perkotaan dan Perumahan dengan kemiringan rata-rata < 3%	15

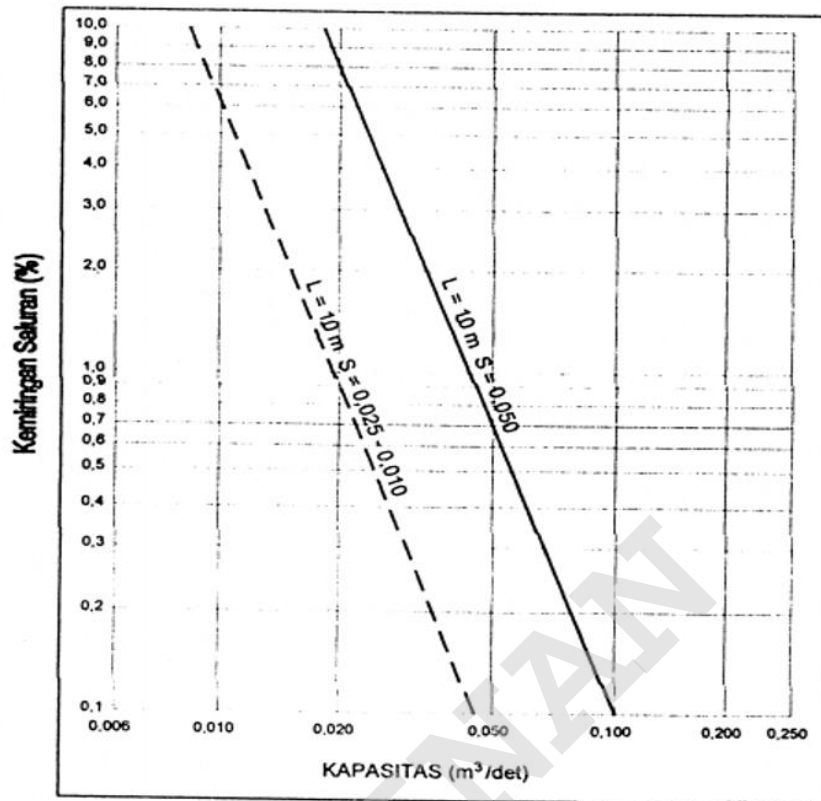
- d. Untuk mengetahui kapasitas inlet jalan, didapat dari 80% kapasitas yang didapat dari
- e.
- f. Gambar 6-12 yaitu grafik kapasitas lubang inlet jalan.
- g. Data yang digunakan adalah:
  - 1) lebar bukaan ( $l$ ) = 1 meter
  - 2) kemiringan melintang ( $i_b$ ) bahu jalan/jalan
  - 3) kemiringan memanjang *gutter* yang diketahui

Catatan :

- a)  $l = L$  (pada grafik) = Lebar bukaan inlet = 1 m
- b)  $i_b = S$  (pada grafik) = kemiringan bahu = 0,05; 0,025-0,010 m/m



c) Kemiringan saturan ( $i_s$ ) diperkirakan dengan interpolasi

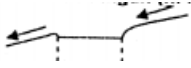
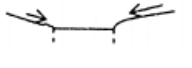


Gambar 6-12 Kapasitas Lubang Pemasukan Samping

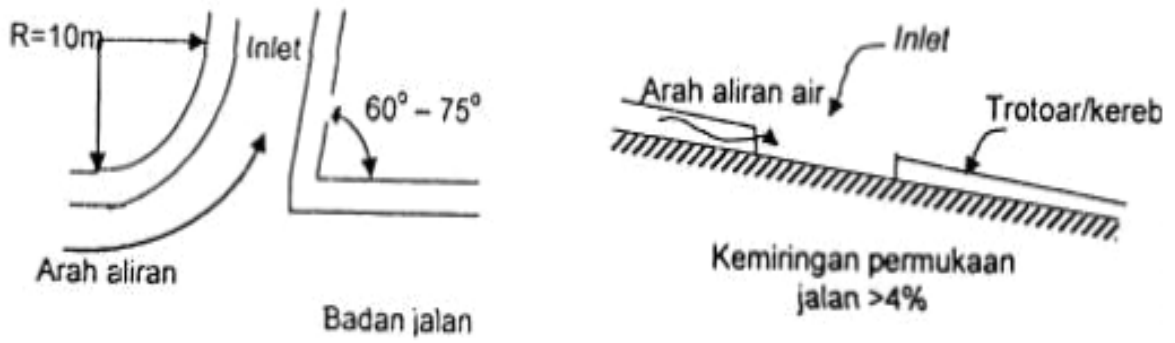
- h. Lokasi inlet jalan ditempatkan mulai pada titik terendah dari kemiringan memanjang jalan (alinemen vertical cekung) juga pada antara titik terendah dan tertinggi pada kemiringan memanjang jalan (Tabel 6-4).
- i. Lokasi dimana terjadi perubahan pada kemiringan melintang jalan.
- j. Bagian hilir terjadi perubahan kemiringan longitudinal jalan, terutama di lokasi dengan penurunan kemiringan jalan untuk mencegah sedimentasi dan meningkatkan keamanan.
- k. Persimpangan jalan untuk tujuan drainase, talang melintang dapat digunakan tegak lurus dengan jalan yang menyilang untuk mengalirkan arus melintasi persimpangan bila diperlukan. Talang melintang harus cukup untuk mengalirkan limpasan melintasi persimpangan dengan sebaran yang setara dengan yang diperbolehkan di jalan.
- l. Kemiringan longitudinal dari jalan utama harus dipertahankan, tidak ada bentuk palang/jendolan melintang yang harus dibangun di jalan utama untuk tujuan drainase.

- m. Jika inlet jalan berbentuk manhole dan air pada saluran langsung jatuh ke bawah (drop inlet) maka kapasitas dan dimensi saluran sesuai dengan Tabel 6-4 ukuran lubang pemasukan dan Gambar 6-13 kapasitas pemasukan samping.

**Tabel 6-4** Ukuran Lubang Pemasukan Samping

Ukuran (mm) lubang pemasukan (lebar x panjang)	Pada kemiringan (m <sup>3</sup> /detik)	Tempat rendah (m <sup>3</sup> /detik)
		
1000 x 750	0.10	0.20
1000 x 1000	0.13	0.26
1000 x 1500	0.20	0.40
1000 x 2000	0.26	0.52
1000 x 2500	0.31	0.62

- n. Desain bentuk ataupun dimensi saluran inlet jalan tergantung kondisi lapangan (datar, turunan atau tanjakan). Berikut ditampilkan beberapa contoh untuk saluran inlet jalan pada jalan menurun/tanjakan pada Gambar 6-13.
- o. Tiga jenis saluran masuk yang umum digunakan untuk drainase jalan/perkerasan, seperti Gambar 6-14:
- 1) Saluran masuk jeruji.
  - 2) Saluran masuk trotoar.
  - 3) Gabungan saluran masuk jeruji dan kerb.
- p. Inlet jalan tidak boleh ditempatkan pada tikungan karena risikonya terhadap kendaraan. Selain itu, desain struktural saluran masuk samping pada kurva jauh lebih kompleks.
- q. Semua jeruji harus memiliki desain yang ramah terhadap pejalan kaki dan sepeda, penut inlet dan jeruji tidak boleh menonjol dari bidang datyar perkerasan jalan.

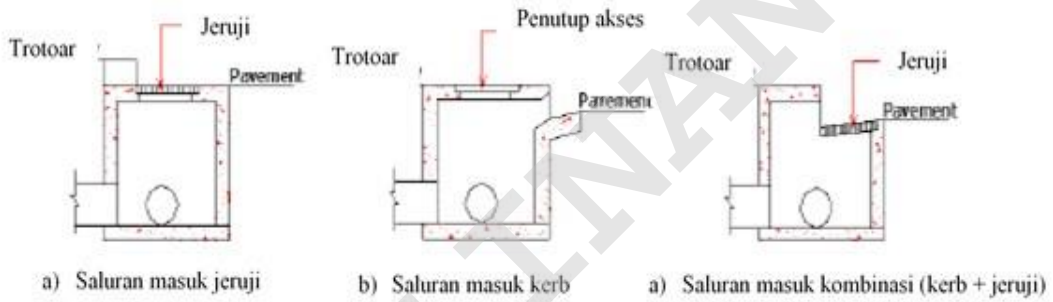


(a) Tampak atas

(b) Tampak samping

**Gambar 6-13** Inlet Jalan sesuai Kemiringan Memanjang Jalan > 4 %

Bagian :

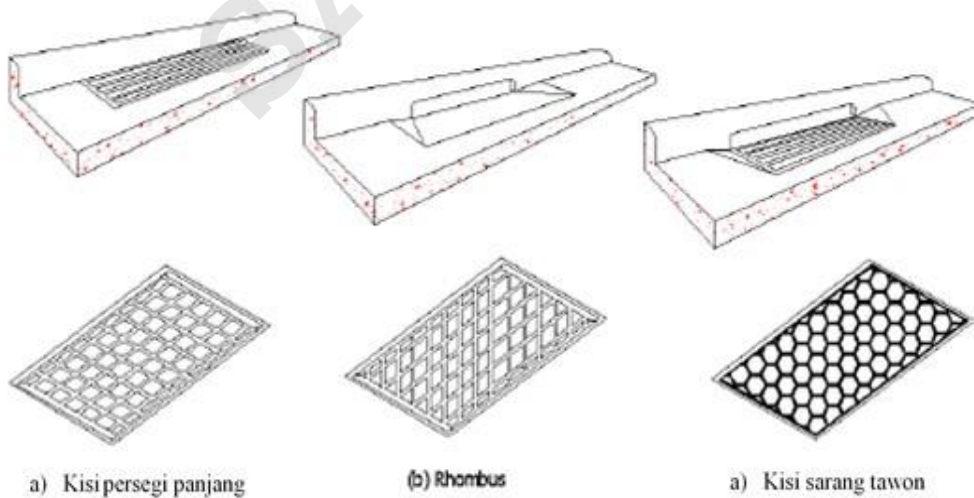


a) Saluran masuk jeruji

b) Saluran masuk kerb

a) Saluran masuk kombinasi (kerb + jeruji)

Perspektif :



a) Kisi persegi panjang

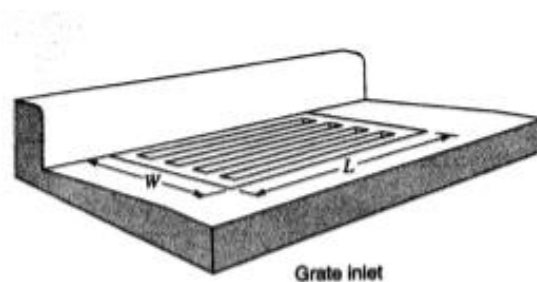
(b) Rhombus

a) Kisi sarang tawon

**Gambar 6-14** Contoh Saluran Inlet Jalan

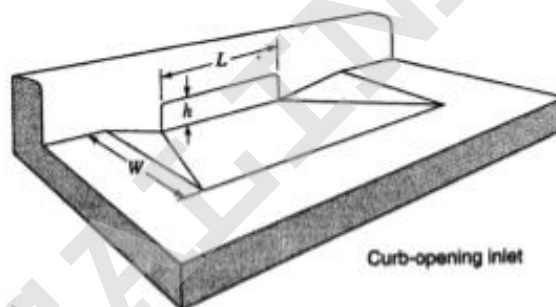
r. Jenis Inlet jalan adalah sebagai berikut:

- 1) Inlet saluran tepi (*gutter inlet*), lubang bukaan terletak mendatar secara melintang pada dasar saluran tepi, berbatasan dengan batu tepi. Tipe penutup: sekat vertikal, horisontal, sekat campuran dan berkisi.



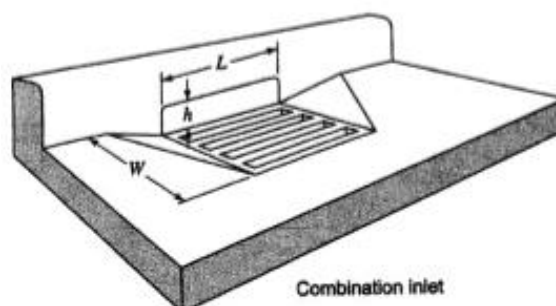
**Gambar 6-15** Inlet Saluran Tepi

- 2) Inlet kereb tepi (*curb inlet*) dengan arah masuk tegak lurus pada arah aliran saluran tepi, sehingga kereb tepi bekerja sebagai pelimpah samping.



**Gambar 6-16** Inlet Kereb Tepi (*curb opening inlet*)

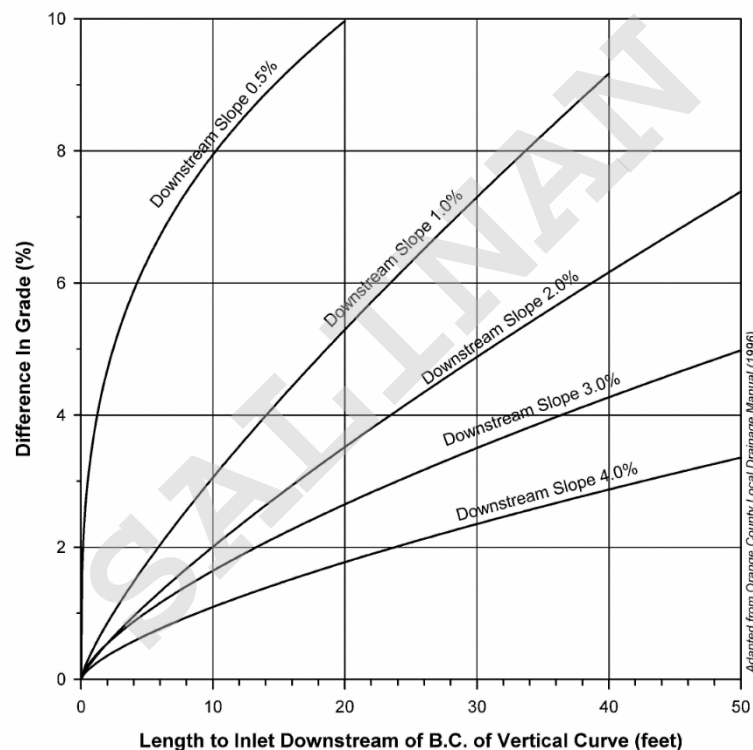
- 3) Inlet kombinasi (*combination inlet*), merupakan kombinasi antara inlet saluran tepi dan inlet kereb tepi.



**Gambar 6-17** Inlet Kombinasi

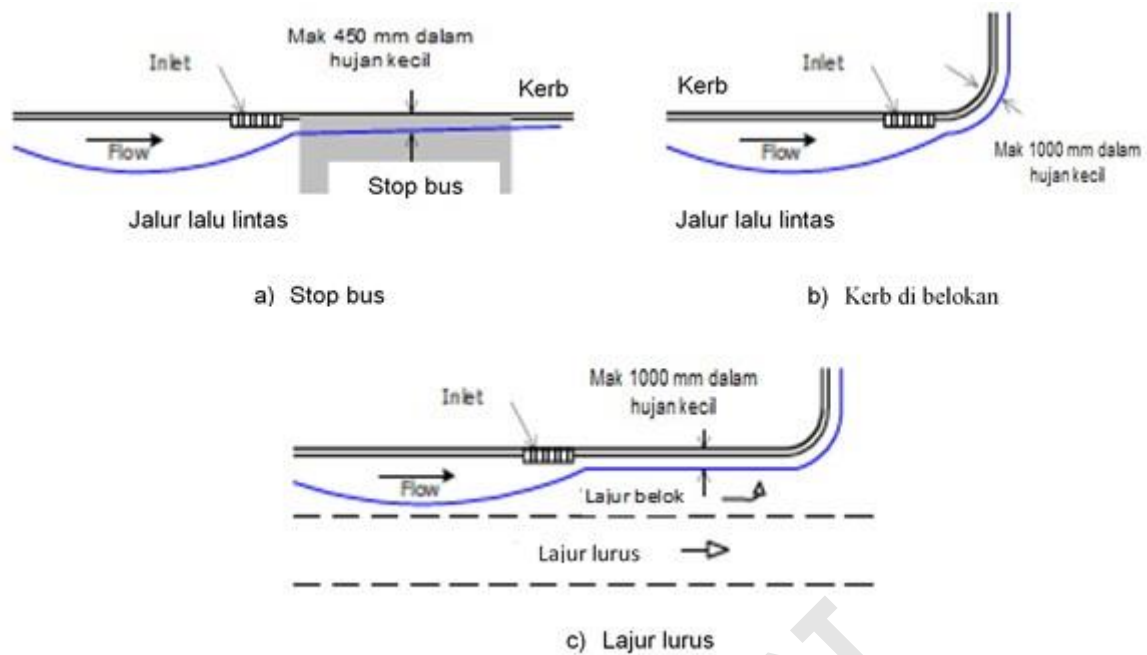
### 6.2.5 Jarak Inlet

- a. Untuk menentukan jumlah saluran inlet jalan, dengan ketentuan berjarak antara inlet jalan maksimal 5 (lima) meter, dengan lebar saluran inlet jalan sesuai lebar kerib.
- b. Namun, jalan dengan kemiringan memanjang datar mungkin memerlukan pembuangan saluran cukup sering ke saluran keluar atau pipa pembawa longitudinal paralel untuk meminimalkan ukuran saluran.
- c. Karena kedalaman air berubah secara bertahap karena momentum, akan lebih efisien untuk menempatkan saluran masuk pada jarak minimum dari titik awal kurva vertikal Gambar 6-18.



**Gambar 6-18** Lokasi Inlet yang direkomendasikan di hilir akibat perubahan Kemiringan Longitudinal

- d. Lokasi inlet pada keadaan khusus seperti pemberhentian bus atau di pendekat kaki simpang, seperti diilustrasikan pada Gambar 6-20.



**Gambar 6-19** Lokasi Inlet pada Lokasi Tertentu (Kaki Simping atau Bus Stop)

### 6.3 Komponen Desain

- DPBJ berkaitan dengan cara menghilangkan air yang ada di sekitar permukaan badan jalan, meliputi; lajur lalu lintas (perkerasan jalan), bahu atau permukaan lain yang bisa mengalir ke perkerasan. Jika tidak dikendalikan secara sistematis, air ini dapat menggenang dipermukaan jalan.
- Komponen geometrik jalan yang terlibat, meliputi:
  - Tipe/konfigurasi jalan.
  - Luas area tangkapan air hujan yang terkonsentrasi ke saluran talang air.
  - Lebar lajur dan/atau jalur jalan, lebar bahu dan/atau trotoar
  - Kemiringan melintang jalan (perkerasan dan bahu jalan).
  - Geometrik saluran talang air dan inlet jalan.
  - Saluran pembawa (side ditch).
- Komponen hidrolika, meliputi:
  - Intensitas hujan.
  - Debit air banjir rencana.
  - Waktu konsentrasi.
  - Koefisien aliran '(C).
  - Jenis dan jumlah serta jarak inlet jalan.

- d. Elemen komponen tersebut di atas bisa jadi berbeda antara drainase perkotaan dengan luar kota saat desain , seperti berikut ini:
- 1) Jalan baru sesuai dengan ketentuan teknis yang ada pada legal aspek infrastruktur jalan.
  - 2) Peningkatan disesuaikan dengan besaran yang ada di lapangan.

## 6.4 Mendesain Saluran Permukaan Badan Jalan

### 6.4.1 Perhitungan Kapasitas Saluran Permukaan

- a. Saluran talang/tali air berbentuk segitiga, seperti diilustrasikan pada Gambar 6-20, memiliki komponen data geometrik sebagai berikut:
- 1) Bentuk segi tiga sesuai dengan kemiringan melintang jalan.
  - 2) kemiringan memanjang ( $i_j$  dalam %),
  - 3) kemiringan melintang ( $i_m$  dalam %),
  - 4) kedalaman tepi jalan ( $d$  dalam inchi.cm),
  - 5) Penyebaran genangan ( $Z_d$  dalam inchi/cm).
  - 6) Panjang saluran talang/tali air ( $L$  dalam inchi/cm).



**Gambar 6-20** Geometrik Saluran Talang/Tali Air

- b. Saluran talang/tali air berbentuk segitiga memiliki komponen data:
- 1) Bentuk segi tiga sesuai dengan kemiringan melintang jalan.
  - 2) kemiringan memanjang ( $i_j = 1\%$ ),
  - 3) kemiringan melintang ( $i_m = 2\%$ ),
  - 4) kedalaman tepi jalan ( $d = 6$  inci) dan.
  - 5) Penyebaran genangan ( $Z_d$  inci/cm)
- c. Rumus yang digunakan untuk debit ( $Q$ ) saluran talang/tali air, lebar penyebaran genangan ( $Z_i$ ) adalah:

$$Q = 0,375 \frac{Z_i}{n} i_j^{1/2} d^{8/3} \quad 26)$$

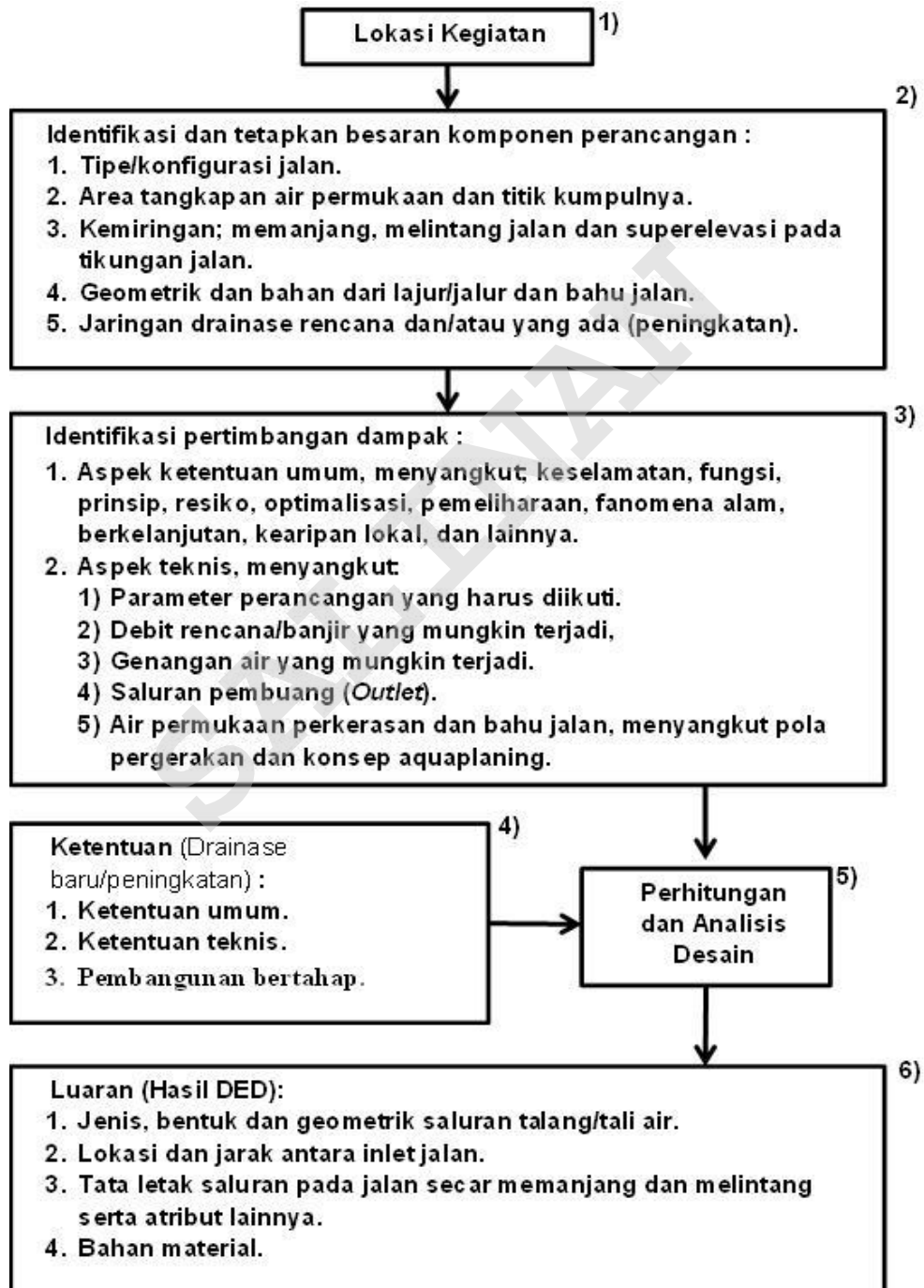
$$Z_i = \frac{1}{i_m} = \frac{1}{i_b}$$

27)

## 6.5 Bagan Alir Desain

### 6.5.1 Bagan Alir Proses Desain

Berikut adalah Gambar 6-21, adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain dalam bentuk bagan alir.



Gambar 6-21 Bagan Alir Desain Saluran Permukaan Badan Jalan



### 6.5.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

Langkah desain drainase permukaan perkerasan jalan diuraikan sebagai berikut (Gambar 6-21):

- a. Langkah nomor. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi penetapan:
  - 1) No. ruan dan STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan.
  - 3) Fungsi dan status jalan.
- b. Langkah nomor. 2, Identifikasi komponen desain :
  - 1) Tetapkan area tangkapan air hujan yang akan terkonsentrasi ke saluran permukaan badan jalan (perkerasan jalan/lajur/jalur lalu lintas, median dan bahu/trotoar).
  - 2) Tetapkan tipe/konfigurasi jalan, berapa jumlah jalur dan lajur.
  - 3) Tetapkan kemiringan melintang permukaan jalan dan bahu jalan. Jika yang dirancang adalah bagian di tikungan, maka tetapkan kemiringan atau superelevasinya.
  - 4) Tetapkan atau lokasi jaringan drainase permukaan yang ada, seperti saluran samping dan/atau median.
- c. Langkah nomor 3, Identifikasi pertimbangan desain :
  - 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain dalam hal dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan, seperti diuraikan dalam sub-bab 6-1 ketentuan umum dan 6-2 ketentuan teknis.
  - 2) Pertimbangan asumsi awal menyangkut aspek teknis, seperti:
    - a) Debit rencana/banjir yang mungkin terjadi,
    - b) Genangan air yang mungkin terjadi.
    - c) Saluran pembuang (*Outlet*).
    - d) Air dipermukaan perkerasan jalan, menyangkut pola pergerakan dan konsep hidroplaning.
  - 3) Aspek teknis: menyangkut parameter desain yang harus diikuti, karakteristik aliran air (volume, kecepatan dan waktu konsentrasi), dan dampak hidroplaning.
  - 4) Data valid, terverifikasinya data, dan sumber data dari lembaga tersertifikasi.

- d. Langkah nomor 4, Ketentuan umum dan teknis yang harus diikuti dalam desain drainase jalan, baik untuk desain drainase baru atau peningkatan:
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase jalan, yang pada dasarnya desain teknis yang dihasilkan bisa memenuhi aspek keselamatan, kelancaran dan ramah terhadap lingkungan:
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, dan karakteristik komponen hidrolika, optimalisasi, aspek ini harus tersurat dalam analisa dan luaran desain (DED).
- e. Langkah nomor 5, Analisis desain merupakan proses tahapan desain secara analitik maupun empiris/grafik dalam menentukan nilai tertentu dalam menetapkan ukuran dan kapasitas bangunan saluran di permukaan perkerasan jalan. Langkah-langkah perhitungan saluran terbuka :
- 1) Perhitungan debit aliran rencana (Q)  
Langkah perhitungan debit aliran rencana (Q) diuraikan di bawah ini.
    - a) Plot segmen jalan sebagai lokasi.
    - b) Tentukan panjang segmen, lebar segmen, kemiringan memanjang dan melintang.
    - c) Tetapkan area tangkapan air hujan berikut titik konsentrasi kumpul air permukaan.
    - d) Tentukan koefisien aliran (C) berdasarkan kondisi permukaan kemudian kalikan dengan harga faktor limpasan.
    - e) Hitung panjang *resultante* (L), rumus 22).
    - f) Tetapkan ukuran dan bentuk talang air (Gambar 6-9).
    - g) Hitung debit saluran talang (Gambar 6-10).
  - 2) Cek kembali besaran dimensi talang melalui grafik diagram debit (
  - 3) Gambar 6-11). Hitung inlet, meliputi kapasitas (
  - 4)
  - 5) Gambar 6-12) atau (Tabel 6-4), dan jarak antara inlet Gambar 6-18).
- f. Langkah nomor 6, Luaran: Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain teknis bangunan akhir drainase jalan (DED). Desain teknis tersebut harus mendapatkan pengesahan dari penyelenggara jalan, selanjutnya merupakan dokumen pembangunan dan arsip leger jalan.

## 7. Desain Saluran Terbuka

### 7.1 Ketentuan Umum

- a. Secara hidrolika aliran saluran terbuka (*open channel flow*) merupakan aliran dengan permukaan bebas. Kriteria ini digunakan untuk desain saluran tepi/samping jalan maupun gorong-gorong.
- b. Saluran terbuka memiliki keuntungan karena mudah diperiksa untuk penyumbatan dan juga efektif dalam mengeringkan tanah dasar jalan asalkan saluran pembuangan mengalir ke tempat pembuangan yang memadai.
- c. Saluran samping merupakan bagian dari sistem drainase jalan berfungsi untuk mengendalikan limpasan air hujan dipermukaan jalan dan dari daerah sekitarnya agar tidak merusak konstruksi jalan.
- d. Fungsi saluran samping sebagai pengumpul dan pengaliran limpasan di atas permukaan jalan dapat sepenuhnya berdaya guna dan berhasil guna.
- e. Aliran air pada saluran terbuka sesuai hukum gravitasi, yang ditentukan oleh elevasi permukaan air di bagian hulu dengan hilir.
- f. Kecepatan aliran ditetapkan dengan memperhatikan kemungkinan terjadi erosi dan/atau sedimentasi serta keselamatan pengguna jalan.
- g. Daerah tangkapan air (*catchment area*) meliputi ruang pengawas jalan (Ruwasja) dan ruang milik jalan (Rumija), selain hal tersebut harus menyesuaikan dengan kondisi topografi atau bentuk kontur tanah.
- h. Faktor ekonomi dan lingkungan dijadikan dasar dalam pemilihan; bentuk, dimensi, tata letak/kemudahan, konstruksi, dan pemeliharaan.
- i. Kurangnya tingkat kesadaran masyarakat dalam mencegah masuknya benda (sampah) ke dalam saluran drainase yang menyebabkan fungsi drainase menjadi berkurang.
- j. Keterhubungan dengan tempat pembuangan air sementara atau saluran pembawa.
- k. Saluran terbuka jalan hanya diperuntukkan bagi penampungan dan penyaluran air agar badan jalan bebas dari pengaruh air.
- l. Dalam hal tertentu dan dengan syarat-syarat tertentu yang ditetapkan oleh penyelenggara jalan, saluran drainase jalan dapat diperuntukkan sebagai saluran lingkungan.

## 7.2 Ketentuan Teknis




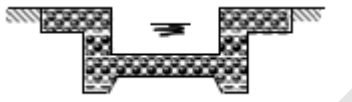
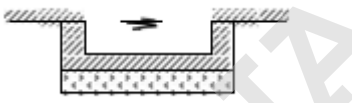
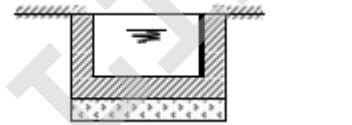
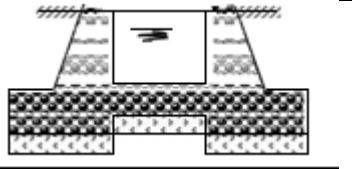

### 7.2.1 Jenis-jenis Saluran Terbuka

- a. Letak saluran terbuka berada di sisi kiri, kanan dan tengah/median jalan.
- b. Saluran dengan pelapis kaku:
  - 1) Saluran pelapis kaku yang terbuat dari material keras tidak permeable seperti; beton, pasangan batu, pasangan bata yang dicor.
  - 2) Pada bagian saluran yang kritis seperti peredam energi dan/atau transisi perubahan penampang saluran, diharuskan menggunakan material keras.
- c. Saluran dengan pelapis lentur:
  - 1) Saluran pelapis lentur yang terbuat dari material keras permeable atau semi-permeable seperti; pasangan batu, batu bronjong (seperti gabion atau blok bronjong), *turf reinforcement matting* (TRM), dan vegetasi rumput.
  - 2) Saluran pelapis lentur paling cocok untuk aliran seragam berkecepatan rendah..
- d. Saluran komposit merupakan kombinasi dari kedua jenis tersebut di atas atau butir 2) dan 3).
- e. Kapasitas saluran drainase tergantung pada bentuk, ukuran, kemiringan, dan kekasarannya.

### 7.2.2 Tipe dan Jenis Bahan Saluran

- a. Penampang saluran umumnya berbentuk **V** dan/atau **U**, seperti ditunjukkan pada Tabel 7-1.
- b. Penggunaan tipe, jenis dan material saluran didasarkan atas kondisi tanah dasar dan kecepatan abrasi air, seperti ditunjukkan pada Tabel 7-1.

**Tabel 7-1** Tipe Penampang Saluran Samping Jalan

No	Tipe saluran Samping	Potongan Melintang	Bahan yang dipakai
1	Bentuk trapesium		Tanah asli
2	Bentuk segitiga		Pasangan batu kali atau tanah asli
3	Bentuk trapesium		Pasangan batu kali
4	Bentuk segi empat		Pasangan batu kali
5	Bentuk segi empat		Beton bertulang pada bagian dasar diberi lapisan pasir ± 10 cm
6	Bentuk segi empat		Beton bertulang pada bagian dasar diberi lapisan pasir ± 10 cm pada bagian atas ditutup dengan plat beton bertulang
7	Bentuk segi empat		Pasangan batu kali pada bagian dasar diberi lapisan pasir ± 10 cm pada bagian atas ditutup dengan plat beton bertulang
8	Bentuk setengah lingkaran		Pasangan batu kali atau beton bertulang

### 7.2.3 Kecepatan Alir dan Jenis Saluran

- a. Saluran dengan pelapis kaku, kecepatan aliran rata-rata maksimum sebesar 4 – 5 m/detik dan kecepatan minimum sebesar 0,8 m/detik. Hal lain yang harus diperhatikan:
  - 1) Sambungan penyusutan dan pemuaian untuk meminimalkan risiko timbulnya retak, rembesan dan potensi kerusakan. Jika loncatan hidrolis dikehendaki untuk bergerak di atas sambungan, maka perlu tambahan perkuatan sambungan.
  - 2) Lubang sulingan pelepas tekanan (*pressure relief weep holes*) di dalam dasar saluran dan di dalam lereng Saluran samping. Jumlah dan kerapatan lubang sulingan pelepas tekanan hendaknya mencukupi untuk mencegah pengangkatan (*uplift*) hidrolis saluran;
    - a) Perlindungan saluran samping dari aliran air permukaan dengan memasang suatu strip lapisan kaku dengan lebar 0,50 m yang dipasang di bagian atas dari kedua sisi saluran samping.
    - b) Untuk mencegah terjadi penggerusan, aliran air dengan permukaan kasar sebelum membuangnya ke saluran bervegetasi/halus. Hal ini, bisa memasang tapak batu (*rock scour pad*) di titik keluar dari saluran berlantai halus.
- b. Saluran Lentur /vegetasi
  - 1) Untuk saluran vegetasi kecepatan yang diijinkan dengan memperhatikan kondisi tanah, dilingkup pada Tabel 7-2.

**Tabel 7-2** Kecepatan Alir Ijin (*Kinori, 1970*)

Tumbuhan	Kemiringan dasar saluran (%)	Tanah Stabil	Tanah Rawan Gerus
Rumput Bermuda, rumput griting/suket griting (Jawa), atau kakawatan (Sunda)	0-5	2,40	1,80
	5-10	2,10	1,50
	>10	1,80	1,20
<i>Buffalo Grass</i> ( <i>Buchloe dactyloides</i> ), <i>Kentucky blue grass</i> , rumput teki ( <i>Cyperus</i> )	0-5	2,10	1,50
	5-10	1,80	1,20

Tumbuhan	Kemiringan dasar saluran (%)	Tanah Stabil	Tanah Rawan Gerus
<i>Smooth brome, Blue grama</i> (Spesies Bromus), rumput ilalang/alang-alang	>10	1,50	0,90
Rumput Campuran	0-5	1,50	1,20
	5-10	1,20	0,90
	Tidak cocok untuk kemiringan lebih curam dari 10%		
<i>Weeping lovegrass, alfalfa, crabgrass</i> ( <i>Eragrostis curvula</i> )	0-5	1,50	1,20
	Tidak cocok untuk kemiringan lebih curam dari 5%		
<i>Sudan Grass &amp; Annual Grasses</i> ( <i>Sorgum x drummondii</i> )	0-5	1,10	0,80
	Tidak cocok untuk kemiringan lebih curam dari 5%		

<sup>1</sup> Varietas ini mungkin tidak tersedia di Indonesia. Asumsikan tanah rawan longsor dan kecepatan aliran yang konservatif sampai data setempat telah tersedia.

- c. Untuk rumput “*Reinforced Grass dan Turf Reinforcement Matting/TRM*”, sebagai produk *polypropylene* dan serat alami, memberikan perlindungan tambahan dari kekuatan erosi. Kecepatan yang diijinkan untuk jenis rumput tersebut sebesar 4 m/detik.
- d. Saluran pasangan batu (Rip Rap) atau saluran batuan besar.
- e. Saluran berpelapis batuan, atau pasangan batu, merupakan penanganan konvensional untuk memberikan tahanan erosi. Ukuran batuan yang dipilih ditentukan berdasarkan kecepatan alir saluran sebagaimana diuraikan dalam sub bab 6.4.1.
- f. Bronjong kawat Isi batu, atau blok atau landasan gabion.
- g. Bronjong kawat berisi batu atau gabion bisa juga digunakan untuk melapisi tepi atau dasar saluran.
- h. Aspek yang harus diperhatikan :
  - 1) Potensi kerusakan keranjang dari puing-puing.

- 2) Kemerosotan kondisi bronjong kawat akibat polusi atau lingkungan payau.
  - 3) Tumbuhnya tanaman di atas bronjong kawat.
  - 4) Pemeliharaan bronjong kawat perlu dipertimbangkan, terutama terkait akses kebutuhan pemeliharaan perlu disertakan ke dalam program-pemeliharaan.
  - 5) Desain dan konstruksi perlindungan gabion sesuai spesifikasi pabrikan dan hendaknya konsisten dengan spesifikasi standar terkini.
- i. Kecepatan maksimum aliran berdasarkan jenis material konstruksi dapat dilihat pada Tabel 7-3.

**Tabel 7-3** Kecepatan Aliran Air yang diijinkan Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Bahan	Kecepatan aliran air yang diijinkan berdasarkan jenis material (m/detik)
1	Pasir halus	0,45
2	Lempung kepasiran	0,50
3	Lanau alluvial	0,60
4	Kerikil halus	0,75
5	Lempung kokoh	0,75
6	Lempung padat	1,10
7	Kerikil kasar	1,20
8	Batu-batu besar	1,50
9	Pasangan batu	1,50
10	Beton	1,50
11	Beton bertulang	1,50

#### 7.2.4 Lengkung Horizontal Saluran

- a. Radius lengkung horisontal suatu saluran hendaknya sebesar mungkin untuk mengurangi superelevasi, kehilangan friksi, erosi setempat akibat aliran kritis/turbulen. Lengkung horisontal hendaknya mempunyai radius minimum pada garis tengah saluran sebesar 3 kali lebar saluran (PUB, 2011).
- b. Informasi lanjutan mengenai perhitungan kehilangan *head* lengkung horizontal saluran dan superelevasi di sekitar lengkung horizontal saluran untuk digunakan dalam desain diberikan pada sub bab 7.4.3 dan kehilangan



energi karena transisi pada sub-bab 7.4.4. (Tikungan dan super elevasi pada saluran-saluran terbuka).

### 7.2.5 Kemiringan Talud Saluran

- a. Kemiringan talud saluran maksimum untuk berbagai jenis saluran besar terbuka hendaknya tidak melebihi kemiringan yang ditentukan dalam Tabel 7-4.
- b. Untuk saluran yang berbatasan dengan jalan, dengan syarat-syarat seperti berikut ini diberlakukan:
  - 1) Tidak lebih dari 1 V : 5 H untuk keamanan lalu lintas;
  - 2) Keterangan/catatan: hal tersebut di atas tidak bisa tercapai, atau kedalamannya lebih dari 1 m, maka harus dipasang pagar pengaman.

**Tabel 7-4** Kemiringan Talud Saluran yang direkomendasikan

Material tepian	Kemiringan talud saluran (V : H)
Saluran berpelapis	Hampir vertikal
Saluran berpelapis tanah atau rumput	Tidak lebih curam dari 1:4, umumnya menuju ke 1:6 untuk keamanan dan pemeliharaan
Saluran berpelapis	1:3
Blok Gabion	Mengacu ke spesifikasi pabrikan
<i>Reinforced Grass / TRM</i>	Mengacu ke spesifikasi pabrikan. Patut dipertimbangkan akses pemeliharaan sebagaimana halnya untuk saluran berpelapis rumput, dan oleh demikian

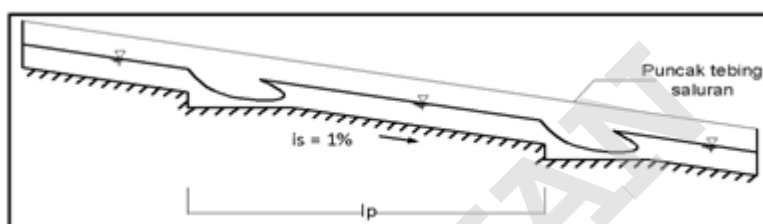
- 3) Kemiringan saluran ditentukan berdasarkan bahan yang digunakan. Hubungan antar bahan yang digunakan dengan kemiringan saluran arah memanjang dapat dilihat pada Tabel 7-5.

**Tabel 7-5** Kemiringan Saluran Memanjang ( $I_s$ ) Berdasarkan Jenis Material

No	Jenis Material	Kemiringan saluran ( $I_s$ %)
1	Tanah asli	0 - 5
2	Kerikil	5 - 7,5
3	Pasangan	7,5

### 7.2.6 Aliran Kritis

- Pada aliran kritis, diperlukan bangunan terjunan atau pematah arus. Pematah arus untuk mengurangi kecepatan aliran diperlukan untuk saluran yang panjang dan mempunyai kemiringan cukup besar seperti tampak dalam Gambar 7-1.
- Pemasangan jarak pematah arus ( $l_p$ ) harus sesuai dengan kemiringan saluran ( $i_s$ ) dengan hubungan seperti dicantumkan dalam Tabel 7-6.
- Pada kemiringan di atas 10% , maka perlu dilakukan evaluasi terkait elevasi lokasi, serta kebutuhan terjunan, dengan tetap memperhatikan jarak pematah arus yang dicantumkan dalam Tabel 7-6.



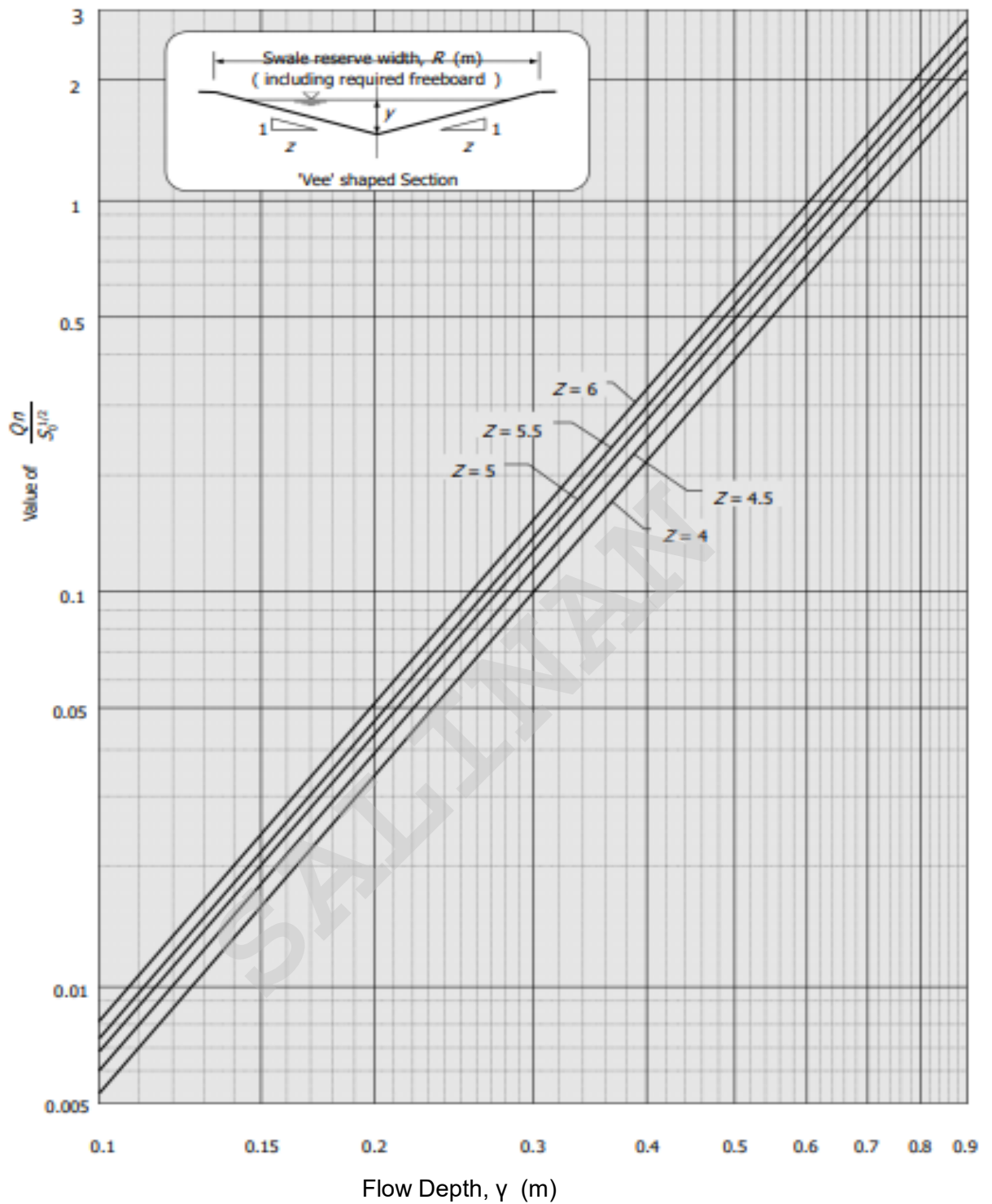
**Gambar 7-1** Bentuk Pematah Arus

**Tabel 7-6** Hubungan Kemiringan Saluran ( $i_s$ ) dan Jarak Pematah Arus ( $l_p$ )

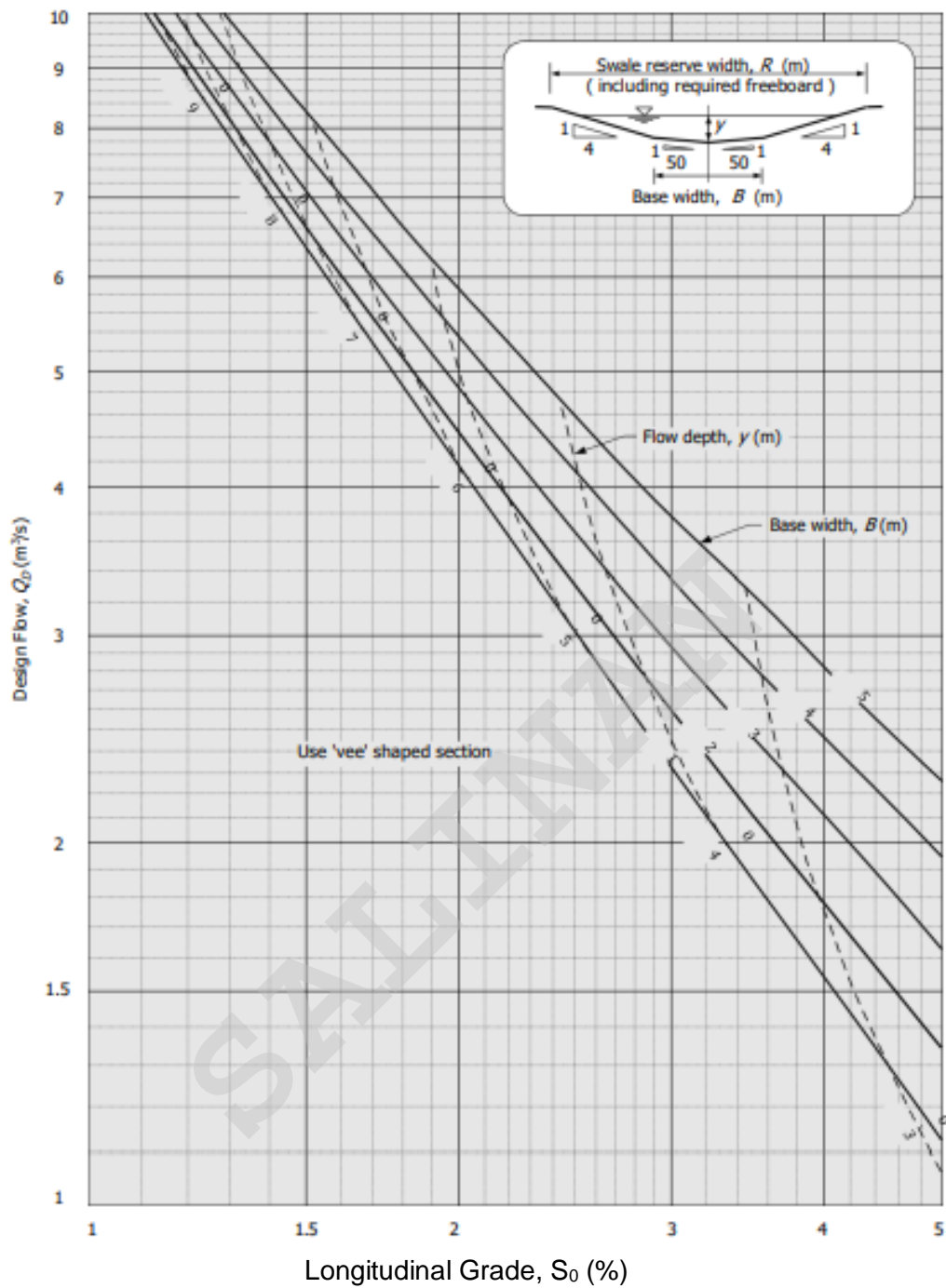
	Kemiringan/jarak						
$i_s$ (%)	6	7	8	9	10	12	15
$l_p$ (m)	16	10	8	7	6	4	2

### 7.2.7 Kapasitas Aliran

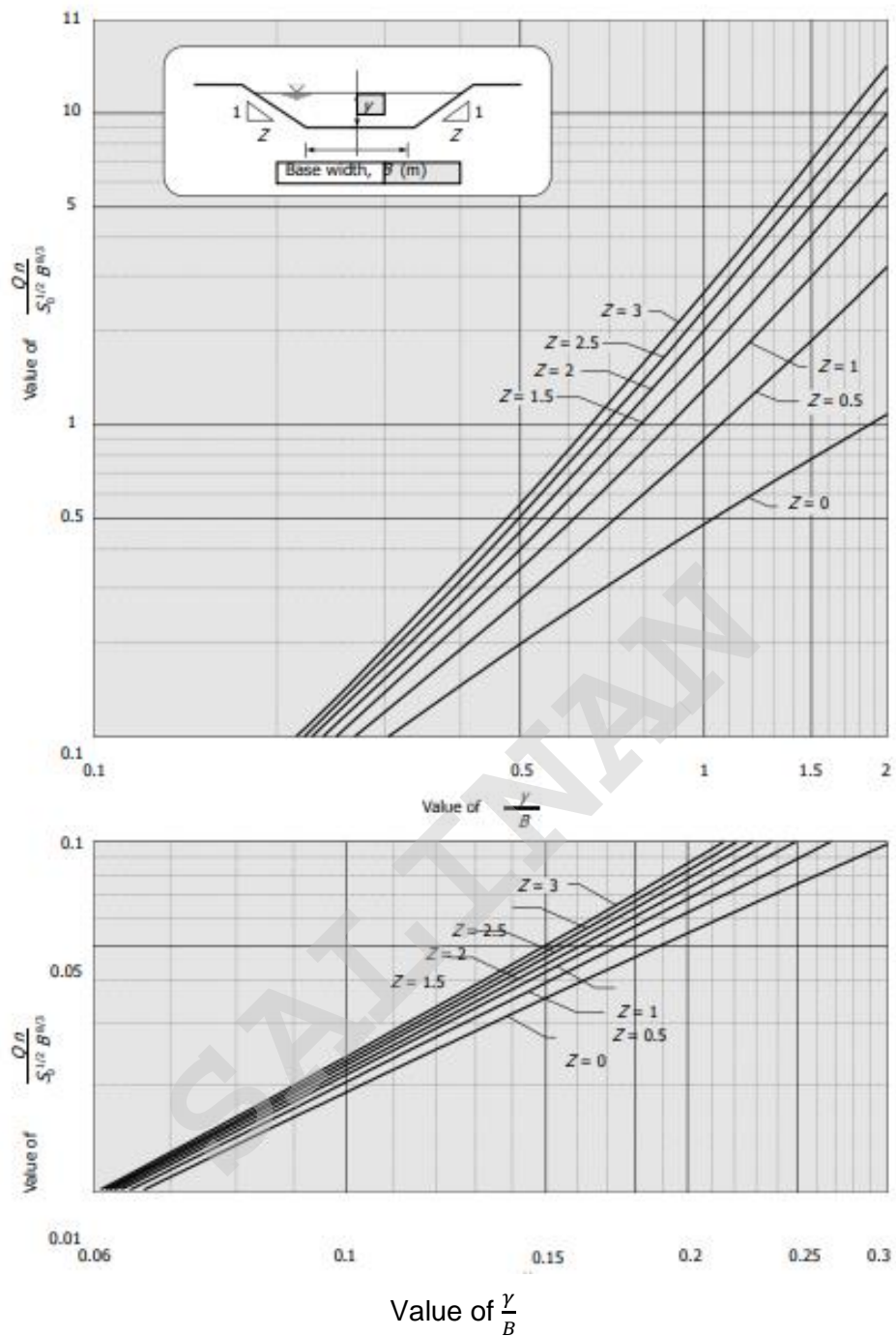
- Penampang minimum saluran 0,50 m<sup>2</sup>. Untuk kelayakan dan konsep desain, kapasitas saluran terbuka dapat ditentukan dari grafik - grafik kapasitas untuk saluran terbuka pada Gambar 7-2 s/d Gambar 7-4.
- Untuk detail desain, kapasitas saluran terbuka harus ditentukan menggunakan metode-metode perhitungan dalam Sub bab 7.4.1.



**Gambar 7-2** Solusi terhadap rumus manning untuk saluran berumput (*grassed swales*) berbentuk 'V' (MSMA, 2012)



**Gambar 7-3** Solusi untuk rumus manning, untuk saluran berumput berbentuk Trapesium (MSMA, 2012)



**Gambar 7-4** Solusi untuk rumus manning untuk saluran trapesium dengan pelapis kaku (MSMA, 2012)

### 7.2.8 Kekasaran Manning

- a. Nilai kekasaran manning (n) pada umumnya;
  - 1) Menurun dengan meningkatnya kedalaman.
  - 2) Untuk kondisi aliran dangkal (Keterangan: radius hidraulik lebih kecil dari 1 atau ketinggian dari kekasaran adalah sepersepuluh atau lebih dari kedalaman aliran), sangat perlu untuk menyesuaikan nilai 'n' Manning.
  - 3) Untuk jenis aliran yang terkait dengan desain drainase, maka hal ini pada umumnya hanya diperlukan untuk saluran dengan pelapis lentur.
- b. Saluran-saluran dengan pelapis kaku dari batu:
  - 1) Untuk saluran-saluran dengan pelapis kaku dari batu, nilai Manning 'n' dapat ditentukan seperti pada Tabel 7-7 atau dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$n = \frac{(d_{90})^{\frac{1}{6}}}{26(1 - 0.359^m)} \quad (28)$$

Keterangan :

$$m = [(R/d_{90})(d_{50}/d_{90})]^{0.7}$$

R = radius hidraulik dari aliran diatas batuan = Luas/keliling (m)

$d_{50}$  = nilai rata-rata ukuran batu Keterangan 50% dari batu berukuran lebih kecil (m)

$d_{90}$  = nilai rata-rata ukuran batu Keterangan 90% dari batu berukuran lebih kecil (m)

**Tabel 7-7** Kekasaran manning untuk saluran dengan pelapis kaku dari batu, dengan kedalaman aliran air dangkal (QUDM, 2013)

$d_{50}$ (mm) Radius Hidraulik (m)	$d_{50}/d_{90} = .0,5$				$d_{50}/d_{90} = 0.8$			
	200	300	400	500	200	300	400	500
	Kekasaran Manning (n)				Kekasaran Manning (n)			
0.2	0.1	0.14	0.17	0.21	0.06	0.08	0.09	0.11
0.3	0.08	0.11	0.14	0.16	0.05	0.06	0.08	0.09
0.4	0.07	0.09	0.12	0.14	0.04	0.05	0.07	0.08

- 2) Dalam aliran berbasis kerikil 'alami' maka faktor  $d_{50}/d_{90}$  berada pada kisaran 0.2 sampai 0.5, sementara pada saluran-saluran yang dibangun Keterangan menggunakan batu bermutu, maka nilai rata-rata berada pada kisaran 0.5 sampai 0.8 (QUDM, 2013).
- c. Saluran-saluran dengan pelapis lentur (Rumput):
- 1) Nilai koefisien kekasaran bagi saluran dengan pelapis rumput (lentur) berubah-ubah tergantung pada sifat-sifat rumput, yaitu:
    - a) Kepadatan, didefinisikan sebagai jumlah batang rumput dalam luas tertentu. Lapisan rumput yang baik bisaanya akan memiliki sekitar 2.000 sampai 4.000 batang per meter persegi.
    - b) Kekakuan, didefinisikan sebagai kemampuan rumput untuk bertahan pada gaya lentur.
    - c) Tinggi, didefinisikan sebagai jarak rumput memanjang di atas tanah.
  - 2) Nilai kekasaran awal untuk lapisan rumput dapat diambil dari Tabel 7-8 dan untuk tipe dan kondisi saluran pada Tabel 7-9.

**Tabel 7-8** Kekasaran manning bagi saluran-saluran berumput (tinggi rumput 50–150 mm) (QUDM, 2013)

Radius Hidraulik (m)	Lereng (%)					
	0.1	0.2	0.5	1	2	5
0.1	-	-	-	0.105	0.081	0.046
0.2	-	0.091	0.068	0.057	0.043	0.03
0.3	0.078	0.064	0.053	0.043	0.031	0.03
0.4	0.063	0.054	0.044	0.033	0.03	0.03
0.5	0.056	0.05	0.038	0.03	0.03	0.03
0.6	0.051	0.047	0.034	0.03	0.03	0.03
0.8	0.047	0.044	0.03	0.03	0.03	0.03
1	0.044	0.044	0.03	0.03	0.03	0.03
>1.2	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

**Tabel 7-9** Angka kekasaran manning (n) tipe dan kondisi saluran  
(sumber Pd. T 2006)

No	Tipe saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
<b>Saluran buatan</b>					
1	Saluran tanah, lurus teratur	0,017	0,020	0,023	0,025
2	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator	0,023	0,028	0,030	0,040
3	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0,020	0,030	0,033	0,035
4	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur	0,035	0,040	0,045	0,045
5	Saluran batuan yang diledakka, ada tumbuh-tumbuhan	0,025	0,030	0,035	0,040
6	Dasar Saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0,028	0,030	0,033	0,035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0,020	0,025	0,028	0,030
<b>Saluran alam</b>					
8	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang	0,025	0,028	0,030	0,033
9	Seperti no 8 tapi ada timbunan atau kerikil	0,030	0,033	0,035	0,040
10	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir	0,030	0,035	0,040	0,045
11	seperti no 10, dangkal, tidak teratur	0,040	0,045	0,050	0,055
12	Seperti no 10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0,035	0,040	0,045	0,050
13	Seperti no 11, sebagian berbatu	0,045	0,050	0,055	0,060
14	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang	0,050	0,060	0,070	0,080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150

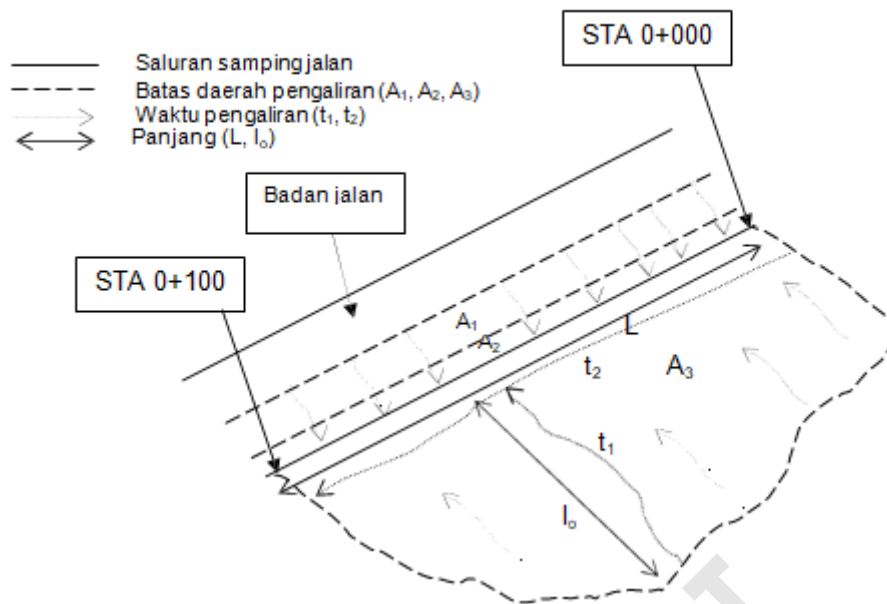


Saluran buatan, beton, atau batu kali					
16	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian	0,025	0,030	0,033	0,035
17	Seperti no 16, tapi dengan penyelesaian	0,017	0,020	0,025	0,030
18	Saluran beton	0,014	0,016	0,019	0,021
19	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

### 7.3 Komponen desain

- a. Komponen yang mempengaruhi desain saluran terbuka meliputi:
- 1) Debit aliran dan Intensitas hujan , sub-bab 5.3.1
  - 2) Waktu konsentrasi , sub bab 5.3.1
  - 3) Curah hujan, sub bab.5.3.2
  - 4) Jenis dan tipe saluran, sub bab 7.2.1 dan sub bab 7.2.2
  - 5) Kecepatan aliran, sub bab 7.2.3
  - 6) Kemiringan talud saluran, sub bab 7.2.5
  - 7) Aliran kritis, sub bab 7.2.6
  - 8) Kapasitas aliran, sub bab 7.2.7
  - 9) Luas area tangkapan air hujan yang terkonsentrasi saluran tebusan, Sub-bab 7.3 point 4).
  - 10) Ukuran batu, sub bab 7.4.2
  - 11) Koefisien kekasaran Manning, sub bab 7.4.3
  - 12) Tikungan dan super elevasi, sub bab 7.4.4
  - 13) Luas penampang basah sub bab 7.4.5
  - 14) Penentuan tinggi jagaan, sub bab 7.4.6
  - 15) Kemiringan memanjang saluran, sub bab 7.4.7
- b. Dalam saluran tanah/vegetasi, disamping point 1), perlu diperhatikan juga material kontruksi dan spesies rumput yang cocok untuk saluran (DTMR, 2010). Antara lain memiliki sifat-sifat:
- 1) Cepat tumbuh;

- 2) Mampu memperbaiki secara mandiri;
- c. Mempunyai panjang helai relatif pendek ( $< 50$  mm). Panjang helai lebih panjang bisa menaikkan tahanan aliran dan akibatnya berupa pengurangan kapasitas saluran;
- 1) Mampu bertahan hidup dalam waktu genangan singkat;
  - 2) Mampu bertahan terhadap kecepatan aliran desain yang direncanakan; dan
  - 3) Merupakan spesies setempat.
- d. Luas daerah layanan (A)
- 1) Perhitungan luas daerah layanan didasarkan pada panjang segmen jalan yang ditinjau;
  - 2) Luas daerah layanan (A) untuk saluran samping jalan perlu diketahui agar dapat diperkirakan daya tampungnya terhadap curah hujan atau untuk memperkirakan volume limpasan permukaan yang akan ditampung saluran samping jalan.
  - 3) Luas daerah layanan terdiri atas luas setengah badan jalan ( $A_1$ ), luas bahu jalan (A) dan luas daerah di sekitar ( $A_3$ ), tergantung kemiringan daerah bersangkutan.
  - 4) Batasan luas daerah layanan tergantung dari daerah sekitar dan topografi dan daerah sekelilingnya. panjang daerah pengaliran yang diperhitungkan terdiri atas setengah lebar badan jalan ( $l_1$ ), lebar bahu jalan ( $l_2$ ), dan daerah sekitar ( $l_3$ ) yang terbagi atas daerah perkotaan yaitu  $\pm 10$  m dan untuk daerah luar kota yang didasarkan pada topografi daerah tersebut.
  - 5) Jika diperlukan, pada daerah perbukitan, direncanakan beberapa saluran (Lihat sub bab drainase lereng) untuk menampung limpasan dari daerah bukit dengan batas daerah layanan adalah puncak bukit tersebut tanpa merusak stabilitas lereng. Sehingga saluran tersebut hanya menampung air dari luas daerah layanan daerah sekitar ( $A_3$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 7-5.



Gambar 7-5 Daerah Layanan Tampung Air Hujan

## 7.4 Mendesain Saluran Terbuka

### 7.4.1 Perhitungan untuk Kapasitas Saluran Terbuka

- Rumus inti aliran pada saluran terbuka adalah rumus;  $Q = V \cdot A$  rumus nomor 1 dan 16.
- Rumus untuk kecepatan aliran, adalah rumus;  $V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{2}{3}}}{n}$  rumus nomor. 17).

### 7.4.2 Ukuran batu untuk saluran dengan pelapis kaku dari batu

- Untuk saluran dengan kemiringan (*slope*) kecil (kurang dari 5%), sudut batu dan berat jenis minimal sebesar  $2.6 \text{ gr/sm}^3$ , maka rumus sederhana berikut ini dapat diterapkan untuk menentukan ukuran batu yang sesuai (QUDM, 2013):

$$d_{50} = 0.04 V^2 \quad (29)$$

Keterangan:

$d_{50}$  = nilai rata-rata ukuran batu Keterangan 50% dari batu berukuran lebih kecil (m)

$V$  = kecepatan aliran (m/detik)

- b. Hubungan ini ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 7-6. Suatu versi rumus yang lebih tinggi akurasinya diberikan di bawah ini, yang dapat digunakan untuk berbagai bentuk batu dan kondisi-kondisi aliran:

$$d_{50} = \frac{K_1 \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot K^2 (S_r - 1)} \quad (30)$$

Keterangan:

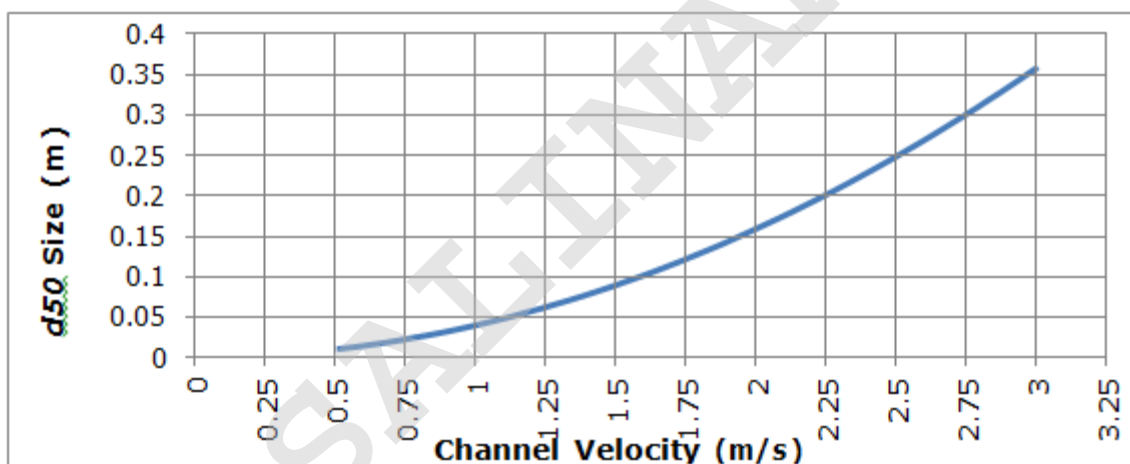
$d_{50}$  = nilai rata-rata ukuran batu Keterangan 50% dari batu berukuran kecil (m)

$V$  = kecepatan rata-rata (m / dtk)

$S_r$  = berat jenis spesifik dari batu

$K_1$  = 1.0 untuk batu bersudut, 1.36 untuk batu bulat

$K$  = 1.1 untuk aliran air dalam dengan turbulensi rendah, 1.0 untuk aliran air dangkal dengan turbulensi rendah, dan 0.86 untuk aliran dengan turbulensi tinggi.

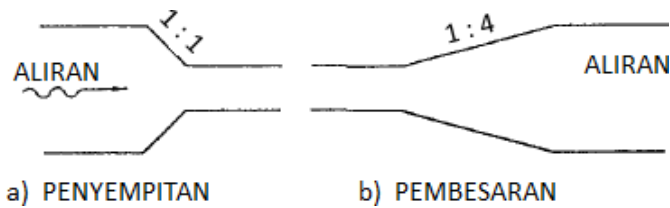


**Gambar 7-6**  $d_{50}$  ukuran untuk kurva saluran sedang (<5%)

#### 7.4.3 Kehilangan Energi karena Transisi

- Kehilangan energi yang terjadi dalam sebuah saluran adalah sebagai akibat dari adanya perubahan bentuk penampang melintang saluran, sementara kehilangan energi yang terkait dengan transisi yang terjadi secara tiba-tiba adalah lebih besar dari pada kehilangan yang terkait dengan transisi secara bertahap.
- Perubahan ukuran dari suatu penampang melintang saluran ke ukuran penampang melintang lainnya hendaknya dilakukan secara halus, tanpa perubahan penampang melintang secara mendadak. Tingkat ekspansi dari

penampang kecil ke penampang yang lebih besar direkomendasikan minimum 1 : 4, sedangkan tingkat kontraksi dari penampang yang lebih besar ke penampang yang lebih kecil direkomendasikan minimum 1 : 1, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7-7.



**Gambar 7-7** Kemiringan Pengembangan Maksimum

- c. Nilai-nilai yang direkomendasikan untuk faktor kehilangan tenaga ditunjukkan pada Tabel 7-10. Atau sebagai alternatif, kehilangan energi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$h_t = C_u \left[ \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right] \quad 31)$$

Keterangan:

$h_t$  = kehilangan energi (m)

$C_u$  = koefisien kehilangan energi karena transisi

$V_i$  = Kecepatan rata-rata di hulu transisi (m/detik) kecepatan rata-rata di hilir transisi

**Tabel 7-10** Tipikal Kehilangan Energi karena Transisi pada Saluran Terbuka (QUDM, 2013)

Tipe Transisi	Koefisien Kontraksi	Koefisien Ekspansi
Transisi saluran secara bertahap	0.1	0.3
Tipikal transisi karena adanya jembatan	0.3	0.5
Transisi secara tiba-tiba pada tepi saluran berbentuk persegi.	0.6	0.8

#### 7.4.4 Tikungan dan Super Elevasi pada Saluran-Saluran Terbuka

- a. Ketinggian saluran pada suatu tikungan harus didesain untuk menempatkan elevasi permukaan air yang diharapkan pada tikungan sesuai kapasitas desain, seperti halnya juga pada jagaan.
- b. Pelimpahan air pada sisi-sisi sebuah lengkungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\Delta d = \frac{V^2 T}{g \cdot R_c} \quad (32)$$

Keterangan:

$\Delta d$  = perbedaan ketinggian permukaan air antara tepi-tepi dalam dan tepi-tepi luar saluran pada lengkungan (m)

$V$  = kecepatan rata-rata (m / detik)

$T$  = lebar permukaan pada saluran (m)

$g$  = gaya gravitasi (9.81 m / dtk<sup>2</sup>)

$R_c$  = radius garis tengah dari saluran (m)

- c. Nilai-nilai yang dapat disimpulkan untuk kehilangan energi pada saluran terbuka tidak tersedia. Perhitungan sederhana untuk tikungan dengan sudut antara 90 dan 180 derajat dihitung dengan rumus:

$$h_b = \left( \frac{2B}{R_2} \right) \times \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (33)$$

Keterangan:

$h_b$  = kehilangan energi pada saluran lengkung

$B$  = lebar saluran (m)

$V$  = kecepatan rata-rata aliran (m / dtk)

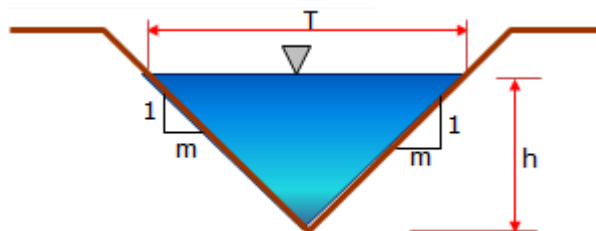
$g$  = gaya gravitasi (9.81 m / dtk<sup>2</sup>)

$R_c$  = radius garis tengah dari saluran lengkung (m)

Untuk lengkungan antara 0 dan 90 derajat, disarankan interpolasi linier

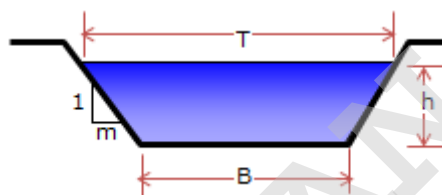
#### 7.4.5 Komponen Perhitungan Penampang Saluran

- a. Terdapat beberapa bentuk geometri penampang saluran terbuka yang umumnya digunakan sebagai drainase jalan untuk mengalirkan air permukaan, bentuk-bentuk penampang tersebut adalah sebagai berikut:
  - 1) Penampang saluran terbuka berpenampang segi tiga.



**Gambar 7-8** Penampang Saluran Terbuka Bentuk Segi Tiga

2) Penampang saluran terbuka berbentuk trapesium.



**Gambar 7-9** Penampang Saluran Terbuka Bentuk Trapesium

b. Tinggi jagaan ( $W$ ) untuk saluran drainase jalan perkotaan berpenampang trapesium dan segi empat ditentukan berdasarkan rumus empiris sebagai berikut:

$$W = \sqrt{0,5 \times h} \quad (34)$$

Keterangan :

$W$  = tinggi jagaan

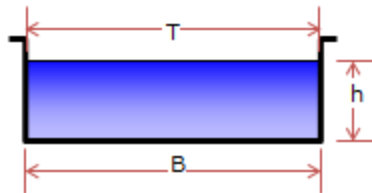
$h$  = adalah kedalaman air di saluran

c. Kemiringan tebing/talud dari penampang trapesium tersebut dalam Gambar 7-9 ditentukan berdasarkan debit alirannya (lihat Tabel 7-11).

**Tabel 7-11** Kemiringan Talud Berdasarkan Debit Aliran

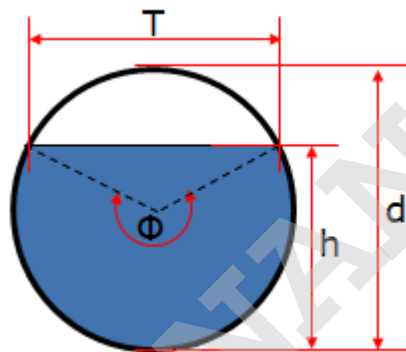
No.	Debit aliran $Q$ ( $m^3/det$ )	Kemiringan talud (1 : z/m)
1	0,00 – 0,75	1 : 1
2	0,75 – 15	1 : 1,5
3	15 – 80	1 : 2

- d. Penampang saluran terbuka berbentuk segi empat



**Gambar 7-10** Penampang Saluran Terbuka Bentuk Segi Empat

- e. Penampang saluran terbuka berbentuk lingkaran (digunakan untuk gorong-gorong).





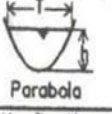




**Gambar 7-11** Penampang Saluran Terbuka Bentuk Lingkaran

- f. Untuk memudahkan perhitungan komponen geometrik saluran untuk menentukan kemampuan saluran dapat digunakan Tabel 7-12.



**Tabel 7-12** Rumus untuk Menghitung Komponen Penampang Saluran

Penampang	Luas A	Kelling basah O	Jari-jari hidrolis R	Lebar puncak T	Kedalaman hidrolis D	Faktor penampang Z
 Persegi Panjang	$Bh$	$B+2h$	$\frac{Bh}{B+2h}$	$B$	$h$	$Bh^{1.5}$
 Trapezium	$(B+zh)h$	$B+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(B+zh)h}{B+2h\sqrt{1+z^2}}$	$B+2zh$	$\frac{(B+zh)h}{B+2zh}$	$\frac{[(B+zh)h]^{1.5}}{\sqrt{B+2zh}}$
 Segi tiga	$zh^2$	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zh$	$\frac{1}{2}h$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zh^{2.5}$
 Lingkaran	$\frac{1}{2}(\theta - \sin\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}(1 - \frac{\sin\theta}{\theta})d_0$	$\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{h(d_0-h)}}$ or $\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{h(d_0-h)}}$	$\frac{1}{8}\frac{(\theta - \sin\theta)d_0}{\sin \frac{1}{2}\theta}$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin\theta)^{1.5}}{32(\sin \frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parabola	$\frac{1}{2}Th$	$T + \frac{8h^2}{3T}$	$\frac{2T^2h}{3T^2+8h^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{h}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Th^{1.5}$
 Persegi panjang elips dibulatkan	$(\frac{\pi}{2}-2)r^2+(B+2r)h$	$(\pi-2)r+B+2h$	$\frac{(\frac{\pi}{2}-2)r^2+(B+2r)h}{(\pi-2)r+B+2h}$	$B+2r$	$\frac{(\frac{\pi}{2}-2)r^2}{B+2r} + h$	$\frac{[(\frac{\pi}{2}-2)r^2+(B+2r)h]^{1.5}}{\sqrt{B+2r}}$
 Segi tiga, dasar dibulatkan	$\frac{T^2}{24} - \frac{r^2}{2}(1-z\cot^{-1}z)$	$\frac{1}{2}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1-z\cot^{-1}z)$	$\frac{A}{O}$	$2[z(h-r)+r\sqrt{1+z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

\*) Perkiraan yang paling cocok untuk interval  $0 < x < 1$ , bila  $x=4h/T$ . Bila  $x > 1$ , dipakai hubungan  $P=(T/2)[\sqrt{1+x^2} + 1/x \ln(x+\sqrt{1+x^2})]$

#### 7.4.6 Penentuan Tinggi Jagaan

- Tinggi jagaan (*Freeboard*) merupakan jarak vertikal antara permukaan air dengan puncak saluran pada kapasitas desain. Maksud tinggi jagaan adalah untuk memperhitungkan dampak-dampak seperti gelombang dan fluktuasi permukaan air, sedimentasi dan kesalahan estimasi muka air dalam desain, untuk menjamin bahwa saluran mampu menampung aliran rencana.
- Tinggi jagaan saluran drainase jalan (*side ditch dan culvert*) ditentukan sebagai berikut:

- Saluran terbuka :

Tinggi jagaan (W) untuk saluran drainase jalan berpenampang trapesium dan segi empat ditentukan berdasarkan rumus empiris sebagai berikut:

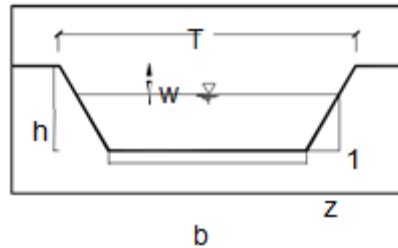
$$W = \sqrt{0,5 \times h} \quad (35)$$

Keterangan:

W = tinggi jagaan (m)

H = kedalaman air di saluran (m)

Tinggi jagaan tersebut dapat dilihat dalam Gambar 7-12.



**Gambar 7-12** Tinggi Jagaan Saluran

2) Gorong-gorong

$$W = 0,2 \times d$$

36)

Keterangan :

W = Tinggi jagaan (m)

d = diameter pipa culvert (m)

Dengan demikian kedalaman air yang tergenang dalam gorong-gorong

= h

$$h = 0,8 \times d$$

#### 7.4.7 Kemiringan Memanjang Saluran

a. Untuk menghitung kemiringan saluran digunakan rumus manning sebagai berikut:

$$i_s = \left( \frac{V \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \quad 37)$$

Keterangan:

V = kecepatan aliran (m/detik);

n = koefisien kekasaran Manning ;

R =  $A/P$  = jari-jari hidrolis (m);

A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>);

P = keliling basah (m);

Is = kemiringan memanjang saluran.

#### 7.4.8 Penempatan Saluran

- Menjaga struktur perkerasan jalan terpengaruh rembesan air dari saluran samping jalan, maka kedalaman minimum saluran samping minimal 50 cm di bawah permukaan pondasi jalan dengan lebar dasar minimum 50 cm, lihat Gambar 7-13.
- Menjamin agar air tidak menggenang di saluran samping, maka kelandaian minimum dasar saluran samping paling kecil 0,5%.



**Gambar 7-13** Penampang Melintang Saluran Samping Jalan

- Panjang paling besar diantara outlet dengan kedalaman air dalam saluran 60 Cm dalam berbagai golongan medan, seperti diuraikan pada Tabel 7-13.

**Tabel 7-13** Jarak antara outlet

Kelandaian dasar saluran			Panjang maksimum antar outlet (meter)	
Kelandaian (%)	Perbandingan Vertikal : Horizontal	Debit Mak di outlet saluran	Medan rata dan datar dan bukit	Medan berbukit & pegunungan
0,5	1 : 200	0,277	150	400
1,0	1 : 100	0,392	200	600
2,0	1 : 50	0,554	300	900
4,0	1 : 25	0,783	400	1200
5,0	1 : 20	0,876	450	1300

#### 7.5 Bagan Alir Desain

##### 7.5.1 Bagai Alir Proses Desain

- Berikut adalah Gambar 7-14, adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain dalam bentuk bagan alir.



**Gambar 7-14** Bagan Alir Desain Saluran Terbuka

### 7.5.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

Langkah desain drainase jalan diuraikan sebagai berikut (Gambar 7-14):

- a. Langkah nomor 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi penetapan:
  - 1) No. ruas dan STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan.
  - 3) Fungsi dan status jalan.
- b. Langkah nomor. 2, Identifikasi komponen desain :
  - 1) Area tangkapan air hujan sesuai bentuk kontur tanah yang ada.
  - 2) Area tangkapan air hujan sesuai ketentuan dan kewenangan otoritas jalan.

- 3) Titik konsentrasi saluran air permukaan pada badan jalan..
  - 4) Geometrik jalan: Kemiringan memanjang dan melintang permukaan jalan dan bahu jalan. Jika yang dirancang adalah bagian di tikungan, maka tetapkan kemiringan atau superelevasinya.
  - 5) Tipe/konfigurasi jalan, meliputi jumlah jalur, lajur, bagu dan median.
  - 6) Ruang milik jalan/Rumija yang tersedia.
  - 7) Lokasi dan elevasi jaringan drainase permukaan yang ada, seperti saluran samping dan/atau median serta saluran pembawa alam/irigasi.
- c. Langkah nomor. 3, Identifikasi pertimbangan desain :
- 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain dalam hal dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan, seperti diuraikan dalam sub-bab 7.1 ketentuan umum dan 7.7.2 ketentuan teknis.
  - 2) Pertimbangan asumsi awal menyangkut aspek teknis, seperti:
    - a) Debit rencana/banjir yang mungkin terjadi,
    - b) Genangan air yang mungkin terjadi.
    - c) saluran pembuang (*Outlet*).
  - 3) Aspek teknis: menyangkut parameter desain yang harus diikuti, karakteristik aliran air (volume, kecepatan dan waktu konsentrasi), dan dampak hidroplaning.
  - 4) Air dipermukaan perkerasan jalan, menyangkut pola pergerakan dan konsep dampak hidroplaning.
  - 5) Data yan valid, terverifikasinya data, dan sumber data dari lembaga tersertifikasi.
- d. Langkah nomor. 4, Ketentuan umum dan teknis yang harus diikuti dalam desain drainase terbuka, baik untuk desain drainase baru atau peningkatan:
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase jalan, yang pada dasarnya desain teknis yang dihasilkan bisa memenuhi aspek keselamatan, kelancaran dan ramah terhadap lingkungan baik di hulu/hilir dan setempat:
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, tata letak

bangunan dan memenuhi karakteristik komponen hidrolika, optimalisasi, aspek ini harus tersurat dalam analisa dan luaran desain (DED).

- e. Langkah nomor. 5, Analisis desain merupakan proses tahapan desain secara analitik maupun empiris/grafik dalam menentukan nilai parameter tertentu untuk menetapkan bentuk dan ukuran serta kapasitas bangunan drainase jalan. Langkah-langkah perhitungan saluran terbuka :

1) Perhitungan debit aliran rencana (Q)

Langkah perhitungan debit aliran rencana (Q) diuraikan di bawah ini.

- a) Plot rute jalan di peta topografi.
- b) Tentukan panjang segmen, daerah pengaliran, luas (A), kemiringan lahan ( $i_p$ ) dari peta topografi.
- c) Identifikasi jenis bahan permukaan daerah pengaliran.
- d) Tentukan koefisien aliran (C) berdasarkan kondisi permukaan kemudian kalikan dengan harga faktor limpasan.
- e) Hitung koefisien aliran rata-rata dengan rumus nomor. 2.
- f) Tentukan kondisi permukaan berikut koefisien hambatan,  $n_d$ .
- g) Hitung waktu konsentrasi ( $T_c$ ) dengan rumus-rumus nomor. 4, 5, dan 6 , pada Sub-Bab 5.3.1.
- h) Siapkan data curah hujan dari Badan Meteorologi dan Geofisika. Tentukan periode hujan rencana untuk saluran drainase, yaitu 5 tahun.
- i) Hitung intensitas curah hujan sesuai pada buku SNI 03-2415-1991, Metode perhitungan debit banjir.
- j) Hitung debit air (Q) dengan menggunakan rumus rasional nomor. 1.

2) Perhitungan dimensi dan kemiringan saluran

Perhitungan dimensi saluran dapat disesuaikan dengan kondisi yang ada yaitu berdasarkan:

- a) Penentuan bahan yang digunakan, sehingga terdapat batasan kecepatan (V) dan kemiringan saluran ( $i_s$ ) yang diizinkan;
- b) ketersediaan ruang di tepi jalan, sehingga perhitungan dimulai dengan penentuan dimensi.

3) Penentuan awal bentuk dan bahan saluran:

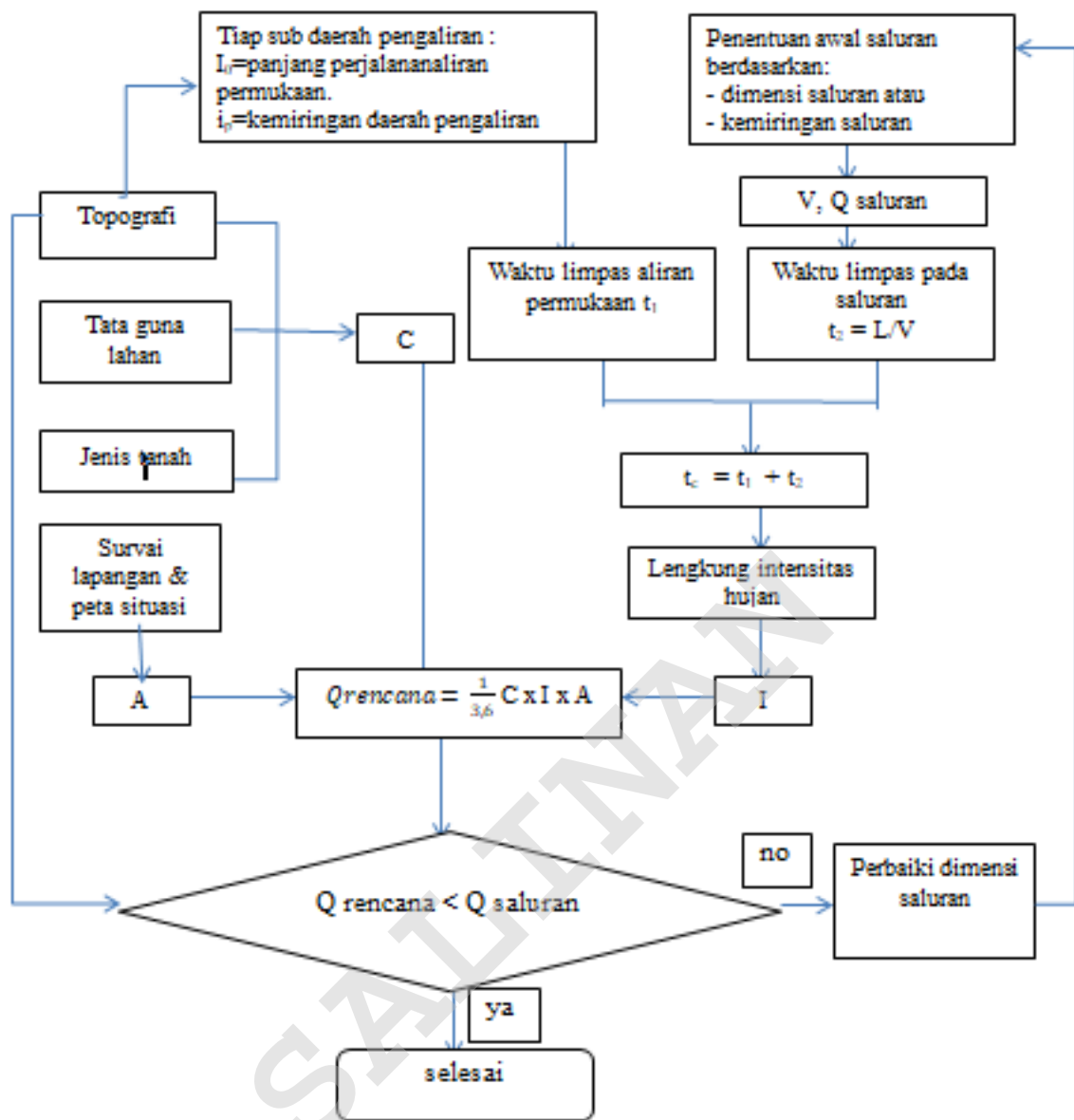
- a) Penentuan bahan saluran, koefisien Manning (n), dan kecepatan V pada saluran yang diizinkan, bentuk saluran  $i_s$  dan penentuan kemiringan saluran  $i_s$ , yang diizinkan;

- b) Tentukan kecepatan saluran (dengan menggunakan Rumus Manning) < kecepatan saluran yang diizinkan;
- 4) Penentuan awal dimensi saluran
  - a) Tentukan perkiraan dimensi saluran sesuai ruang yang tersedia, dan koefisien Manning (n);
  - b) Tentukan kemiringan saluran berdasarkan bahan atau mengikuti kemiringan perkerasan jalan untuk menentukan kecepatan air dalam saluran;
  - c) Tentukan kecepatan saluran dengan menggunakan rumus Manning nomor. 1.
  - d) Hitung tinggi jagaan (W) saluran dengan rumus nomor. 34 dan 35.
- 5) Cek debit saluran harus lebih besar dari debit rencana. Jika tidak sesuai, maka perhitungan dimensi harus diulang.
  - a) Hitung kembali kemiringan aliran dengan rumus Manning nomor. 37.
  - b) Periksa kemiringan tanah dan kemiringan muka air di lokasi yang akan dibangun saluran :

$$i_s = \frac{\text{elev}_1 - \text{elev}_2}{L} \times 100\% \quad 38)$$

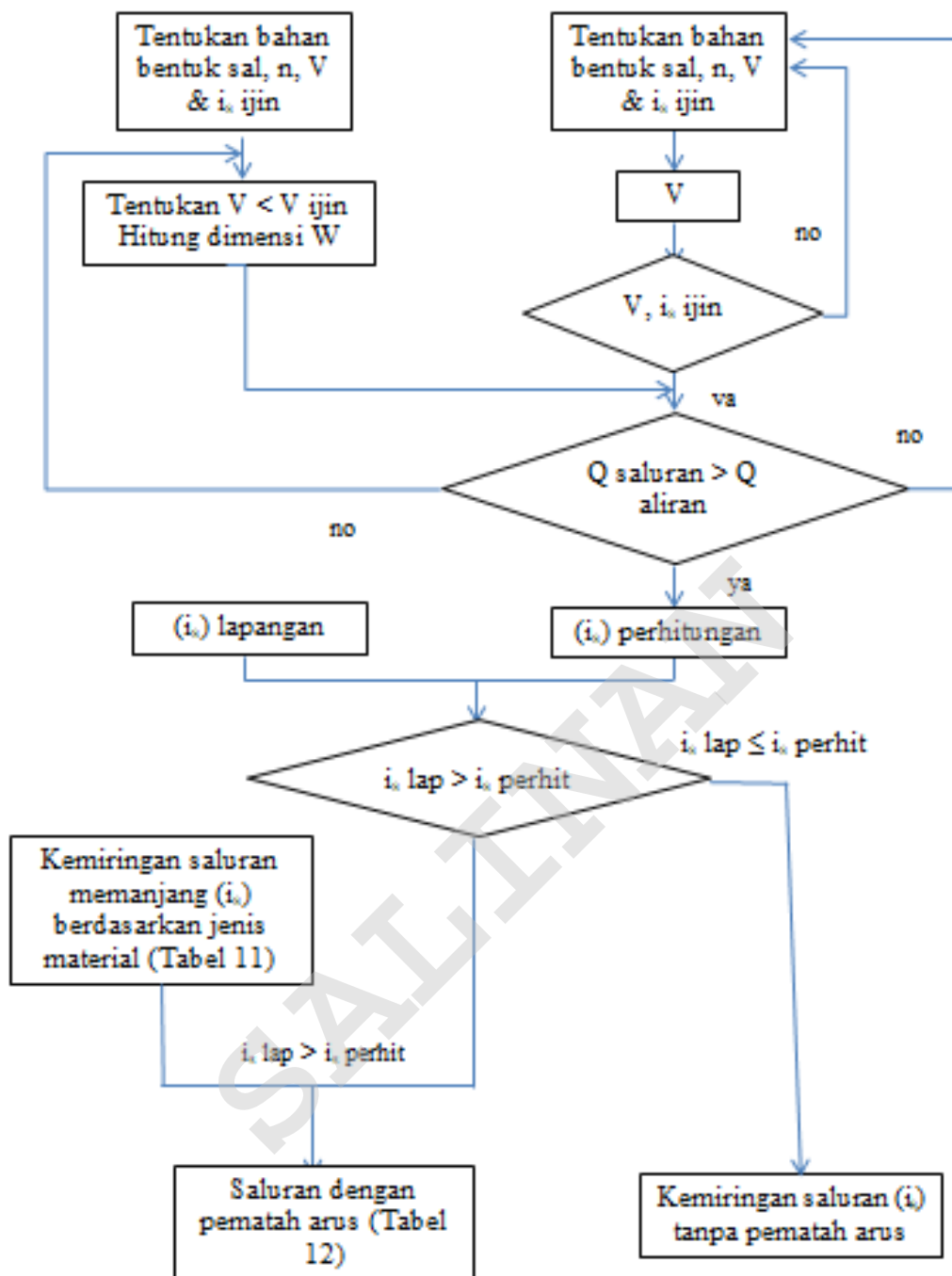
- c) Bandingkan kemiringan saluran hasil perhitungan ( $i_s$  perhitungan) dengan kemiringan tanah yang diukur di lapangan ( $i_s$  lapangan);
- d)  $i_s$  lapangan  $\leq$   $i_s$  perhitungan, artinya bahwa kemiringan saluran yang direncanakan sesuai dengan  $i$  perhitungan;
- e)  $i_s$  lapangan  $>$   $i_s$  perhitungan, berarti saluran harus dibuatkan pematah arus.
- f) Bagan alir perhitungan
 

Bagan alir perhitungan debit aliran rencana (Q) dari daerah pelayanan yang dihubungkan dengan kemampuan saluran yang menampungnya (Gambar 7-15). Perhitungan dimensi saluran dan kemiringan saluran yang akan digunakan di lapangan ditunjukkan.



**Gambar 7-15** Bagan Alir Perhitungan Debit Rencana dan Debit Saluran





**Gambar 7-16** Bagan Alir Perhitungan Dimensi Saluran dan Kemiringan Saluran

- f. Langkah nomor 6, Luaran : Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain tekni bangunan akhir drainase terbuka pada jalan (DED). DED tersebut, diperuntukan untuk dokumen pembangunan dan juga sebagai arsip di leger jalan.

## 8. Desain Saluran Tertutup

### 8.1 Ketentuan Umum

- a. Sistem saluran tertutup ini biasanya berupa serangkaian saluran tertutup atau gorong-gorong yang saling terhubung yang dirancang untuk dan menyalurkan (Sebagai akses) air hujan dari saluran permukaan seperti saluran samping/tengah/talang dan/atau saluran pembawa alami/irigasi.
- b. Saluran tertutup harus dibuat dari material yang kokoh secara struktur dan tahan serta memiliki sambungan yang baik.
- c. Sambungan harus mampu menahan intrusi akar tanaman, tekanan hidrolika, beban tanah, dan memiliki fleksibilitas (kelenturan) di sambungan
- d. Semua saluran tertutup hendaknya didesain menggunakan metode Garis Kemiringan Hidrolika (HGL) dan karakteristik hidrolika yang sesuai.
- e. Perilaku aliran melalui gorong-gorong bervariasi tergantung pada apakah inlet dari/atau outlet terendam.

### 8.2 Ketentuan Teknis

#### 8.2.1 Ukuran

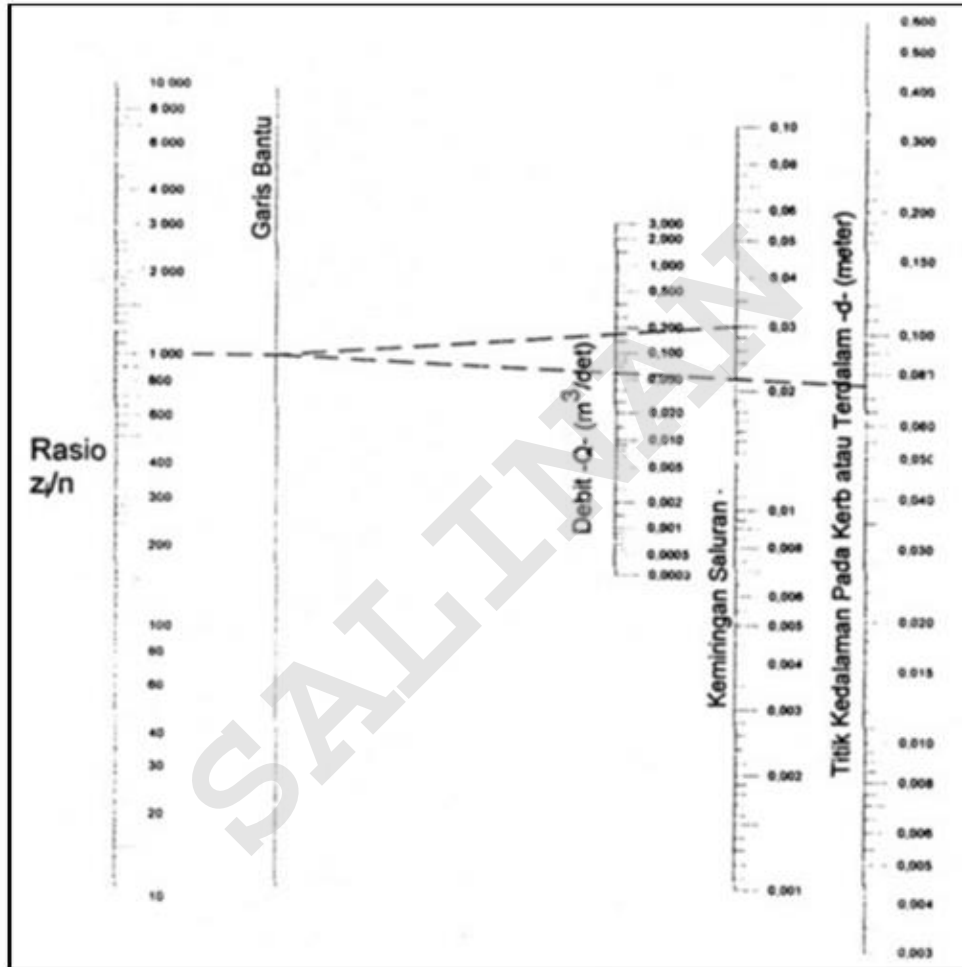
- a. Analisis aliran saluran tertutup tidak berbeda dengan saluran terbuka, saluran tertutup jika aliran penuh di bawah tekanan, semua penampang basah kena air.
- b. Ukuran diameter minimum saluran ditentukan 375 mm agar tidak lolosnya puing-puing dan meminimalkan resiko penyumbatan.
- c. Saluran tertutup dapat ditempatkan di median, saluran tepi atau saluran tepi melintas jalan dan juga saluran dek jembatan.

#### 8.2.2 Kecepatan aliran dalam pipa

- a. Pendekatan awal untuk berbagai kemiringan saluran dan diameter pipa, nilai kecepatan ( $V$ ) dapat diperkirakan seperti pada Tabel 8-1. Kemudian dilakukan pengecekan pada debit yang direncanakan dengan menggunakan Gambar 8-1 dan Gambar 8-3 diagram aliran pada *box culvert* atau pipa.
- b. Kecepatan minimum yang diterapkan untuk sistem saluran tertutup adalah 0,5 m/detik pada kondisi saluran penuh. Kecepatan minimum mendorong pembersihan sendiri dan meminimalkan pembentukan sedimen.
- c. Kecepatan maksimum yang ditentukan untuk sistem saluran tertutup adalah 6 m/detik.

**Tabel 8-1** Kecepatan Berdasarkan Diameter Pipa dan Kemiringan

Diameter (m)	Kecepatan, Vp (m/detik)		
	Kemiringan saluran (%)		
	1	2	3
0,375	2	3	4
0,600	2,5	4	4,5



**Gambar 8-1** Diagram Debit Aliran Saluran Bentuk Segitiga

Rumus :

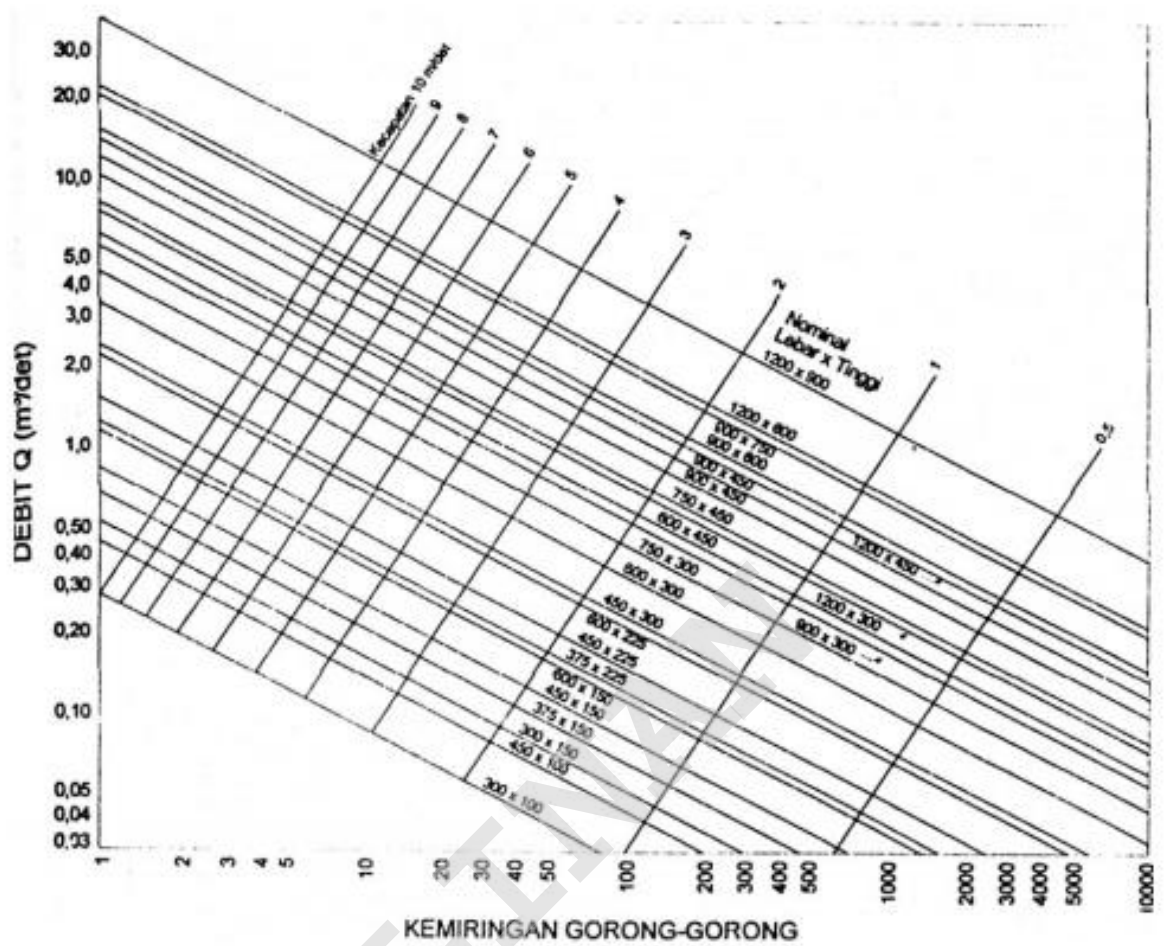
$$Q = 0,375 \times \frac{z_i}{n} \times i_1^{1/2} \times d^{8/3}$$

n = koefisien kekasaran Manning yang tergantung pada bahan dasar saluran

$z_i$  = kemiringan perkerasan / bahu jalan,

$i_1$  = kemiringan memanjang

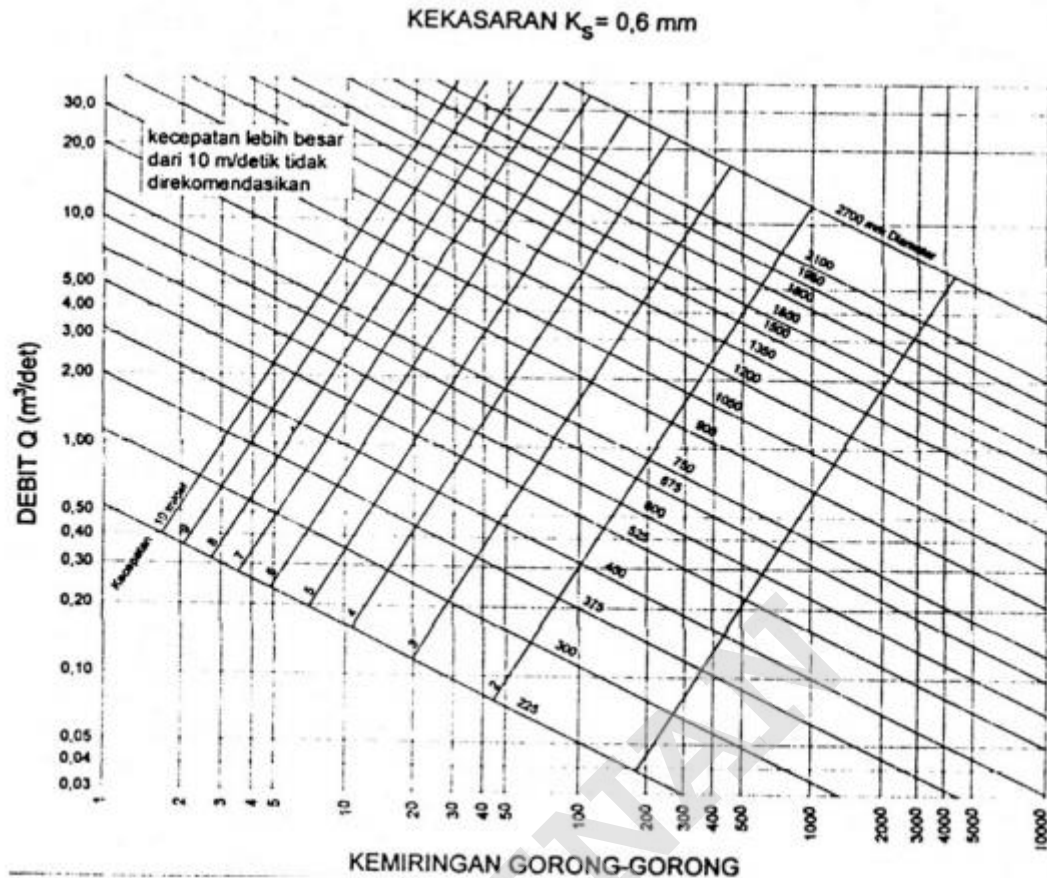
d = kedalaman air



**Gambar 8-2** Diagram Debit Aliran pada *Box Culvert*

Keterangan:

- Contoh: kemiringan gorong-gorong  $1/z$  (seperti  $1/z$ ,  $1/100$ ), maka koordinat X adalah angka  $z$ .
- Untuk gorong-gorong pipa yang aliran mengalir penuh tetapi tidak dibawah tekanan.
- Kemiringan gorong-gorong adalah paralel dengan kemiringan air.



**Gambar 8-3** Diagram Debit Aliran pada Pipa

Keterangan:

- a) Contoh: kemiringan gorong-gorong  $1/z$  (seperti  $1/z$ ,  $1/100$ ), maka koordinat X adalah angka  $z$
- b) Untuk gorong-gorong pipa yang aliran mengalir penuh tetapi tidak dibawah tekanan
- c) Kemiringan gorong-gorong adalah paralel dengan kemiringan air.

### 8.2.3 Selubung

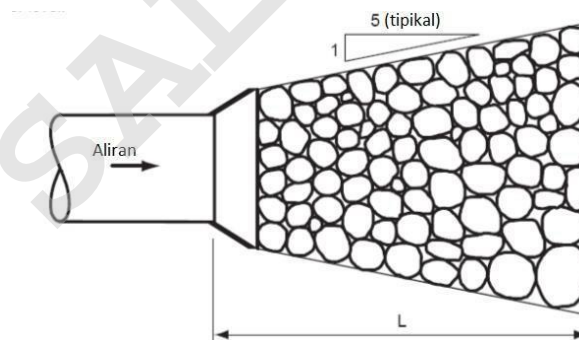
- a. Selubung saluran tertutup adalah jarak dari tepi atas saluran tertutup ke permukaan (tanah).
- b. Untuk saluran di bawah perkerasan jalan, selubung saluran tertutup adalah jarak dari permukaan tepi atas conduit sampai ke tepi atas subgrade (tanah dasar) di bawah perkerasan jalan. Pada umumnya tinggi selubung minimum tersebut di atas adalah sebesar 600 mm.

#### 8.2.4 Alinemen

- a. Saluran tertutup air hujan yang mempunyai diameter atau lebar dari 375 mm hingga 675 mm hendaknya diletakkan di belakang kerb.
- b. Saluran tertutup yang lebih besar hendaknya diletakkan di dalam median atau pada garis tengah badan jalan.

#### 8.2.5 Outlet

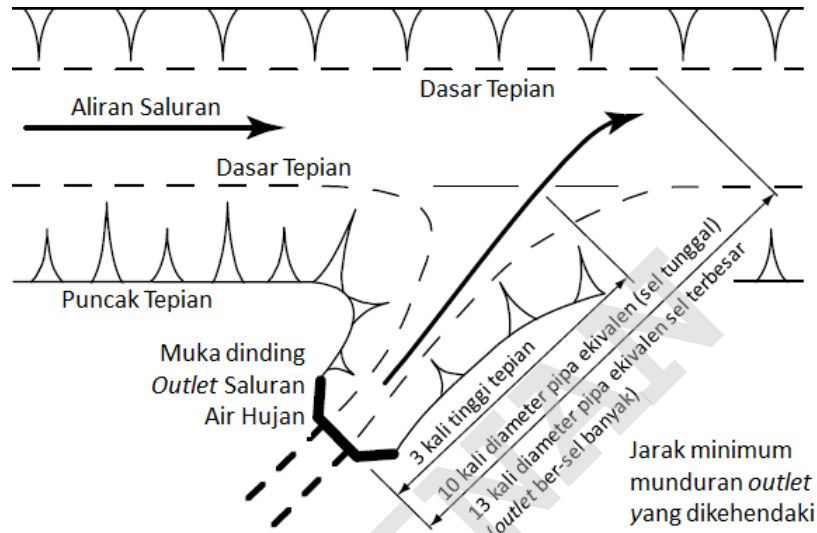
- a. Pengendalian terhadap kemungkinan tergerusnya *outlet*, pada *outlet* jaringan drainase, hendaknya dibangun landasan/tapak batu (*rock mattress*) untuk mencegah erosi.
- b. Lebar tapak batu minimum yang direkomendasikan pada *outlet* dan pada perpanjangan tapak ke arah hilir adalah:
  - 1) Pada *outlet*, tapak ini hendaknya selebar apron dinding muka (*headwall*), atau jika tidak ada apron, adalah selebar *outlet* ditambah 0,6 m.
  - 2) Pada ujung hilir tapak batu, lebarnya agar sama dengan lebar *outlet* ditambah 0,4 kali panjang landasan batu (L), sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8-4.
- c. Bagi lokasi-lokasi yang mengalami aliran cukup deras, atau aliran berdurasi lama, memerlukan perlindungan penggerusan (*scour*) yang lebih komprehensif.



**Gambar 8-4** Konfigurasi Tipikal Tapak Batu Outlet

- d. Orientasi *outlet*, untuk kepentingan praktis, debit air dari outlet harus disalurkan ke tepi sungai (badan air), yang mungkin dapat mengakibatkan terjadinya erosi di tepi-tepi tebing badan air, ukuran saluran menjadi lebih besar, atau perpindahan saluran (*migration*) sebagaimana tersebut dalam Gambar 8-5.

- e. Jarak aman minimum (berdasarkan QUDM, 2013) yang dikehendaki adalah lebih besar dari:
- 1) 3 kali tinggi tepian dari ujung dasar tepian.
  - 2) 10 kali diameter saluran ekivalen (satu sel) atau 13 kali diameter sel ekivalen terbesar (beberapa *outlet*) diukur dari Keterangan semburan *outlet* akan mengenai tepian yang bisa longsor.



**Gambar 8-5** Orientasi dan Jarak Aman Tipikal Outlet Saluran

- f. Jika kondisi lapangan yang dihadapi adalah *outlet* harus membuang aliran ke saluran penerima yang 'sempit' hendaknya arah aliran dari outlet dibuat bersudut  $45^{\circ}$  hingga  $60^{\circ}$  derajat terhadap aliran saluran utama. saluran penerima dikatakan 'sempit' bilamana:
- 1) Lebar dasar saluran adalah kurang dari 5 kali ekivalen diameter saluran conduit, atau
  - 2) Jarak dari outlet ke tepian seberang (sepanjang arah semburan outlet) adalah kurang dari 10 kali diameter saluran tertutup ekivalen, dan
  - 3) *Inflownya* lebih dari 10% aliran saluran penerima.
- g. *Outlet* air hujan yang membuang ke arah hulu hendaknya dihindari sepraktis mungkin.

### 8.2.6 Bangunan Pelengkap Saluran

- a. Gutter saluran yang akan menampung air tergenang pada kereb yang akan disalurkan ke saluran samping jalan dapat diperkirakan dari rumus Manning nomor. 14 dan rumus nomor. 15 sub-bab 6.2.3
- b. Saluran inlet jalan (*street inlet*) , disampaikan lebih rinci pada sub bab 6.2.4 Inlet Jalan

## 8.3 Komponen Desain

### 8.3.1 Komponen yang Mempengaruhi Saluran Tertutup

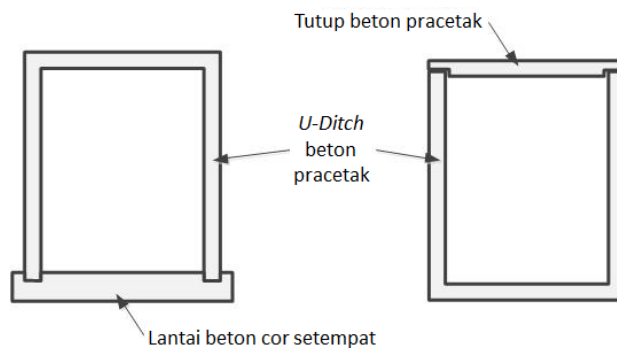
Komponen-komponen yang mempengaruhi saluran tertutup adalah

- a. Debit aliran dan intensitas hujan , sub bab 5.3.1
- b. Luas area tangkapan air hujan yang terkonsentrasi saluran tertutup, sub bab 7.3
- c. Kecepatan aliran dalam pipa, sub bab 8.2
- d. Diameter pipa, sub bab 8.2
- e. Kapasitas saluran tertutup, sub bab 8.4.2
- f. Waktu pengaliran, sub bab 8.4.3
- g. Elevasi dasar pipa bagian hilir dan hulu, sub bab 8.4.4
- h. Elevasi muka air inlet dan outlet, sub bab 8.4.4
- i. Kekasaran pipa, sub bab 8.4.4
- j. Garis Kemiringan Hidrolika (HGL), sub bab.8.4.4
- k. Kehilangan tekanan pada pipa, sub bab 8.4.4
- l. Kehilangan energi karena bentuk struktur, sub bab 8.4.4
- m. Pengendalian gerusan saluran buang (outlet), sub bab 8.4.4
- n. Penentuan jumlah lubang pemasukkan, sub bab 8.4.4.

### 8.3.2 Jenis-jenis Saluran Tertutup

- a. Saluran tertutup (*Conduit*) adalah pipa berbentuk lingkaran dan gorong-gorong persegi panjang atau kotak. saluran gorong-gorong kotak bisa dibentuk (lihat Gambar 8-6 :
  - 1) *U-ditch* pracetak dibalik di atas dasar beton cor setempat.
  - 2) *U-ditch* dan penutup pracetak.





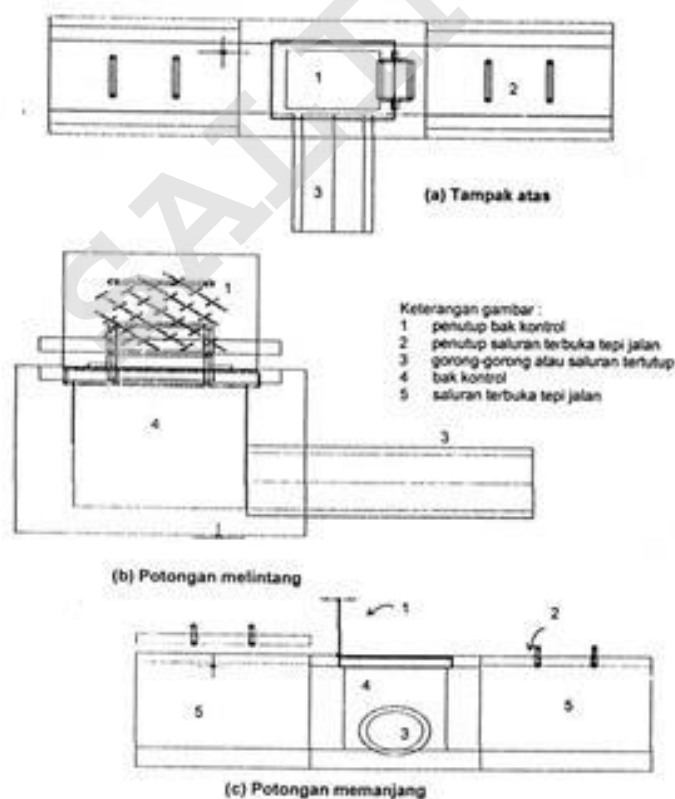
**Gambar 8-6** Sistem Gorong-Gorong Kotak Tipikal menggunakan *U-Ditch* Pracetak

- b. Gorong-gorong kotak harus dibuat dalam bentuk pracetak, dapat menggunakan beton bertulang ataupun beton tak bertulang. Sambungan pada gorong-gorong kotak pracetak harus ditutup rapat dengan *bituminous mastic sealant*.
- c. Diupayakan agar saluran tertutup yang menghubungkan bak-bak inlet terpasang lurus. Untuk alinemen jalan yang melengkung, saluran harus:
  - 1) Memiliki radius yang konstan,
  - 2) Hanya pada bidang horizontal saja (tidak ada lengkung vertikal),
  - 3) Hanya pada satu arah saja di antara bak-bak disebelahnya (yakni tidak ada lengkung berlawanan arah), dan
  - 4) Diposisikan untuk mengikuti fitur-fitur permukaan yang mudah teramati (misal: paralel dengan garis kerb).
- d. Kelengkungan saluran tertutup mendadak untuk menghindari halangan seperti pohon, tiang listrik atau prasarana utilitas lainnya tidak direkomendasikan. Saluran tertutup lengkungan bisa diperoleh sebagai berikut:
  - 1) Sambungan ring karet (*rubber ring*) atau sambungan rata bersabuk eksternal (*externally banded flush joint*) – lengkung harus dicapai sepenuhnya di dalam sistem sambungan saluran sehingga ring karet atau sabuk eksternal tetap efektif. Sudut defleksi maksimum hendaknya sesuai rekomendasi pembuat saluran tertutup.
  - 2) Saluran *Splayed Conduits* – ini bisa sudah dibentuk dari pabrik atau dibentuk dengan memotong saluran standar dengan mesin pemotong yang disetujui oleh pembuat saluran.

- 3) Saluran gorong-gorong kotak lengkung, *Splayed Culverts* –dibentuk dari pabrik atau dibentuk dengan memotong gorong-gorong standar dengan mesin pemotong yang disetujui oleh pembuat gorong-gorong.

### 8.3.3 Bangunan Pelengkap Saluran Tertutup

- a. Saluran penghubung (*gutter*) , sesuai sub bab 6.2.3 Saluran Talang
- b. Saluran inlet (*street inlet*), sesuai sub bab 6.2.4 Inlet Jalan
- c. Bak control
  - 1) Bak control merupakan tempat masuknya air (inlet) dan saluran untuk menampung aliran permukaan yang akan disalurkan ke sistem drainase saluran tertutup dan merupakan ruang akses bagi jaringan pipa serta untuk pemeliharaan (lihat Gambar 8-7).
  - 2) Ukuran bak control disesuaikan dengan kondisi lapangan dan juga mudah, aman dalam melakukan inpeksi dan pemeliharaan rutin (bak control mudah dibuka dan ditutup) serta aman baik pejalan kaki (untuk saluran tertutup yang berada di bawah trotoar).



**Gambar 8-7** Contoh Bentuk Bak Control

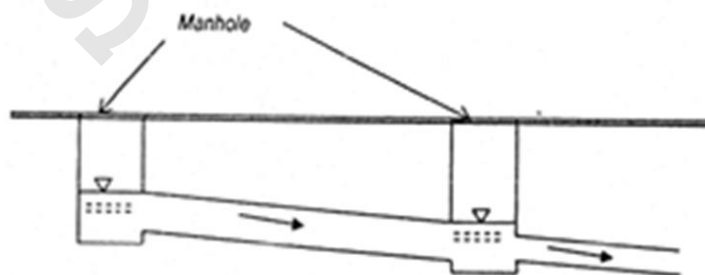
d. *Outlet*

- 1) Struktur Pengendalian Aliran Balik (*Backflow*), harus dilengkapi pada bangunan pelengkap saluran outlet, dengan pengendalian aliran *outlet* termasuk struktur-struktur seperti katup *tidal flaps*, pintu air (*flood gate*), dan katup *duck billed valve*. Struktur-struktur tersebut mengendalikan aliran balik air dari badan air penerima ke dalam sistem drainase saluran tertutup.
- 2) Struktur tersebut bisa disertakan atas berbagai alasan, meliputi:
  - a) Mencegah aliran balik dari pasang-surut air.
  - b) Mencegah aliran kembali lagi dari sungai atau kali, terutama di bawah tanggul.
  - c) Menyediakan pengendalian kualitas air di antara dua bidang.

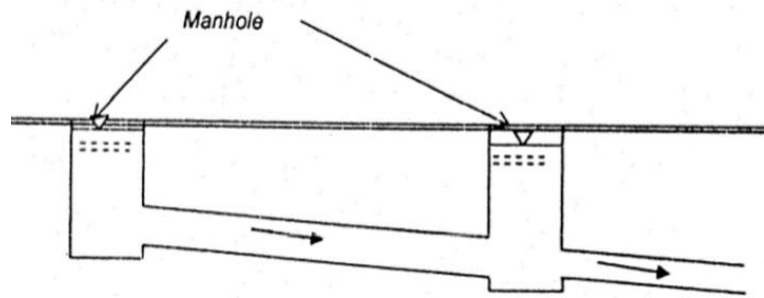
## 8.4 Mendesain Saluran Tertutup

### 8.4.1 Curah Hujan

- a. Jenis saluran tertutup direncanakan sesuai dengan curah hujan rencana. t:
- b. Curah hujan dengan periode ulang 5 tahun: luas penampang basah yang penuh tetapi tanpa adanya pengaruh tekanan akibat perbedaan tinggi muka air, seperti diilustrasikan pada Gambar 8-8.
- c. Curah hujan dengan periode ulang 50 tahun: saluran akan beroperasi dalam kondisi dengan tinggi tekanan akibat perbedaan tinggi muka air dan *manhole* akan terendam penuh, seperti diilustrasikan pada Gambar 8-9.



**Gambar 8-8** Aliran Pengaliran dengan Luas Penampang Penuh dan Tanpa Tekanan



**Gambar 8-9** Kondisi Pengaliran Luas Penampang Penuh dan dengan Tekanan

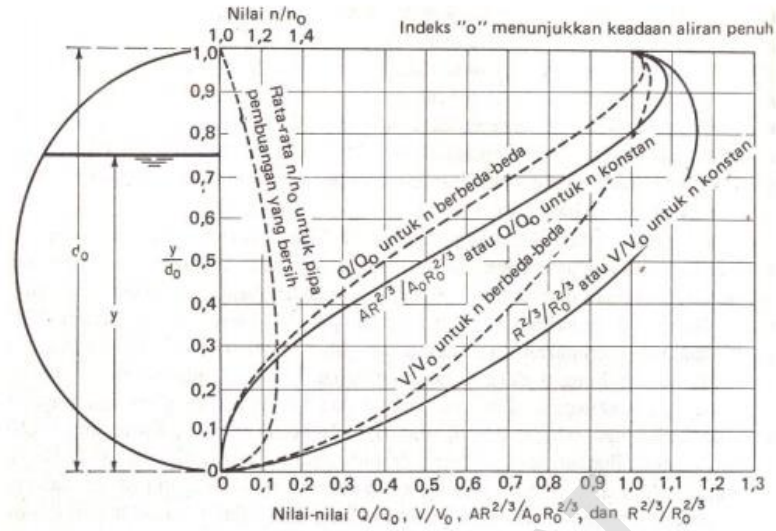
#### 8.4.2 Waktu Pengaliran

- Waktu pengaliran di saluran tertutup dengan rumus nomor. 4, 5 dan 6. Sub-Bab 5.3.1. ( $T_c = t_1 + k t_{ch} + t_2$ )
- Waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)  $t_1$ , menggunakan rumus pada sub bab drainase permukaan
- Waktu untuk mencapai inlet saluran,  $t_{ch}$  dapat diperkirakan dari Gambar 8-10 sampai dengan Gambar 8-11 diagram debit aliran pada saluran bentuk segitiga, box culvert, trapesium, atau pipa menggunakan rumus Manning nomor 4, 5, dan 6 sub-Bab 5.3.1 ( $t_{ch} = \frac{L_1}{V_k}$ ).
- Waktu aliran dalam saluran tertutup sepanjang L dari ujung saluran (menit),  $t_2 = \frac{L}{V}$ , adalah waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran (menit) adalah jarak dari ujung saluran sampai dengan titik yang ditinjau
- V adalah kecepatan air saluran berdasarkan rumus Manning nomor 11 sub-Bab 5.3.3.

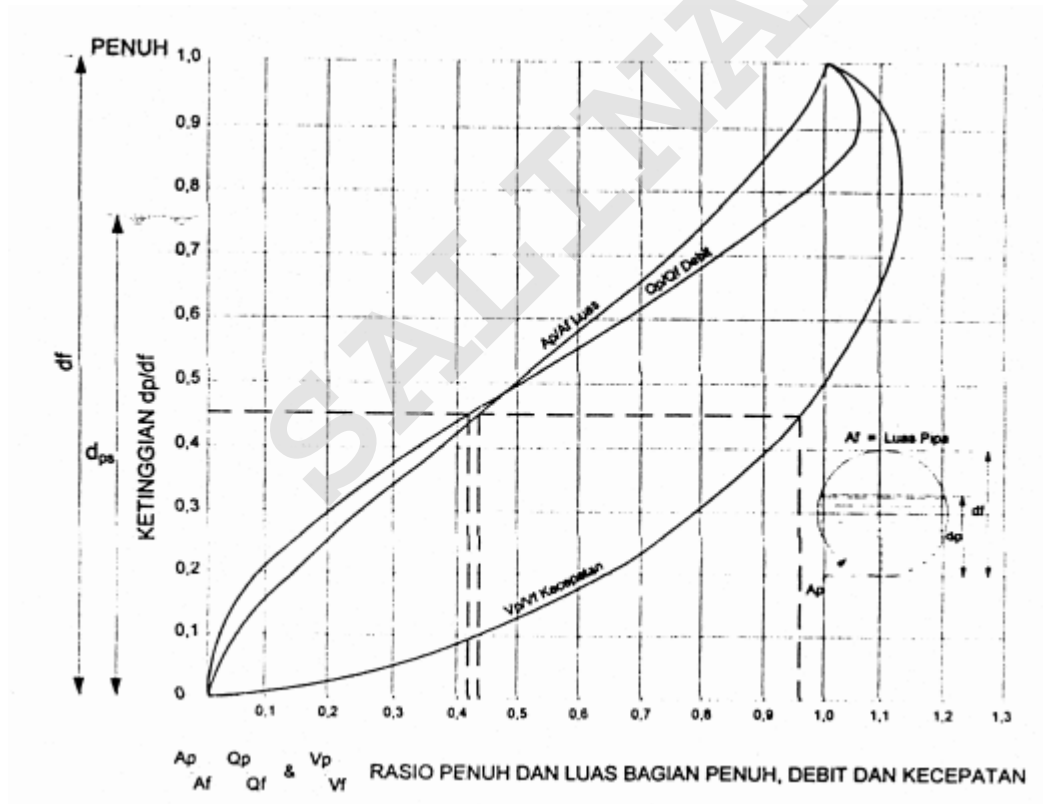
#### 8.4.3 Kapasitas saluran tertutup

- Komponen yang harus diperhitungkan adalah:
  - saluran (gutter)
  - Inlet dan Manhole
  - saluran utama.
- Saluran tertutup direncanakan dengan penampang pipa terisi penuh pada saat hujan rencana, menghitung kapasitas dapat menggunakan Gambar 8-10 dan Gambar 8-11, diagram debit aliran pada box culvert dan pipa.
- Pada daerah berbukit-bukit atau kemiringan tanah yang sangat curam, kadang-kadang pipa direncanakan dengan penampang yang terisi sebagian

dengan menggunakan Gambar 8-11, grafik debit dan kecepatan air dalam pipa yang terisi sebagian.



Gambar 8-10 Dimensi Aliran pada Penampang Lingkaran



Sumber : Pedoman drainase .2006

Gambar 8-11 Debit dan Kecepatan Air dalam Pipa yang Terisi Sebagian

Keterangan:

Af = luas pipa

Ap = Luas arus saat sebagian penuh

Qf = Debit saat pipa penuh

Qp = Debit saat pipa penuh sebagian

Vf = Kecepatan arus saat pipa penuh

Vp = Kecepatan arus saat pipa sebagian penuh

df = Diameter pipa atau ketinggian arus penuh

dp = Ketinggian arus ketika pipa penuh sebagian.

#### 8.4.4 Prosedur Desain

- a. Penentuan jumlah lubang pemasukan yang dipasang untuk mengalirkan air ke dalam saluran tertutup dari side inlet atau dari manhole.

$$\text{Jumlah lubang side inlet} = \frac{\text{debit kapasitas gutter}}{80\% \text{ kapasitas inlet}} \quad 38)$$

- b. Dengan pengertian:

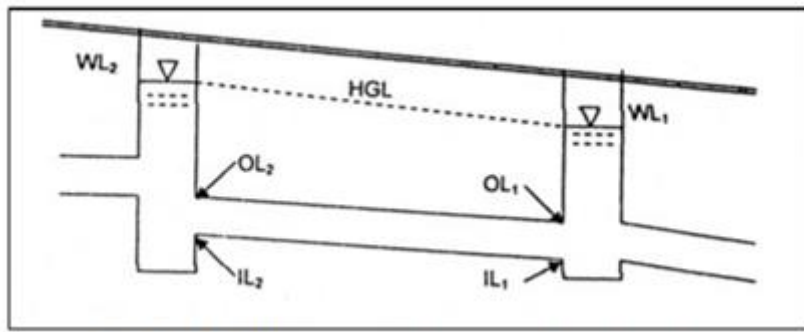
- 1) debit kapasitas gutter diperoleh dari Gambar 8-7 Diagram debit aliran pada saluran bentuk segitiga;
- 2) kapasitas inlet diperoleh dari Gambar 22 kapasitas lubang pemasukan samping
- 3)
- 4) Gambar 6-12

- c. Pada kondisi pengaliran pipa:

- 1) Kapasitas pipa direncanakan dengan asumsi pipa akan terisi penuh pada saat banjir rencana ( $R_5$  tahun).
- 2) Kondisi tertentu/banjir besar ( $R_{50}$  tahun), manhole akan penuh dan aliran dalam pipa akan beroperasi dengan tekanan (*under pressure*) dalam waktu yang singkat.

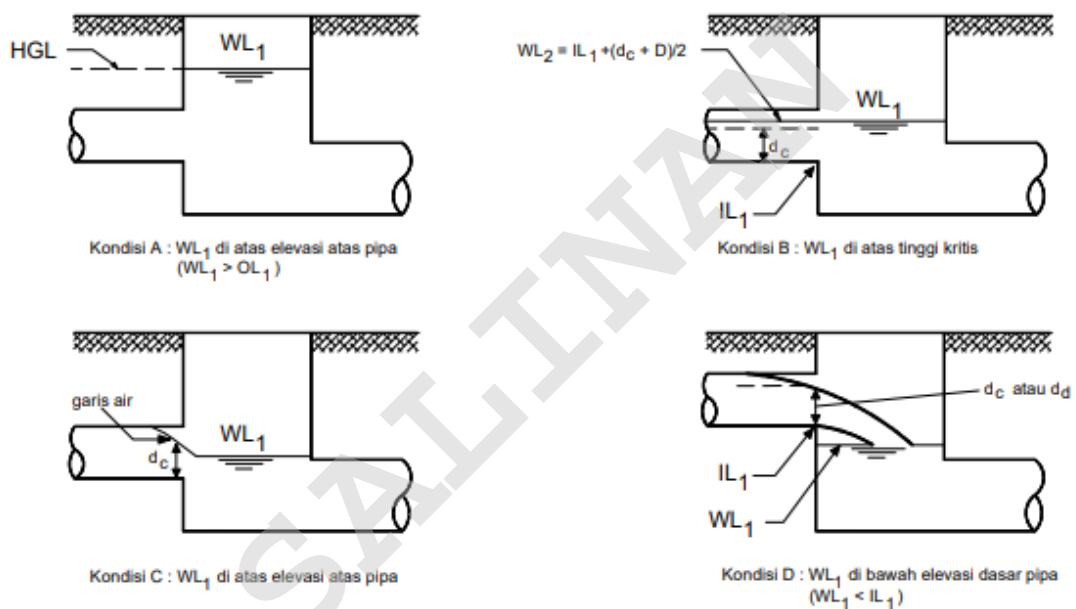
- d. Langkah desain (lihat Gambar 8-12)

- 1) Hitung debit rencana dengan dengan kala ulang 50 tahunan  $Q_{50}$ ;
- 2) Tentukan elevasi dasar pipa bagian hilir ( $IL_1$ ) dan hulu ( $IL_2$ );
- 3) Tentukan elevasi muka air di outlet saluran atau manhole hilir ( $WL_1$ );
- 4) Tentukan diameter pipa ( $D$ ) dan panjang pipa ( $t$ ).



**Gambar 8-12** Komponen Sistem Saluran Tertutup

- e. Perhitungan HGL (*hydraulic grade line*), prosedur perhitungan HGL adalah sebagai berikut, dengan memperhatikan Gambar 8-13.



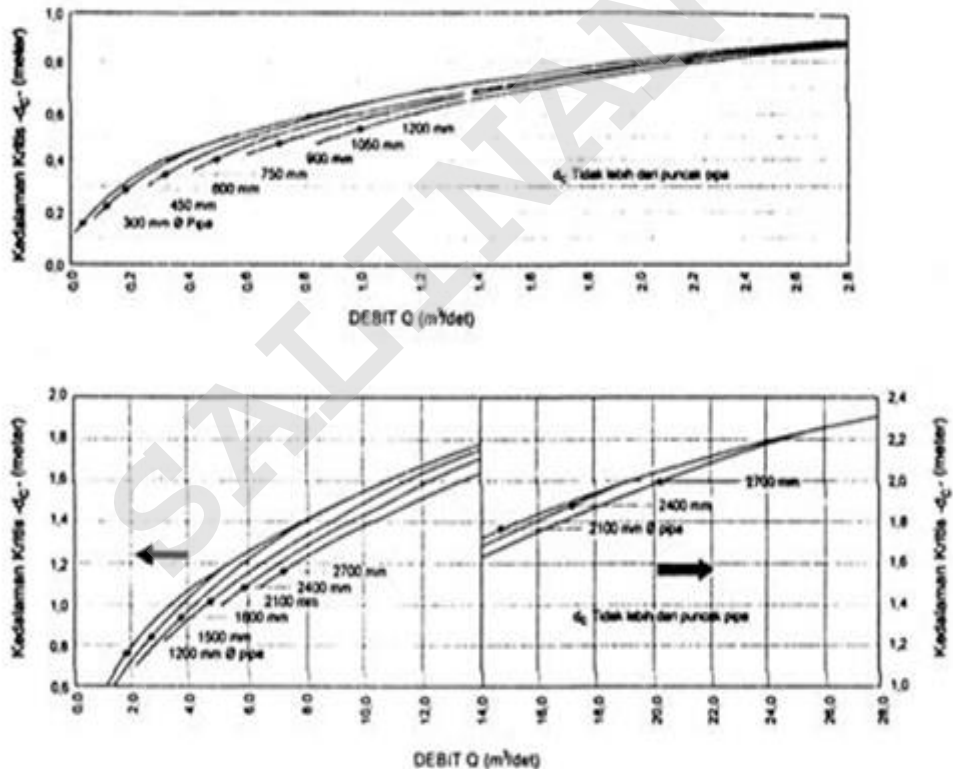
**Gambar 8-13** Kondisi HGL di Hilir Pipa

Keterangan:

- f. Kondisi A :  
 $WL_1$  di atas elevasi atas pipa ( $WL_1 > OL_1$ )  
 Nilai  $WL_1$  sebagai HGL hilir.
- g. Kondisi B :  $WL_1$ , di atas tinggi kritis
- 1) Menggunakan Gambar 6-4 dan Gambar 6-5, Tinggi kritis aliran dalam pipa dan juga atau dalam box culvert.
  - 2) Jika  $WL$ , di atas ( $L_{11} + dc$ ), hitung nilai elevasi :

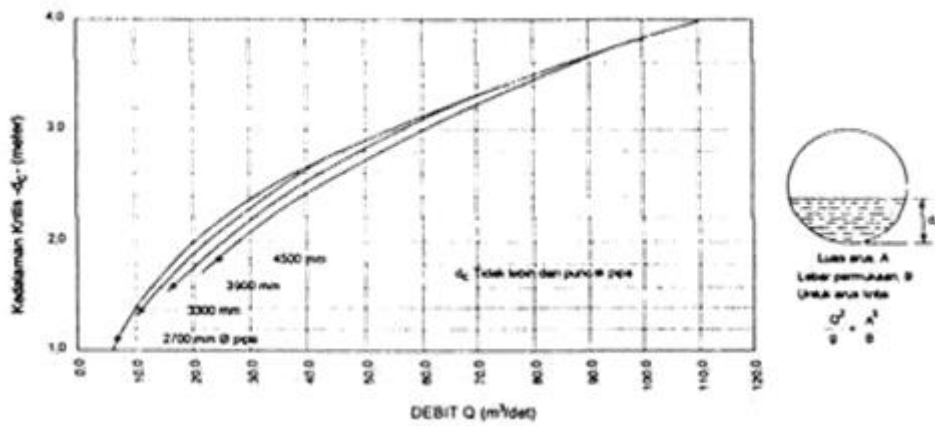
$$WL_2 = IL_1 + \frac{d_c + D}{2} \quad 39)$$

- 3) Nilai HGL hilir diambil dari nilai terbesar  $WL_1$  juga  $WL_2$
- h. Kondisi C :  $WL_1$  di bawah tinggi kritis:
- 1) Hitung nilai  $d_c$  dari Gambar 8-14 dan Gambar 8-15, Tinggi kritis aliran dalam pipa dan juga dalam *box culvert* Gambar 6-1).
  - 2) Jika  $WL_1$  di bawah  $WL_2 = IL_1 + d_c$ , maka nilai HGL= $WL_2$
- i. Kondisi D:  $WL_1$  di bawah elevasi dasar pipa ( $WL_1 < IL_1$ )
- 1) Hitung nilai  $d_c$  dari Gambar tinggi kritis aliran dalam pipa dan juga dalam *box culvert*,
  - 2) Ambil nilai HGL =  $IL_1 + d_c$ , kecuali jika kondisi pengaliran pada pipa yang dicek pada langkah ke-2, beroperasi tanpa tekanan, dan kedalaman air di bawah  $d_c$ , nilai HGL =  $IL_1 + d_p$ .



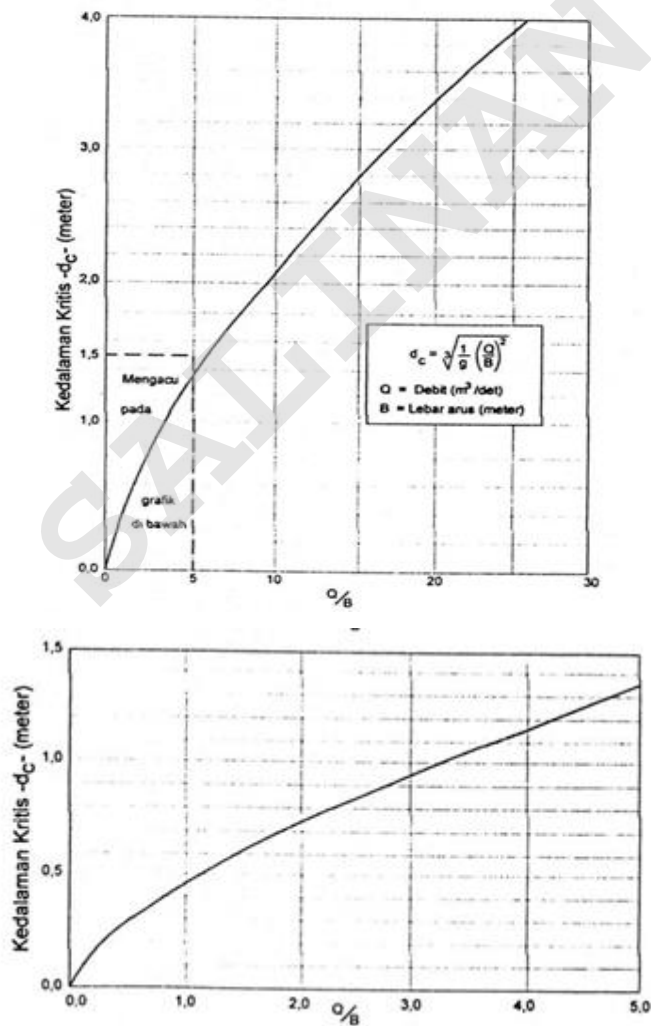
(a) Tinggi kritis aliran dalam pipa





(b) Tinggi kritis aliran dalam pipa

**Gambar 8-14** Tinggi kritis aliran dalam pipa



**Gambar 8-15** Tinggi kritis aliran dalam box culvert

j. Menghitung kehilangan tinggi tekanan karena gesekan dalam pipa (friction losses).

1) Hitung kekasaran relatif dari angka reynold dari pipa dengan rumus

$$e = \frac{k_p}{D} \quad 40)$$

$$N_r = \frac{D \times v}{\nu} \quad 41)$$

Keterangan :

D = diameter pipa (m)

e = kekasaran relatif (m/m)

$k_p$  = angka kekasaran pipa (lihat Tabel 8-2 Nilai kekasaran pipa)

$N_r$  = angka Reynold

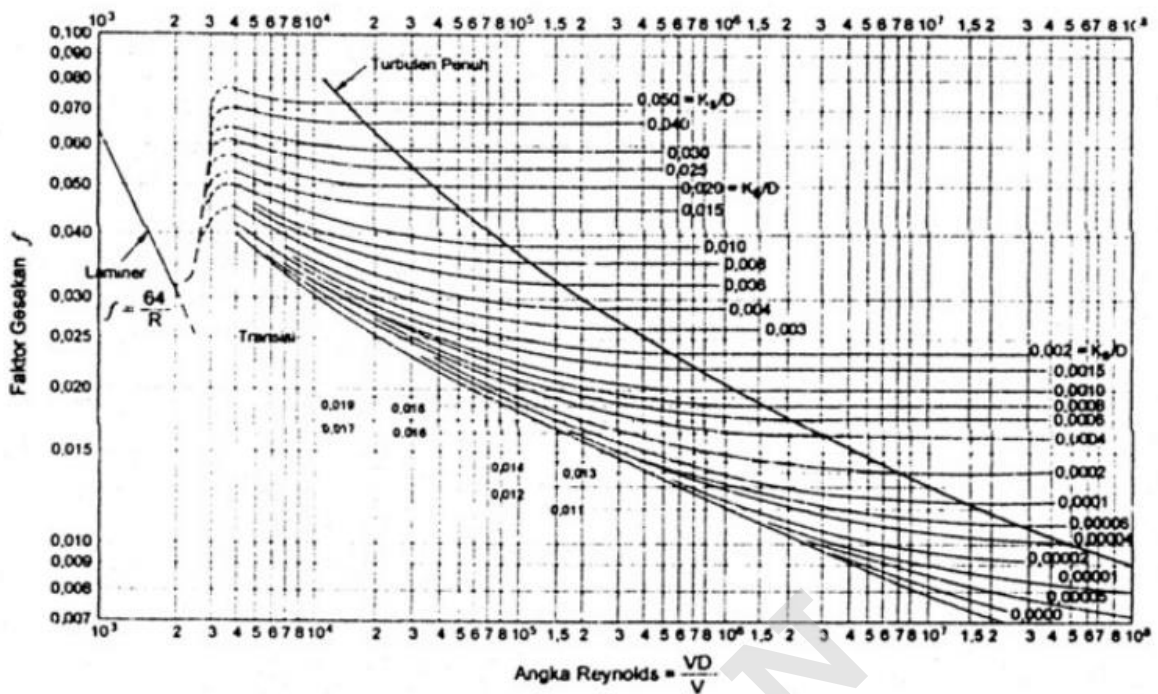
V = rata-rata kecepatan aliran (m/det)

$\nu$  = kinetik viscositas dari air =  $1,0 \times 10^{-5}$  m /det

**Tabel 8-2** Nilai kekasaran pipa ,  $k_p$  (m)

Jenis bahan dan kondisi	Nilai kekasaran pipa ( $k_p$ )
Beton	
Baik	$60 \times 10^{-6}$
Normal	$150 \times 10^{-6}$
Buruk	$600 \times 10^{-6}$
Beton fibre-reinforced	
Baik	$15 \times 10^{-6}$
Norma	$30 \times 10^{-6}$
Plastik	
Sambungan semen	$30 \times 10^{-6}$
Spigot & socket	$60 \times 10^{-4}$

2) Baca nilai faktor kekasaran “f” dari Gambar 8-16 Grafik diagram Moody nilai kekasaran pipa tertekan.



**Gambar 8-16** Diagram “Moody” untuk nilai kekasaran pipa tertekan

- 3) Hitung nilai kehilangan tekanan pada pipa dengan rumus darcy-Weisbach sebagai berikut:

$$h_f = \frac{f \times (L \times V^2)}{2 \times g \times D} \quad (42)$$

Keterangan

- $H_f$  = tinggi tekanan yang hilang (m)
- $f$  = faktor kekasaran (Gambar 8-16)
- $L$  = panjang pipa (m)
- $V$  = kecepatan rata-rata (m/det)
- $g$  = kecepatan gravitasi = 9,81 m/det<sup>2</sup>
- $D$  = diameter pipa (m)

- 4) Hitung elevasi muka air di hulu pipa

$$WL_2 = WL_1 + h_f \quad (43)$$

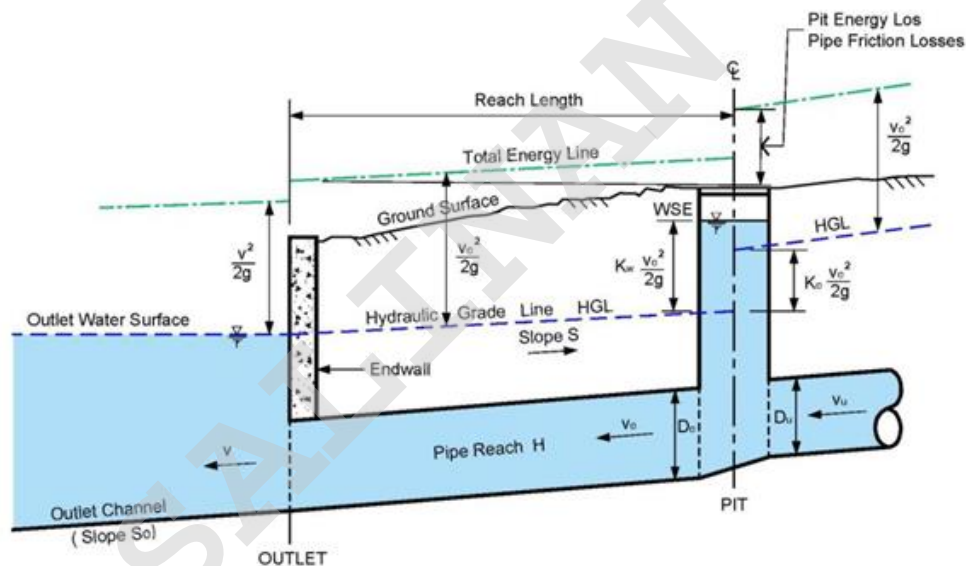
Jika nilai  $WL_2 < IL_2$  : Kondisi yang terjadi adalah pengaliran pipa tekanan:

- a) Menggunakan Gambar 8-2 dan Gambar 8-3 Diagram Debit Aliran box culvert dari atau pipa untuk menghitung nilai QP (penampang penuh).

- b) Menggunakan rasio  $\frac{Q}{QP}$  untuk menghitung  $dp$  dari Gambar 8-11 Debit dan kecepatan air dalam pipa yang terisi sebagian Hitung:

$$WL_2 = IL_2 + dp \quad (44)$$

- k. Menghitung kehilangan energi karena bentuk struktur, terjadi pada saat aliran melewati struktur seperti ruang akses (ruang masuk saluran), sambungan, ujung-ujung, kontraksi, peluasan dan transisi, seperti ditunjukkan pada Gambar 8-17. Struktur-struktur ini dapat menyebabkan kehilangan (energi) yang besar baik pada garis energi maupun garis hidrolis sepanjang struktur tersebut, dan jika tidak diperhitungkan dalam desain, kapasitas saluran mungkin perlu dibatasi.



**Gambar 8-17** Ringkasan ketentuan garis hidrolis (*hydraulic grade line*) dan garis energi (*energy grade line*)

- I. Ketika menerapkan metoda HGL semua kehilangan energi harus diperhitungkan. Kehilangan energi dapat diklasifikasikan sebagai:
- 1) Kehilangan energi karena kekasaran dinding pipa terjadi akibat gaya-gaya antara cairan dan material pipa.
  - 2) Kehilangan energi karena bentuk struktur merupakan hasil dari berbagai struktur hidrolis yang terjadi pada sepanjang saluran tertutup
- m. Struktur-struktur ini, seperti ruang akses (bak inlet, manhole), belokan, kontraksi, peluasan dan transisi, masing-masing parameter ini akan

menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga dan secara potensial akan menyebabkan terjadinya perubahan garis energi dan garis hidrolik sepanjang struktur tersebut. Kehilangan bentuk pada umumnya disebut dengan “kehilangan minor”, Keterangan penyebutan ini bisa sangat menyesatkan karena kehilangan ini bersifat relatif lebih besar gesekannya dibandingkan dengan kehilangan tahanan.

- n. Menghitung Kehilangan Energi karena Kekasaran Dinding Conduit. Kehilangan energi karena kekasaran dinding conduit dihitung sebagai berikut:

$$h_f = L.S_f$$

Dimana: L = panjang saluran tertutup (m)  $S_f$  = Kemiringan garis energi (m/m). Kondisi aliran seragam biasanya diasumsikan sehingga kemiringan garis energi dapat dihitung baik dari persamaan Manning ataupun persamaan Darcy-Weisbach. Turunan dari persamaan Manning untuk  $S_f$  :

$$S_f = \left( \frac{Q n}{A R^{2/3}} \right)^2 \quad 45)$$

Persamaan Darcy-Weisbach bagi aliran saluran terbuka adalah:

$$S_f = \frac{f V^2}{4 R 2 g} \quad 46)$$

Dan bagi aliran bertekanan pada saluran bulat adalah :

$$h_f = \frac{f V^2}{D 2 g} \quad 47)$$

Keterangan:

Q = Aliran ( $m^3/dtk$ )

n = Koefisien kekasaran Manning

A = Area ( $m^2$ )

R = Radius hidraulik = Area/Permeter (m)

f = Faktor gesekan pipa

V = Kecepatan (m/detik)

L = Panjang (m)

D = Diameter (m)

Koefisien kekasaran ditentukan secara awal melalui jenis bahan pipa. Namun, banyak faktor lainnya bisa mengubah nilai berdasarkan pada bahan pipa. Faktor- faktor penting lainnya termasuk jenis sambungan yang digunakan, kesejajaran yang tidak selaras dan kualitas penyelesaian pengerjaan atau

gerakan tanah lateral, kandungan sedimen dan aliran lateral yang mengganggu aliran dalam arus utama.

- o. Metoda yang paling sederhana berdasarkan koefisien kali kecepatan aliran, dengan koefisien berbeda- beda yang ditabulasi untuk ruang akses, belokan, lubang masuk, dan sebagainya. Bentuk umum dari Rumus

Ini adalah:

$$h_L = K \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad 48)$$

Keterangan:

$h_L$  = kehilangan energi (m)

$K$  = koefisien kehilangan energi karena bentuk struktur (lihatlah Gambar 8-18)

$V$  = Kecepatan (m / detik)

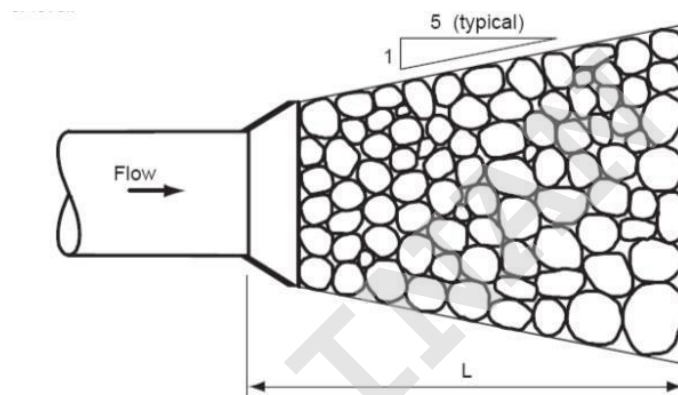
$g$  = percepatan akibat pengaruh gravitasi (9.81m / detik<sup>2</sup>)

<b>a. Elbows</b>		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
<b>b. 180° return bends</b>		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
<b>c. Tees</b>		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
<b>d. Union, threaded</b>		0.08
<b>*e. Valves</b>		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	0.26	
Gate, $\frac{1}{3}$ closed	2.1	
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	$\infty$	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, $\frac{1}{2}$ closed	5.5	
Ball valve, $\frac{3}{4}$ closed	210	
*See Fig. 8.36 for typical valve geometry		

**Gambar 8-18** Tipikal koefisien kehilangan energi (nilai-nilai K) untuk struktur hidraulik

- p. Pengendalian Gerusan saluran Buang (*Outlet*), pengendalian gerusan mungkin diperlukan pada saluran buang untuk mengurangi kecepatan aliran air sebelum aliran air tersebut dibuang ke sungai kecil atau anak sungai, agar risiko erosi dapat dikurangi. Perlindungan saluran buang diperlukan pada saat:
- 1) Kecepatan aliran air di saluran buang melebihi kecepatan gerusan (scour) yang diijinkan bagi jenis materil yang digunakan untuk dasar dan tepi saluran buang;
  - 2) Terjadi pengikisan pada kanal dan tepi saluran buang secara aktif;

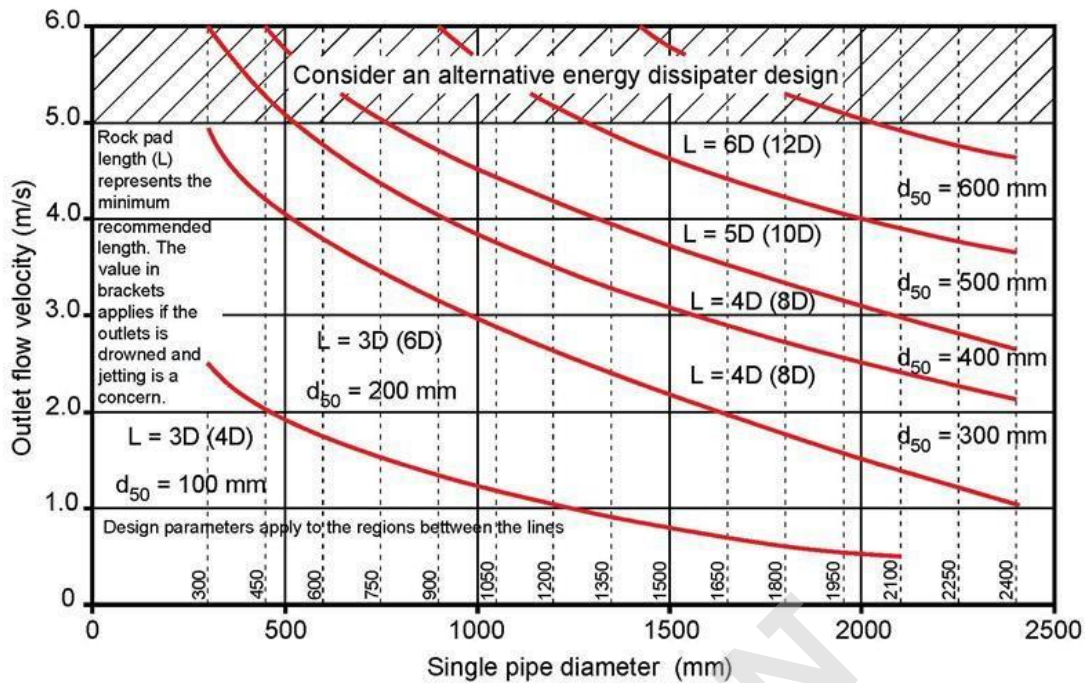
- 3) Terdapat sebuah tekukan atau tikungan pada kanal, pada jarak dekat dari aliran air bagian hilir.
- q. Persyaratan perlindungan dapat terdiri dari sebuah lapisan pelindung (*riprap apron*) sampai pada bangunan peredam energi (*stilling basin*) dan bangunan pelindung dari beton. Dinding pelindung tahan air dari beton diperlukan pada ujung saluran buang untuk mencegah terjadinya kerusakan. saluran buang dari bantalan batu atau saluran buang dari batu kering pada umumnya digunakan untuk gorong-gorong saluran buang.
- r. Konfigurasi umum dari bantalan-bantalan pengendalian gerusan saluran buang ditunjukkan pada Gambar 8-19.



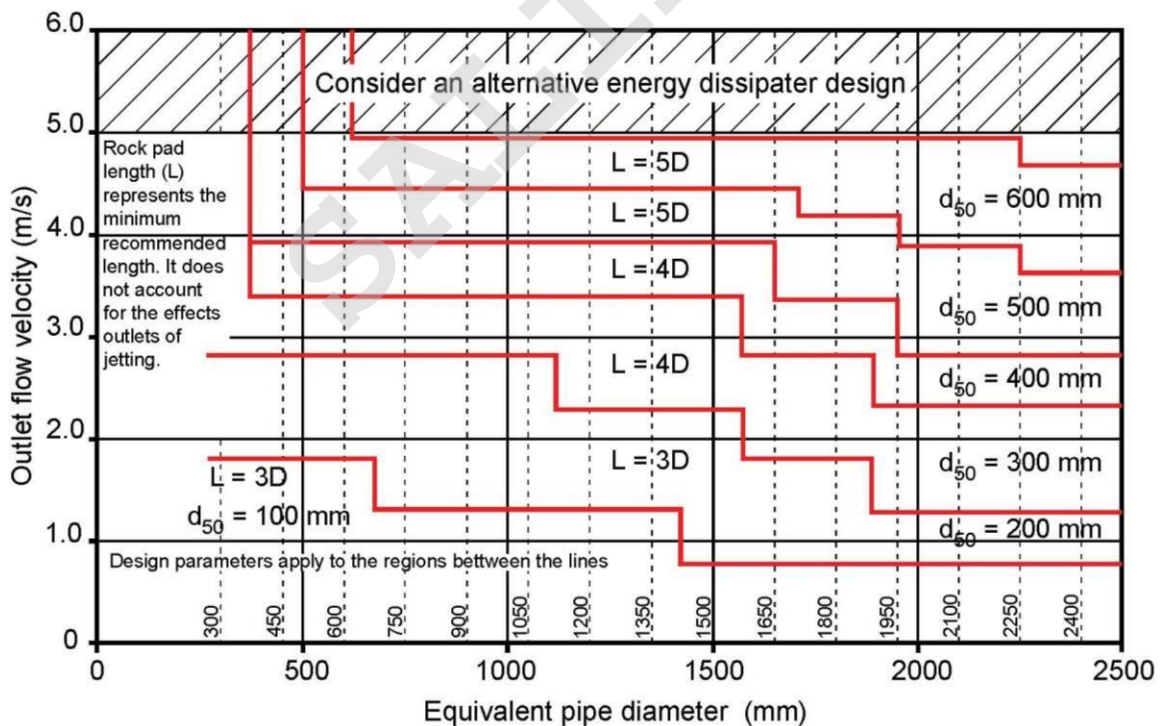
**Gambar 8-19** Konfigurasi umum bantalan batu saluran buang  
(Source: QUDM, 2013)

- s. Gambar 8-20 dan Gambar 8-21 memberikan panduan dalam memilih ukuran rata-rata batu ( $d_{50}$ ) dan panjang dari dissipater ( $L$ ). Harap perhatikan bahwa grafik-grafik desain ini mengasumsikan gravitasi spesifik sebesar 2.6. Jika lebar kanal saluran buang berukuran kurang dari lebar perlindungan batu yang direkomendasikan, maka perlindungan batu harus diperpanjang sampai tepi-tepi baik ketinggian pembukaan pemipaan atau pada desain elevasi muka air bawah (*tailwater level*). Jenis perlindungan ini hanya berlaku untuk lereng-lereng dengan kemiringan kurang dari 10%. (*Hydraulic Design of Energy Dissipaters for Culverts and Channels*) (FHWA, 2006).





**Gambar 8-20** Ukuran dari struktur-struktur batu kering untuk pipa tunggal atau gorong-gorong kotak (QUDM, 2013)



**Gambar 8-21** Ukuran dari struktur-struktur batu kering untuk pipa jamak atau gorong-gorong Kotak (QUDM, 2013)

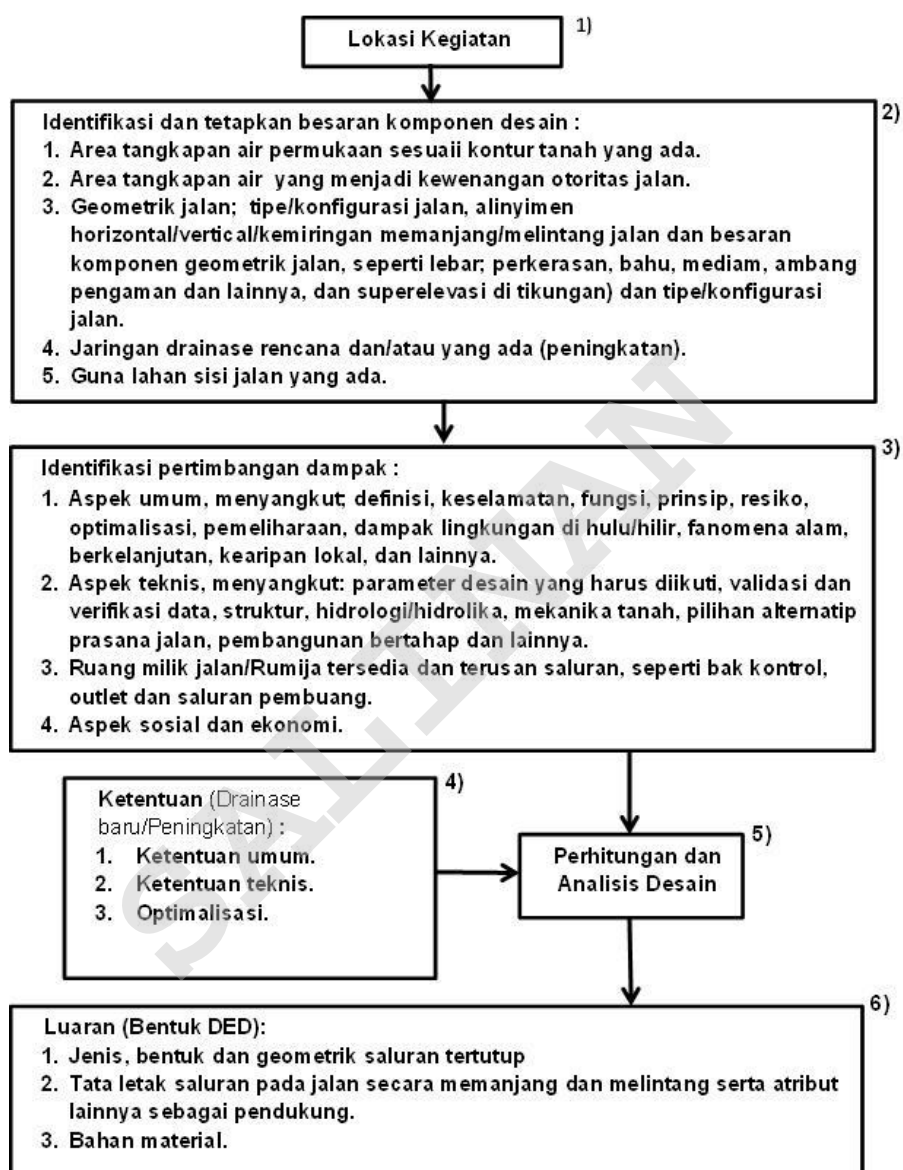
## 8.5 Desain saluran pipa

- a. Pada umumnya, desain drainase pipa dengan metode HGL (*Hydraulic Grade Line*) dilakukan dengan bekerja di hulu dari *outlet* (saluran keluar) karena:
  - 1) *Outlet* ini pada umumnya merupakan satu-satunya titik Keterangan HGL dapat mudah ditentukan.
  - 2) Kehilangan energi pada saluran masuk, penutup-penutup saluran dan sambungan persimpangan dinyatakan sebagai fungsi dari kecepatan di dalam pipa bagian hilir. Maka pipa bagian hilir pada setiap struktur harus didesain sebelum kehilangan energi pada struktur tersebut dapat ditentukan .
- b. Metode di atas dapat digunakan dalam keadaan aliran subkritis, yang pada umumnya merupakan kondisi bisa pada sistem drainase secara umum. Pada saat aliran superkritis terjadi maka, perlu untuk menerapkan sebuah prosedur desain yang dimulai hulu sampai dengan hilir dan prosedur ini sangat penting pada bagian dari sistem drainase yang terletak di medan yang curam atau bergelombang.
- c. Tahapan prosedur perhitungan aliran superkritis adalah sebagai berikut:
  - 1) menilai titik kritis awal atau titik-titik dalam sistem (misalnya titik rendah saluran masuk).
  - 2) memastikan tinggi jagaan minimal yang diijinkan (biasanya 150 mm), sebagai bahan masukan untuk menentukan tinggi permukaan air yang diijinkan di lubang saluran.
  - 3) menentukan diameter pipa dan kedalaman airnya sesuai dengan persyaratan teknis hidrolika dan pertimbangan ekonomi.
  - 4) menghitung HGL dari aliran hilir yang mengalir dimulai dari ketinggian permukaan air yang ditentukan dalam tahap 2 diatas.
- d. Dalam kedua keadaan tersebut prosedur ini bersifat berulang-ulang, karena perhitungan *head loss*, bergantung pada kedalaman aliran. Pengalaman dalam melakukan desain akan membantu mengurangi jumlah iterasi (berulang-ulang).
- e. HGL yang telah dihitung untuk desain aliran harus diletakkan pada bagian membujur dari desain itu. Keterangan berbagai nilai ARI berbeda untuk desain telah diterapkan pada bagian-bagian yang terpisah dari sistem, haruslah diterapkan HGL yang tepat pada bagian dari sistem itu.

## 8.6 Bagai Alir Desain

### 8.6.1 Bagai Alir Proses Desain

- a. Berikut adalah Gambar 8-22, adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain dalam bentuk bagan alir.



Gambar 8-22 Bagan alir desain saluran tertutup

### 8.6.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

Langkah desain drainase saluran tertutup diuraikan sebagai berikut (Gambar 8-22):

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi penetapan:
- 1) No. ruas dan STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan.

- 3) Fungsi dan status jalan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen desain :
- 1) Area tangkapan air hujan sesuai bentuk kontur tanah yang ada.
  - 2) saluran tertutup merupakan saluran terusan dari hulu ke hilir, untuk itu perlunya mengidentifikasi besaran debit air rencana, kecepatan dan ketinggian muka air sebelum masuk ke saluran dan sesudahnya.
  - 3) Identifikasi kemungkinan terjadinya aliran turbulensi dan kecepatan, yang bisa menyebabkan terjadinya; gerusan dan atau sedimentasi.
  - 4) Tipe/konfigurasi jalan dan golongan medan (datar/bukit/pegunungan), meliputi jumlah jalur, lajur, bahu, median dan kemiringan memanjang dan melintang jalan.
  - 5) Beban lalu lintas untuk desain struktur saluran terbuka.
  - 6) Lokasi dan elevasi jaringan drainase yang ada, seperti saluran samping dan saluran pembawa alam/irigasi dan outlet.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan desain :
- 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain menyangkut dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan saluran tertutup seperti diuraikan dalam sub-bab 8.1 pertimbangan umum dan 8.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Pertimbangan asumsi awal menyangkut aspek teknis, seperti:
    - a) Debit rencana/banjir yang mungkin terjadi,
    - b) Area tangkapan hujan dan pola aliran permukaan yang mungkin terjadi.
    - c) Jaringan drainase lerang yang berada di lereng.
    - d) Saluran pembuang (Outlet).
  - 3) Aspek teknis: menyangkut parameter desain yang harus diikuti, kaidah karakteristik aliran air (volume, kecepatan dan waktu konsentrasi), dan dampak erosi/longsor.
  - 4) Data yang valid, terverifikasinya data, dan sumber data dari lembaga tersertifikasi.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan umum dan teknis yang harus diikuti dalam desain drainase tertutup, baik untuk desain drainase baru atau peningkatan:
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase jalan, yang

pada dasarnya desain teknis yang dihasilkan bisa memenuhi aspek keselamatan, kelancaran dan ramah terhadap lingkungan baik di hulu/hilir dan lingkungan setempat:

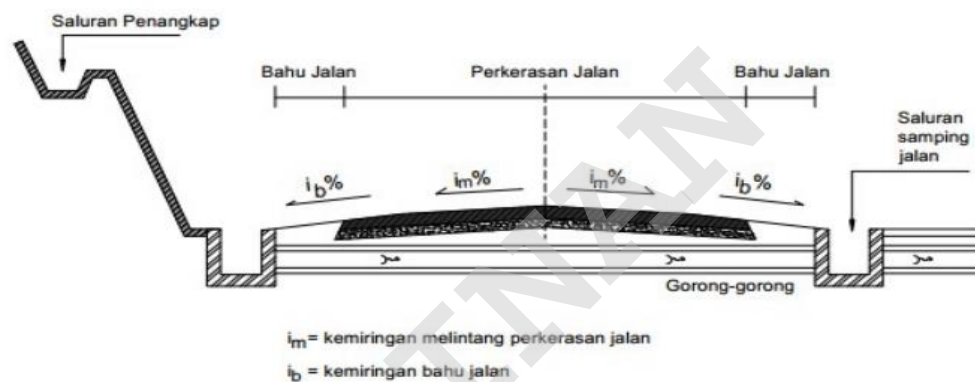
- 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, tata letak bangunan dan memenuhi karakteristik komponen hidrolika, optimalisasi, aspek ini harus tersurat dalam analisa dan luaran desain (DED).
- e. Langkah No. 5, Analisis desain merupakan proses tahapan desain secara analitik maupun empiris/grafik dalam menentukan nilai parameter tertentu untuk menetapkan bentuk dan ukuran serta kapasitas bangunan drainase saluran tertutup. Dalam perhitungan dalam desain drainase tertutup dapat mengikuti prosedur desain (sub bab 8.4.4 dan sub bab 8.5)
- f. Langkah No. 6, Luara: Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain teknis bangunan akhir drainase tertutup pada jalan (DED). DED tersebut, diperuntukan untuk dokumen pembangunan dan juga sebagai arsip di leger jalan.

## **9. Desain Saluran Gorong-Gorong**

### **9.1 Ketentuan Umum**

- a. Gorong-gorong atau struktur saluran melintang (*cross drain*) merupakan saluran pipa relatif pendek yang digunakan untuk mengalirkan air saluran permukaan dari hulu ke hilir akibat air hujan.
- b. Ditempatkan melalui timbunan secara melintang atau membujur jalan.
- c. Harus cukup besar untuk mengalirkan debit air maksimum dari hulu ke hilir secara efisien.
- d. Gorong-gorong berbeda dengan saluran bawah jembatan terutama dalam ukuran/kapasitas dan konstruksi. Gorong-gorong umumnya lebih kecil daripada saluran bawah jembatan.
- e. Desain gorong-gorong harus berinteraksi dengan desain perkerasan jalan, menyangkut konfigurasi jalan, struktur perkerasan jalan dan beban lalu lintas.
- f. Pada kondisi tertentu aliran air yang melintas badan jalan tidak ada saluran lain/alami, atau berbeda elevasinya lebih rendah dari konstruksi jalan maka, dibuatkan gorong gorong.
- g. Gorong-gorong dapat terbuat dari beton atau baja berbentuk persegi atau bundar, sesuai dengan kebutuhan beban luar atau kondisi.

- h. Dibuat dengan tipe permanen, seperti ditunjukkan pada Gambar 9-1. Adapun pembangunan gorong-gorong terdiri dari tiga konstruksi utama, yaitu:
- 1) Pipa kanal air utama yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bagian hulu ke bagian hilir secara langsung;
  - 2) *Apron* (dasar) dibuat pada tempat masuk untuk mencegah terjadinya erosi dan dapat berfungsi sebagai dinding penyekat lumpur;
  - 3) Bak penampung diperlukan pada kondisi:
    - a) Pertemuan antara gorong-gorong dan saluran tepi;
    - b) Pertemuan lebih dari dua arah aliran.



**Gambar 9-1** Bagian konstruksi gorong-gorong

- i. Hidrolik gorong-gorong;  
Ukuran dan jenis gorong-gorong dipilih sesudah ditentukan:
- 1) Debit air yang direncanakan.
  - 2) Lokasi gorong-gorong.
- j. Penggunaan gorong-gorong bulat berganda, jarak antar gorong-gorong dibuat agar adukan pasangan atau beton dapat dengan mudah dikerjakan.
- k. Tebal bantalan untuk pemasangan gorong-gorong, tergantung pada kondisi tanah dasar dan beban yang bekerja di atasnya. Bantalan dapat dibuat dari:
- 1) Beton non structural,
  - 2) Pasir urug.
- l. Urugan minimum di atas gorong-gorong yang diijinkan tergantung dari kekuatan ijin bahan konstruksi gorong-gorong dan beban yang bekerja di atasnya.

- m. Kapasitas gorong-gorong lebih lebar dari saluran di hulu, diharapkan dapat mengurangi kecepatan aliran di dalam gorong-gorong, sehingga bisa mengurangi risiko sedimentasi dan penyumbatan.

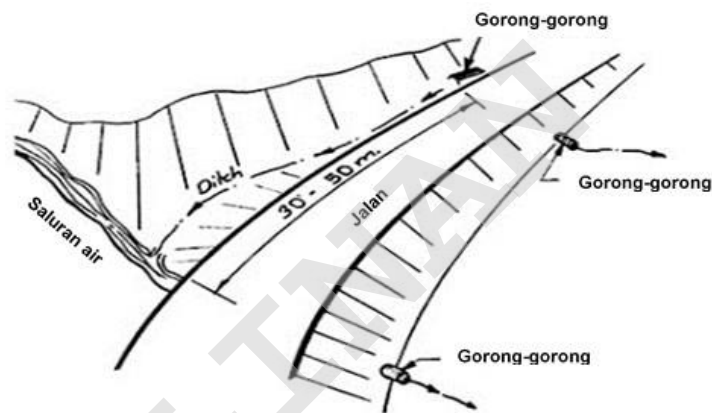
## 9.2 Ketentuan teknis

- a. Jarak antara gorong-gorong secara memanjang jalan:
  - 1) Pada daerah datar maksimum 100 meter.
  - 2) Pada daerah pegunungan besarnya bisa dua kali lebih panjang.
- b. Kemiringan secara memanjang jalan:
  - 1) Berkisar antara 0,5% sampai dengan 2%.
  - 2) Bila terlalu cepat bisa terjadi penggerusan/erosi dan bila terlalu lambat bisa terjadi pengendapan/sedimentasi.
- c. Tipe dan bahan
  - 1) Tipe dan bahan gorong-gorong yang permanen ditentukan dengan mempertimbangkan umur rencana dan periode ulang atau kala ulang hujan.
  - 2) Desain/kapasitas gorong-gorong disesuaikan dengan debit air hujan rencana sesuai fungsi jalan tempat gorong-gorong berlokasi, yaitu:
    - a) Jalan bebas hambatan : 25 Tahun
    - b) Jalan arteri : 10 Tahun
    - c) Jalan kolektor : 7 Tahun
    - d) Jalan lokal : 5 Tahun
- d. Bak kontrol
  - 1) Untuk daerah-daerah tertentu, bak kontrol dibuat/direncanakan sesuai dengan karakteristik kondisi setempat.
  - 2) Kepentingan pemeliharaan, bak kontrol mudah dibuka dan/atau dibersihkan.

### 9.2.1 Dimensi Gorong-Gorong

- a. Dalam perhitungan dimensi gorong-gorong mengambil asumsi sebagai saluran terbuka. Perhitungan dimensi gorong-gorong harus memperkirakan debit-debit yang masuk gorong-gorong tersebut.
- b. Dimensi gorong-gorong minimum dengan diameter 80 cm tergantung tipe, kedalaman gorong-gorong dari permukaan jalan dengan kedalaman minimum 1,0 sampai dengan 1,5 m dari permukaan jalan.

- c. Ukuran minimum gorong-gorong:
- 1) Gorong-gorong yang menyeberang di bawah jalan setempat, dipersyaratkan lebar dalam dan kedalaman bersih minimum sebesar 900 mm. (Untuk mengantisipasi pemeliharaan diusulkan kedalaman bersih minimum sebesar 1.000 mm).
  - 2) Gorong-gorong yang menyeberang di bawah jalan bebas hambatan, dipersyaratkan lebar dalam dan kedalaman bersih minimum sebesar 1200 mm.
  - 3) Jarak antara gorong-gorong secara melintang jalan lihat Gambar 9-2, antara 30 s/d 50 meter.



**Gambar 9-2** Jarak antara gorong-gorong

### 9.2.2 Kecepatan Aliran Minimum

- a. Untuk mendorong pembersihan sendiri dan meminimalkan pembentukan sedimen, gorong-gorong hendaknya dirancang untuk menjamin kecepatan aliran minimum sebesar 0,5 m/det pada saat pipa penuh.
  - 1) Kecepatan minimum dalam gorong-gorong 0,6 m/detik agar tidak terjadi sedimentasi.
  - 2) Kecepatan maksimum yang akan diterapkan untuk gorong-gorong adalah 0.7 m/detik.
- b. Kecepatan maksimum yang keluar dari gorong-gorong, untuk berbagai macam kondisi material saluran di hilir gorong-gorong agar tidak terjadi erosi pada saluran ditunjukkan pada Kecepatan keluaran rata-rata yang melebihi kecepatan maksimum yang diijinkan seperti pada Tabel 9-1, ini maka harus



diberikan beberapa jenis perlindungan keluaran atau dengan bangunan peredam energi ataupun pencegah erosi pada daerah hilir gorong-gorong.

- c. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan keluaran adalah kemiringan dan kekasaran gorong-gorong.
- d.
- e. Tabel 9-1.
- f. Kecepatan keluaran rata-rata yang melebihi kecepatan maksimum yang diijinkan seperti pada Tabel 9-1, ini maka harus diberikan beberapa jenis perlindungan keluaran atau dengan bangunan peredam energi ataupun pencegah erosi pada daerah hilir gorong-gorong.
- g. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan keluaran adalah kemiringan dan kekasaran gorong-gorong.

**Tabel 9-1** Kecepatan aliran maksimum pada gorong-gorong

Kondisi material dasar saluran	V maksimum, Vg (m/detik)
Lumpur	< 0.3
Pasir	< 0.3
Pasir kasar	0.4-0.6
Gravel	
0 > 6 mm	0.6-0.9
0 > 25 mm	1.3-1.5
0 > 100 mm	2.0-3.0
Lempung	
Lunak	0.3-0.6
Kenyal	1.0-1.2
Keras	1.5-2.0
Batu-batuan	
0 > 150 mm	2.5-3.0
0 > 300 mm	4.0-5.0

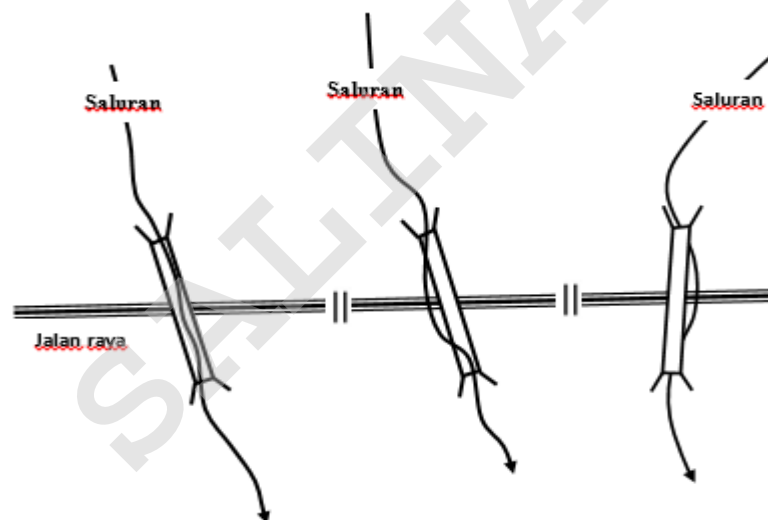
### 9.2.3 Kapasitas gorong-gorong

- a. Kasitas gorong gorong hendaknya ditentukan sesuai dengan prosedur yang dijelaskan dalam sub-bab 8.4.

- b. Bila secara teknis dan biaya layak, maka debit aliran gorong-gorong harus direncanakan 1,50 kali debit saluran hulunya.

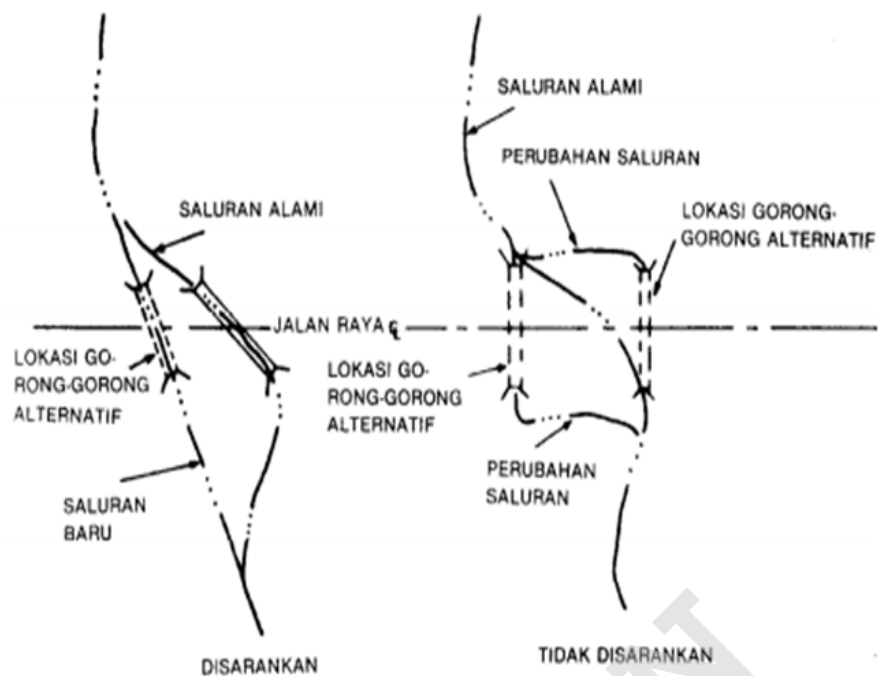
#### 9.2.4 Kondisi aliran

- a. Perilaku aliran melalui gorong-gorong bervariasi tergantung pada apakah inlet dan/atau outlet terendam atau tidak.
- b. Lokasi penempatan gorong-gorong pada dasarnya mencakup aliran yang akan terjadi dalam melintasi tegak lurus jalan. Secara ideal gorong-gorong harus ditempatkan dalam saluran alami (Gambar 9-3)
- c. Aliran dalam gorong-gorong tidak boleh terjadi turbulensi, ini bisa disebabkan karena: saluran sebelumnya masih melengkung dan ujung apron tidak smute (*streamlined line*). Untuk menghindari terjadinya aliran turbulensi, maka:
  - 1) Perpotongan dengan jalan harus saling tegak lurus.
  - 2) Ujung apron bagian hulu harus bidang yang smute (*streamlined line*)



**Gambar 9-3** Gorong Gorong Sebagai Saluran Alami

- d. Apabila lokasi dalam saluran alami akan memerlukan gorong-gorong yang panjang tak teratur, maka beberapa modifikasi arus harus dilakukan (Gambar 9-4). Modifikasi yang mengurangi bagian miring dan memperpendek gorong-gorong, harus dirancang dengan baik untuk menghindari masalah erosi dan lumpur.



**Gambar 9-4** Metode penempatan gorong-gorong keterangan lokasi dalam saluran alami akan memerlukan gorong-gorong yang terlampaui panjang

### 9.2.5 Selubung

- Selubung adalah jarak dari tepi atas gorong-gorong ke permukaan (tanah).
- Untuk gorong-gorong di bawah perkerasan jalan, selubung pipa adalah jarak dari tepi atas gorong-gorong ke permukaan tanah dasar di bawah perkerasan. Selubung minimum biasanya ditentukan sebesar 600 mm.
- Kedalaman selubung sebesar 300 mm bisa ditentukan pada lahan milik pribadi atau di bawah ruang terbuka yang hanya dilintasi lalu lintas sesaat saja/ringan.

### 9.2.6 Penyumbatan

- Penyumbatan gorong-gorong mungkin terjadi karena puing-puing beserta pengendapan di gorong-gorong.
- Dampak potensi penyumbatan hendaknya dipertimbangkan dalam kapasitas rencana gorong-gorong.
- Faktor-faktor penyumbatan sebagaimana teridentifikasi dalam Tabel 9-2 hendaknya dalam menentukan kapasitas pembuangan (*discharge capacity*).

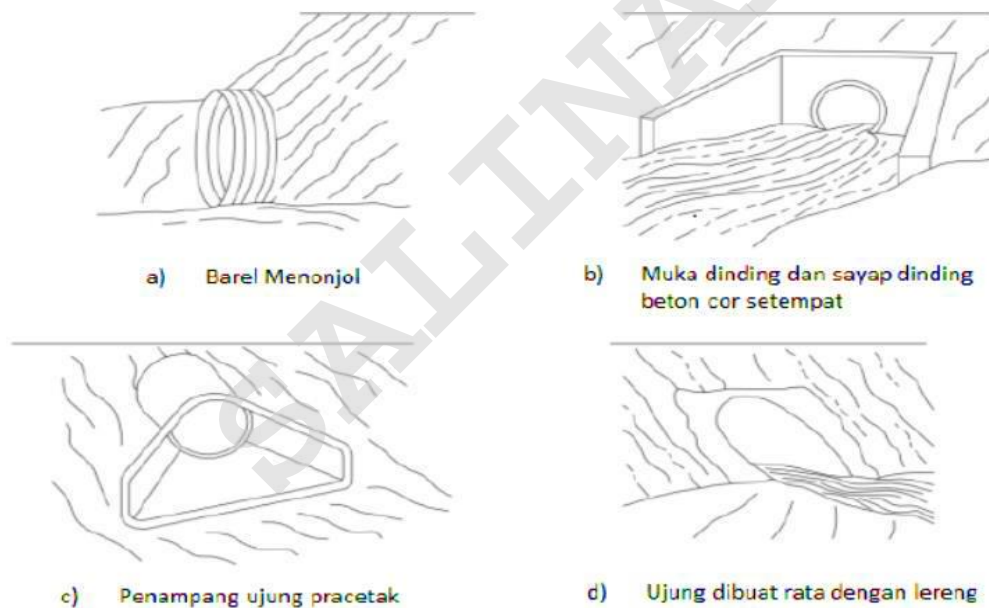
**Tabel 9-2** Faktor-faktor penyumbatan untuk diterapkan pada gorong-gorong

Ukuran Gorong-gorong	Faktor Penyumbatan*
Lebar < 5m atau Tinggi < 3m	20%
Lebar > 5m dan Tinggi >3m	10%
Handrails	50%

\* Penyumbatan diterapkan dari dasar gorong-gorong ke atas.

### 9.2.7 Struktur *inlet* dan *outlet*

- Struktur *inlet* dan *outlet* disediakan untuk mengarahkan aliran antara saluran terbuka dan gorong-gorong.
- Tipikal struktur yang dimaksud ditunjukkan dalam Gambar 9-5. Untuk outlet ketentuan teknis mengacu pada sub-bab 8.2.5 Outlet



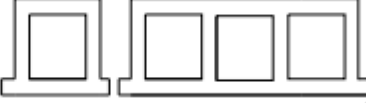


**Gambar 9-5** Struktur tipikal out/et (DID, 2012)

### 9.2.8 Tipe dan jenis gorong-gorong

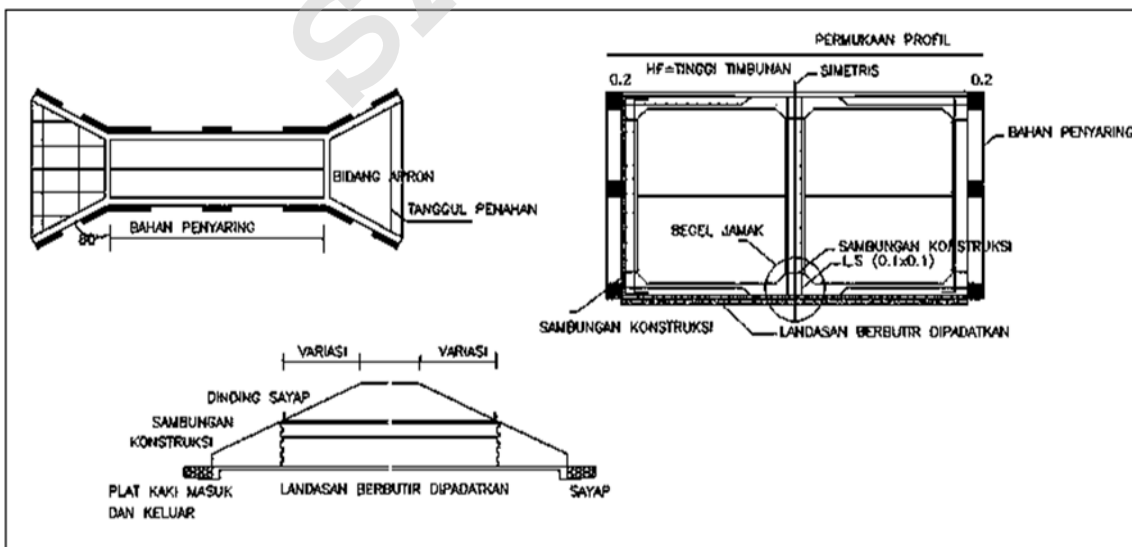
- Tipe penampang gorong-gorong terdapat pada Tabel 9-3.

Tabel 9-3 Tipe penampang gorong-gorong

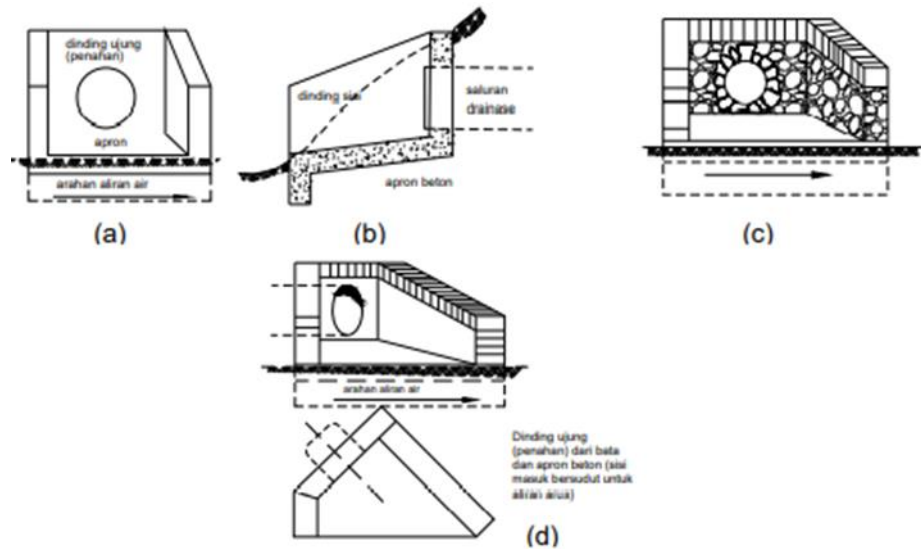
No	Tipe Gorong-gorong	Potongan Melintang	Bahan Yang Dipakai
1.	Pipa tunggal atau lebih		Metal gelombang, beton bertulang atau beton tumbuk, besi cor dan lain-lain.
2.	Pipa lengkung tunggal atau lebih		Metal gelombang
3.	Gorong-gorong persegi ( <i>Box Culvert</i> )		Beton bertulang

### 9.2.9 Tembok kepala (*head wall*) dan tembok sayap (*wing wall*)

- Pemasangan tembok sayap dan kepala pada gorong-gorong dimaksudkan untuk melindungi gorong-gorong dari bahaya longsor tanah yang terjadi di atas dan samping gorong-gorong akibat adanya erosi air atau beban lalu lintas yang berada di atas gorong-gorong.
- Beberapa tipe gorong-gorong, seperti ditunjukkan pada Gambar 9-7.



Gambar 9-6 Gorong-gorong persegi (*box culvert*) dari beton bertulang



Keterangan: (a) dan (b) dinding ujung gorong-gorong, dinding sisi dan apron beton, (c) Dinding ujung gorong-gorong batu, (d) Dinding ujung gorong-gorong bata dan apron beton ( Pemasukan menyudut pada aliran)

**Gambar 9-7** Beberapa tipe gorong-gorong

### 9.3 Komponen Desain

- Luas area tangkapan air hujan yang terkonsentrasi gorong-gorong, sub bab 7.3
- Lebar lahan yang tersedia.(pengukuran langsung dilapangan)
- Intensitas Hujan., sub bab 5.3.1
- Debit aliran, sub bab 5.3.1.
- Waktu pengaliran, sub bab 8.4.3
- Faktor penyumbatan, sub bab 9.2.6
- Struktur inlet dan outlet, sub bab 9.2.7
- Tipe dan jenis gorong-gorong, sub bab 9.2.7
- Aliran saluran masuk yang dikendalikan (*Inlet Controlled*), sub bab 9.4.2
- Aliran saluran buang yang dikendalikan (*outlet Controlled*), sub bab 9.4.3.

### 9.4 Mendesain Saluran Gorong-Gorong

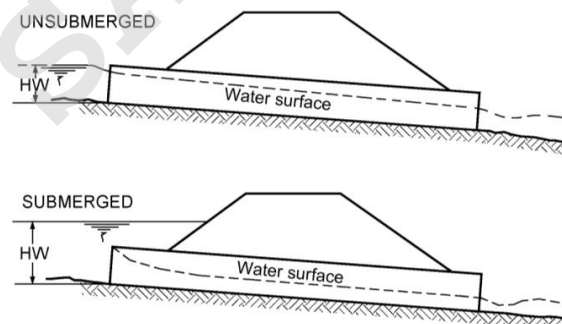
#### 9.4.1 Kondisi-kondisi Aliran

- Gorong-gorong merupakan struktur-struktur hidrolik yang sangat kompleks, disebabkan karena banyaknya parameter yang mempengaruhi pola aliran air di dalam gorong-gorong tersebut.
- Terdapat dua jenis utama keadaan aliran gorong-gorong:

- 1) Saluran masuk yang dikendalikan (*Inlet Controlled*)
  - 2) Saluran buang yang dikendalikan (*Outlet Controlled*)
- c. Tidak selalu jelas pola aliran apa yang akan terjadi pada gorong-gorong, dengan demikian aliran air (kecepatan aliran) yang dikendalikan pada kedua saluran masuk dan saluran buang harus dinilai dengan aliran air (kecepatan aliran) yang lebih kecil dari kedua estimasi aliran yang akan diterapkan (dimensi gorong-gorong yang diperlukan akan lebih besar jika kecepatan ijin kecil).

#### 9.4.2 Aliran Saluran Masuk Yang Dikendalikan (*Inlet Controlled*)

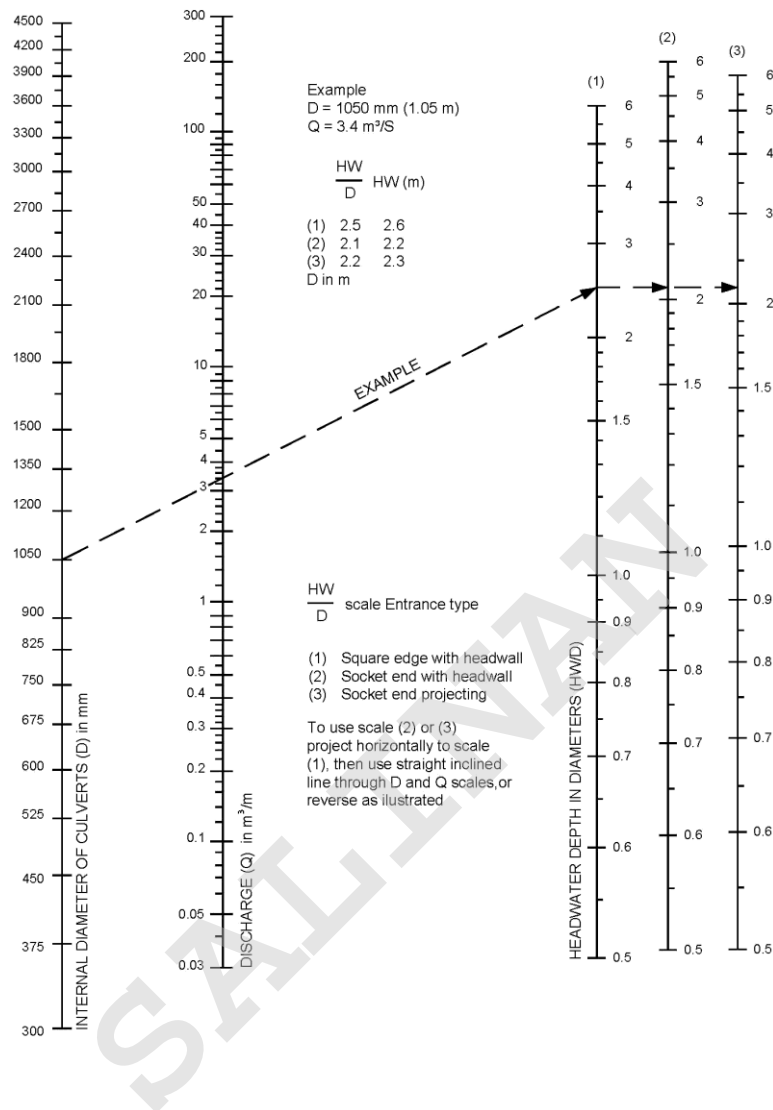
- a. Dibawah kondisi aliran saluran masuk yang dikendalikan, aliran yang melewati gorong-gorong diatur oleh volume air yang dapat masuk ke dalam saluran masuk pada ketinggian (*level*) dari *headwater* (*HW*) yang sudah ditentukan.
- b. Pembuangan air itu dikendalikan oleh kedalaman *head water* (*HW*) di atas saluran masuk, ukuran gorong-gorong dan geometri gorong-gorong. Pembuangan air itu hanya dipengaruhi secara minimal oleh kondisi-kondisi yaitu panjang gorong-gorong, kekasaran dinding dalam culvert, dan lereng atau saluran buang. Air di gorong-gorong tidak mengalir secara penuh pada setiap titik, kecuali jika pada pintu saluran masuk gorong-gorong berada dalam keadaan tenggelam.
- c. Kondisi aliran air pada saluran masuk digambarkan pada Gambar 9-8.



**Gambar 9-8** Aliran air di gorong-gorong – *Inlet controlled* (CPAA, 1983)

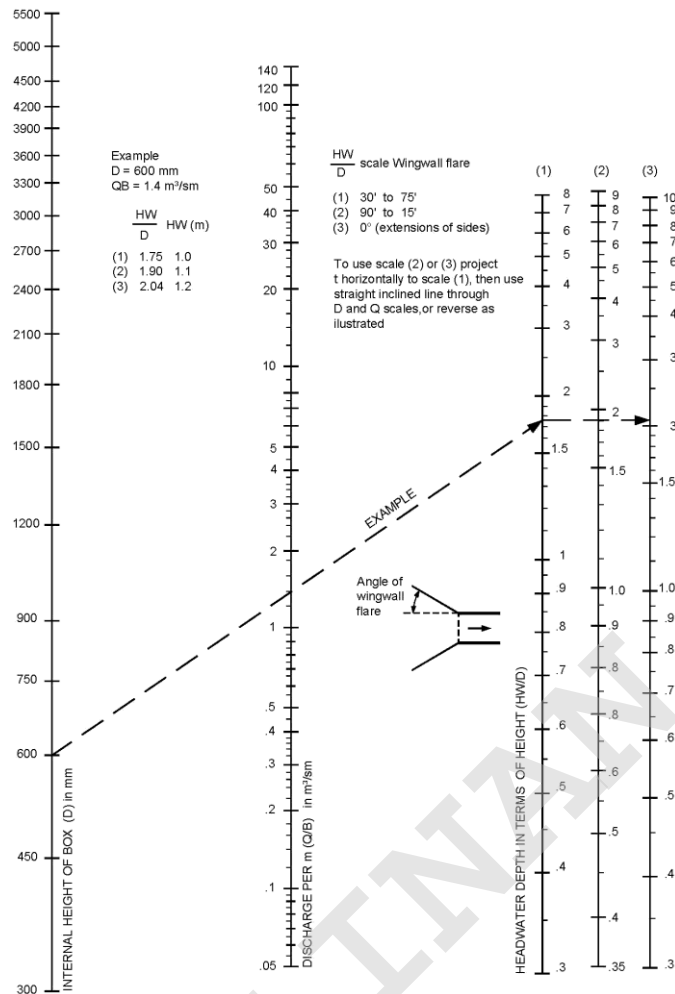
- d. Hubungan antara debit air, diameter dan kedalaman *head water* untuk gorong-gorong berbentuk lingkaran yang didesain dengan sistem *Inlet Controlled*, ditunjukkan pada
- e.
- f.
- g. Gambar 9-9.

- h. Hubungan yang sama untuk gorong-gorong persegi ditunjukkan pada  
 i. Gambar 9-10.



**Gambar 9-9** Aliran Air di gorong-gorong berbentuk lingkaran – *Inlet Controlled* (CPAA, 1983)

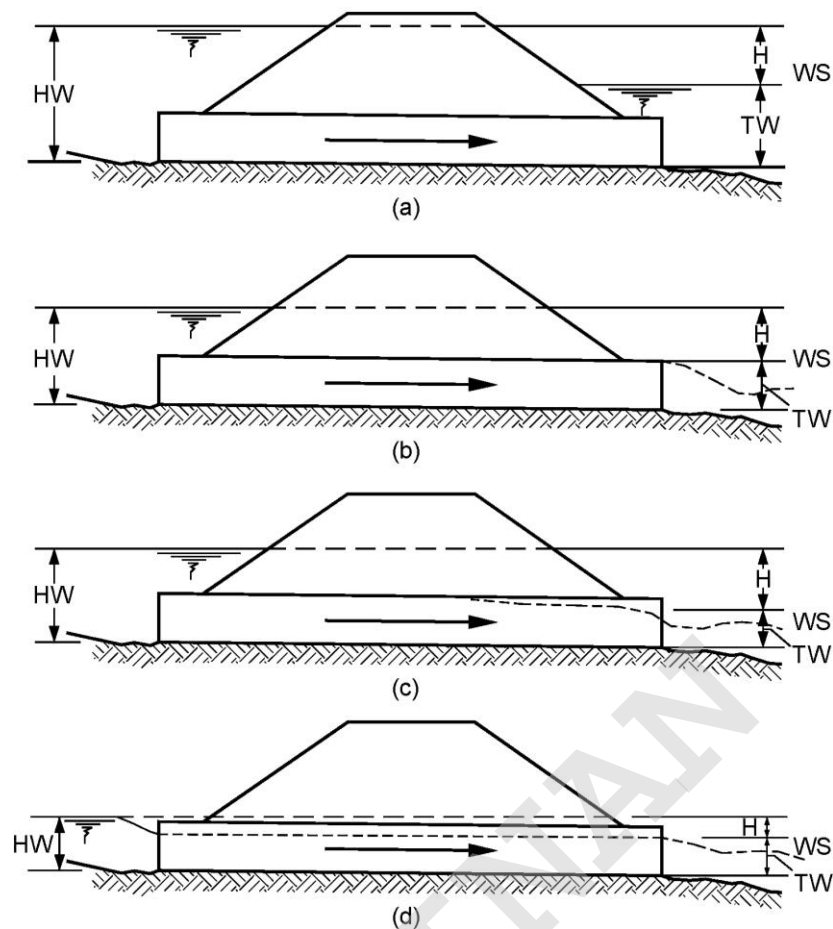




**Gambar 9-10** Aliran air gorong-gorong berbentuk persegi panjang, *Inlet Controlled* (CPAA, 1983)

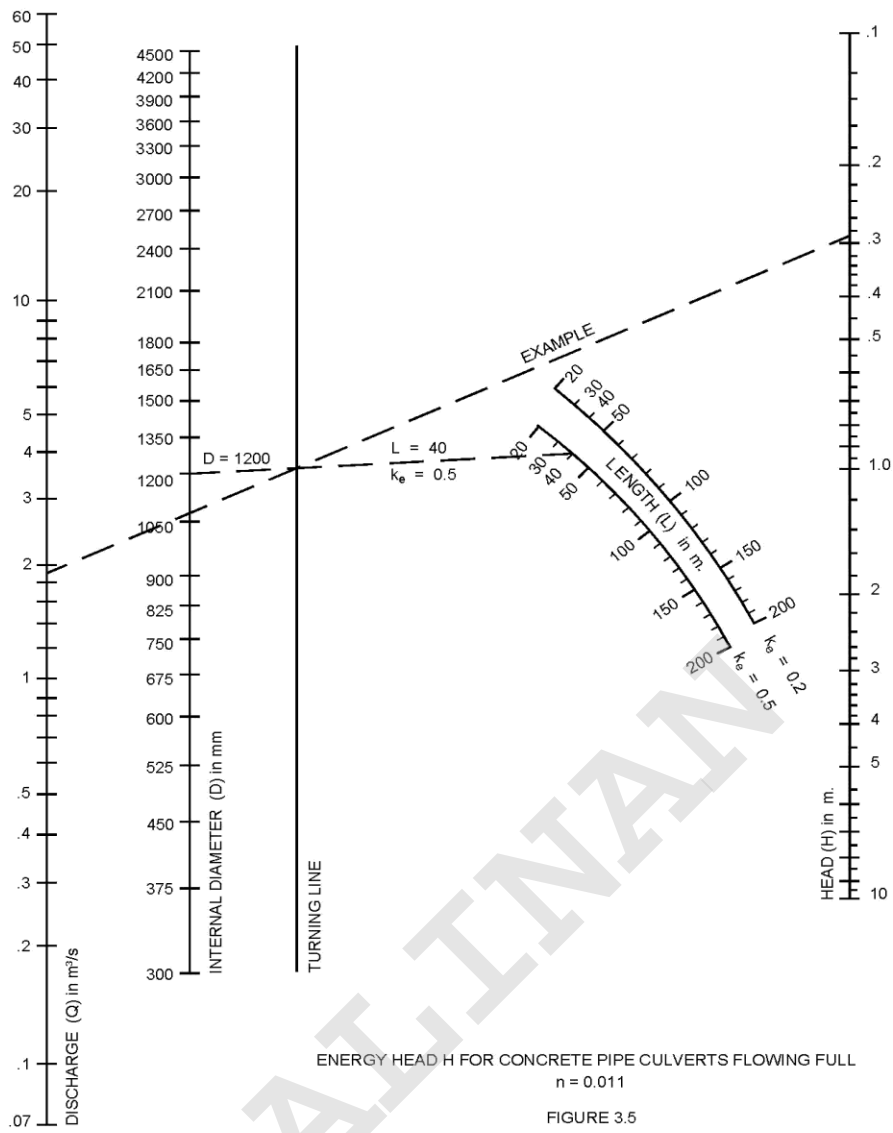
### 9.4.3 Aliran Saluran Buang Yang Dikendalikan (*Outlet Controlled*)

- Dibawah kondisi aliran saluran buang yang dikendalikan, aliran yang melewati gorong-gorong diatur oleh volume air yang dapat melewati gorong-gorong dan keluar dari struktur dengan elevasi *tailwater* yang ditentukan.
- Pembuangan debit air dipengaruhi oleh kondisi-kondisi seperti panjang, kemiringan, kondisi kekasaran dan saluran buang serta kedalaman *headwater*.
- Ukuran gorong-gorong, dan geometri gorong-gorong. Air dapat mengalir secara penuh atas sebagian panjang gorong-gorong atau sepanjang gorong-gorong.
- Kondisi-kondisi aliran saluran buang digambarkan dalam Gambar 9-11.

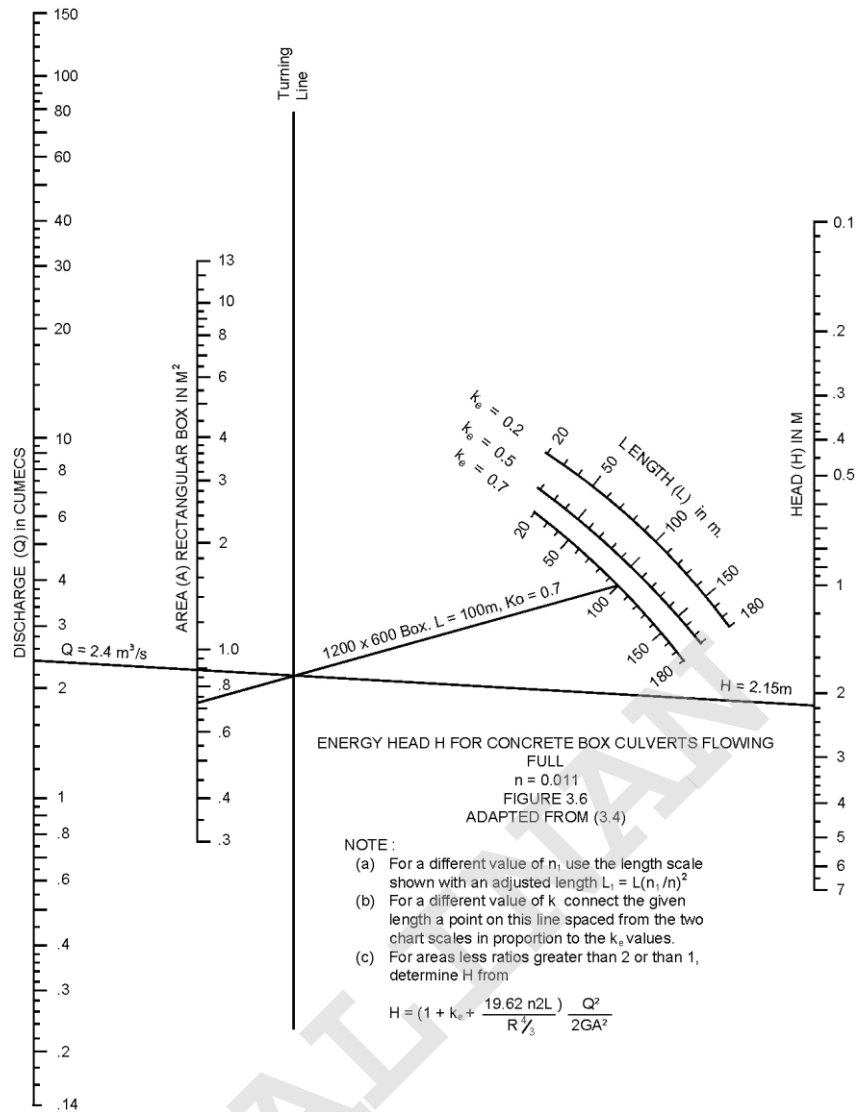


**Gambar 9-11** Aliran Air di gorong-gorong – *Outlet Controlled*  
(CPAA, 1983)

- e. Gorong-gorong yang mengalirkan air di bawah kondisi *outlet controlled*, yang mungkin dapat mengalirkan air secara penuh (terendam), secara penuh sepanjang gorong-gorong, penuh untuk sebagian dari panjangnya, atau tidak penuh sama sekali, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-11 a, b, c, dan d masing-masing.
- f. Pada kasus a dan b, ketika gorong-gorong dialiri secara penuh merupakan contoh paling sederhana dari saluran buang yang dikendalikan. Hubungan antara debit air yang dibuang, ukuran gorong-gorong, panjang gorong-gorong dan kepala gorong-gorong untuk kasus-kasus ini ditampilkan dalam Gambar 9-12 untuk gorong-gorong berbentuk lingkaran dan
- g. Gambar 9-13 untuk gorong-gorong persegi panjang.
- h. Pada keadaan c dan d diperlukan perhitungan yang kompleks, yang berada di luar lingkup pedoman ini. Rujukan tentang hal ini dapat diambil dari Desain Hidrolik Seri Nomor 5 – Desain Hidrolik Pada Gorong-gorong Jalan Raya (*Hydraulic Design Series Number 5 – Hydraulic Design of Highway Culverts*) (FHWA, 2005),.



Gambar 9-12 Aliran Air di Gorong-Gorong Berbentuk Lingkaran – *Outlet Controlled* (CPAA, 1983)

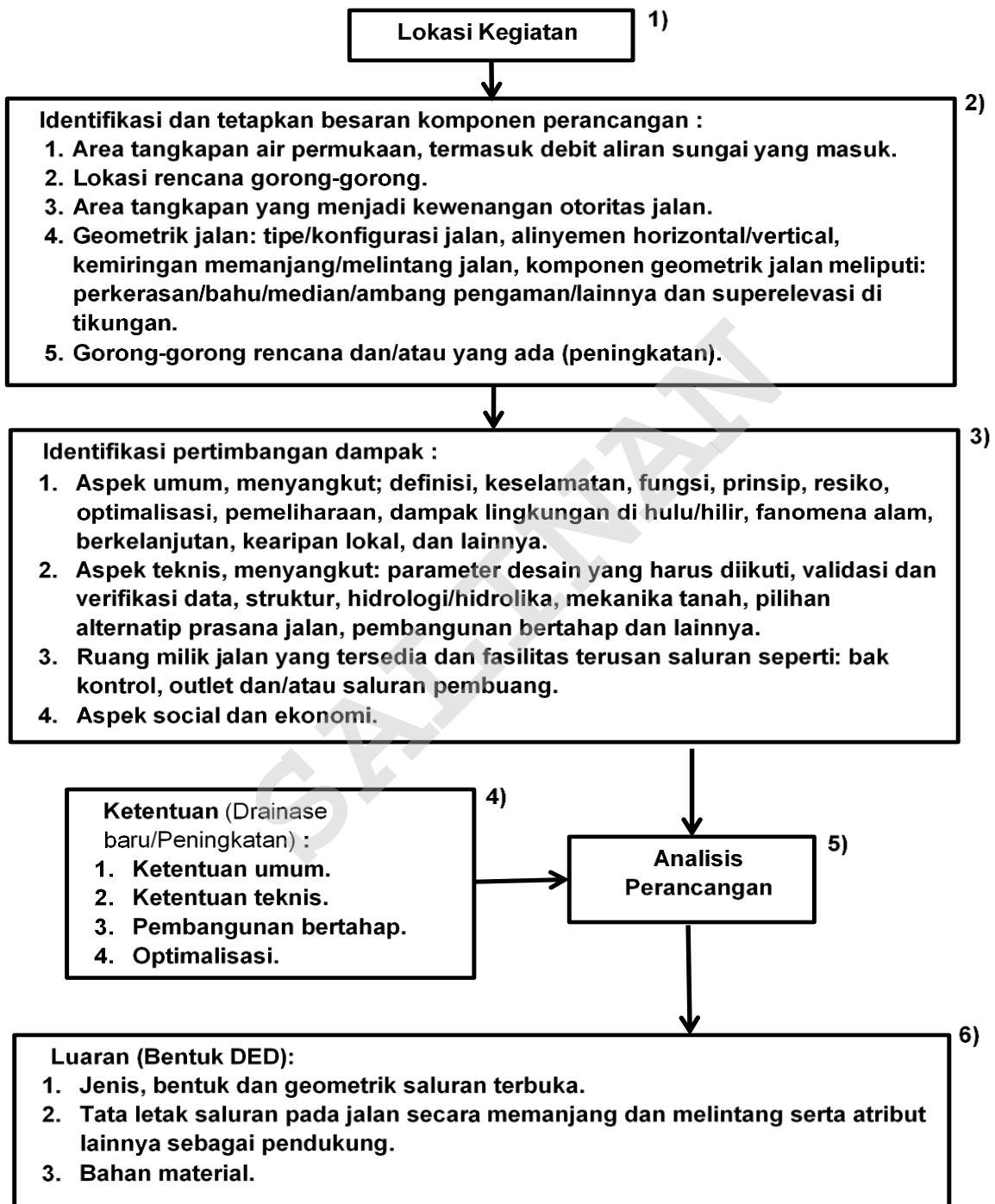


**Gambar 9-13** Aliran Air di Gorong-Gorong Berbentuk Persegi Panjang – *Outlet Controlled*  
 (CPAA, 1983)

## 9.5 Bagai Alir Proses Desain

### 9.5.1 Bagai Alir Proses Desain

- a. Berikut adalah Gambar 9-14, adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain dalam bentuk bagan alir.



Gambar 9-14 Bagan alir desain gorong-gorong

### 9.5.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

Langkah desain drainase gorong-gorong diuraikan sebagai berikut (Gambar 9-14)

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi penetapan:
  - 1) No. ruan dan STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan.
  - 3) Fungsi dan status jalan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen desain :
  - 1) Area tangkapan air hujan sesuai bentuk kontur tanah yang ada.
  - 2) Saluran gorong-gorong merupakan saluran terusan dari hulu ke hilir, untuk itu perlunya mengidentifikasi besaran debit air rencana, kecepatan dan ketinggian muka air sebelum masuk ke saluran gorong-gorong, juga sesudahnya.
  - 3) Penyebab bisa terjadinya kecepatan air dan turbulensi di saluran gorong-gorong yang bisa menyebabkan gerusan pada dinding gorong-gorong.
  - 4) Tipe/konfigurasi jalan, meliputi jumlah jalur, lajur, bahu, median dan kemiringan melintang jalan.
  - 5) Beban lalu lintas untuk desain struktur gorong-gorong.
  - 6) Lokasi dan elevasi jaringan drainase yang ada, seperti saluran samping dan saluran pembawa alam/irigasi.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan desain :
  - 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain menyangkut dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan saluran gorong-gorong, seperti diuraikan dalam sub-bab 5.1 pertimbangan umum dan 10.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Pertimbangan asumsi awal menyangkut aspek teknis, seperti:
    - a) Debit rencana/banjir yang mungkin terjadi,
    - b) Area tangkapan hujan dan pola aliran permukaan yang mungkin terjadi.
    - c) Jaringan drainase lereng yang berada di lereng.
    - d) saluran pembuang (Outlet).
  - 3) Aspek teknis: menyangkut parameter desain yang harus diikuti, karakteristik aliran air (volume, kecepatan dan waktu konsentrasi), dan dampak erosi/longsor.
  - 4) Data yang valid, terverifikasinya data, dan sumber data dari lembaga tersertifikasi.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan umum dan teknis yang harus diikuti dalam desain drainase gorong-gorong, baik untuk desain drainase baru atau peningkatan:

- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase jalan, yang pada dasarnya desain teknis yang dihasilkan bisa memenuhi aspek keselamatan, kelancaran dan ramah terhadap lingkungan baik di hulu/hilir dan lingkungan setempat:
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, tata letak bangunan dan memenuhi karakteristik komponen hidrolika, optimalisasi, aspek ini harus tersurat dalam analisa dan luaran desain (DED).
- e. Langkah No. 5, Analisis desain merupakan proses tahapan desain secara analitik maupun empiris/grafik dalam menentukan nilai parameter tertentu untuk menetapkan bentuk dan ukuran serta kapasitas bangunan drainase jalan. Desain dan perhitungan drainase gorong gorong mengacu pada sub bab 9.2 dan sub bab 9.4.
  - f. Langkah No. 6, Luara : Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain tekni bangunan akhir drainase lereng pada jalan (DED). DED tersebut, diperuntukan untuk dokumen pembangunan dan juga sebagai arsip di leger jalan.

## **10. Desain Saluran Lereng**

### **10.1 Ketentuan Umum**

- a. Ketika saluran pembuangan tambahan disediakan sejajar dengan jalan di tingkat yang lebih tinggi untuk mengumpulkan dan membuang air permukaan dikenal sebagai saluran air tangkapan.
- b. Pada badan jalan dimana sisi kiri dan/atau kanan jalan berbentuk lereng, ini makin berpotensi terjadinya erosi dan kelongsoran pada lereng tersebut. Potensi lain dimana saluran samping jalan akan menerima beban debit air permukaan yang besar yang terkonsentrasi dari daerah tangkapan air hujan disebelah hulu (bagian atas lereng).
- c. Untuk mengurangi beban saluran samping dari debit air permukaan yang besar dan/atau tingginya muka air tanah, diperlukan saluran lereng (tangkap dan/atau puncak).
- d. Lereng merupakan ukuran permukaan kemiringan tanah alam atau dibuat yang terlihat adanya perbedaan tinggi pada kedua tempat, pada garis kontur dari peta topografi dapat memberikan informasi perbedaan ketinggian.
- e. Adanya saluran lereng akan mengurangi potensi erosi dan/atau penurunan stabilitas tanah (longsor).

- f. Desain saluran lereng harus memperhatikan dan mengkaji kondisi topografi daerah sekitar alinemen jalan sehingga jalan dapat terlindungi.

## 10.2 Ketentuan Teknis

### 10.2.1 Lereng

- a. Saluran lereng disediakan dengan ketentuan sebagai berikut :
- 1) Saat tanah di sebelahnya curam ke arah pinggir jalan.
  - 2) Dalam kasus jalan perbukitan, saat hujan deras.
  - 3) Ketika kuantitas aliran air di tanah miring lebih banyak.
- b. Klasifikasi lereng diperoleh melalui interpretasi peta rupa bumi dengan metode rumus:

$$S = \frac{(n - 1) \cdot k_i}{a \cdot \text{penyebut skala peta}} \times 100\% \quad 49)$$

Keterangan :

S = besar sudut lereng.

n = jumlah kontur yang memotong tiap diagonal jaringan.

$k_i$  = Kontur interval.

a = panjang diagonal jaringan dengan panjang rusuk 1 cm.

- c. Kelas kemiringan lereng ditentukan seperti tercantum pada Tabel 10-1.
- d. Salurang lereng bisa terdiri dua bagian, yaitu saluran puncak dan saluran penangkap/pencegat, seperti ditunjukkan pada Gambar 10-2.

**Tabel 10-1** Kelas kemiringan lereng

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi
I	0 - 8	Datar
II	≥ 8 - 15	Landai
III	≥ 15 - 25	Agak curam
IV	≥ 25 - 45	Curam
V	≥ 45	Sangat curam

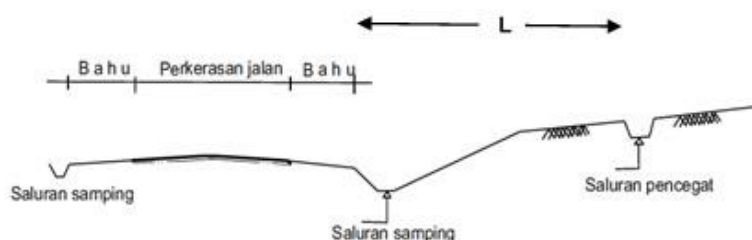
- e. Mendesain saluran lereng harus memperhitungkan terhadap masalah longsor yang disebabkan oleh; air permukaan, air tanah, karakteristik tanah, kemiringan tanah.
- f. Desain drainase lereng harus mencakup evaluasi mengenai erosi tanah yang akan mempengaruhi jalan.
- g. Dimensi saluran lereng tergantung pada daerah pengaliran (*catchment area*) dan kondisi permukaan tanah.



- h. Batasan luas daerah layanan tergantung dari kondisi daerah sekitar secara topografi.
- i. Pada daerah perbukitan, direncanakan beberapa saluran, untuk menampung limpasan dari daerah bukit dengan batas daerah layanan adalah puncak bukit tersebut tanpa merusak stabilitas lereng. Sehingga saluran tersebut hanya menampung air dari luas daerah layanan daerah sekitar.

### 10.2.2 Saluran Tangkap

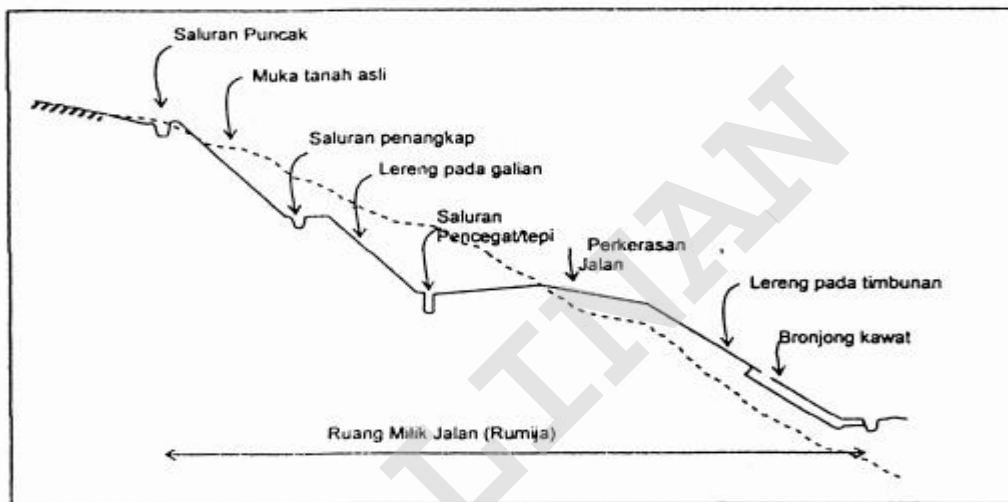
- a. Adanya lereng yang umumnya terjadi pada daerah golongan medan pegunungan, pada kondisi tersebut saluran samping akan menerima beban debit air permukaan yang cukup besar yang berasal dari tangkapan air hujan di sebelah luar badan jalan (bagian atas).
- b. Untuk mendapatkan dimensi saluran samping yang masih cukup wajar, maka air permukaan tersebut dicegat terlebih dahulu oleh saluran penangkap/pencegat, seperti dilustrasikan pada Gambar 10-1.
- c. Saluran tangkapan yang umumnya mempunyai kemiringan yang curam, pengaliran air pada saluran ini dapat menyebabkan gerusan di luar saluran akibat loncatan air, maka.
  - 1) Perlu menetapkan area tangkapan untuk menetapkan debit air rencana permukaan.
  - 2) Perlu mengetahui elevasi muka air tanah
  - 3) Berfungsi untuk menurunkan muka air tanah.
  - 4) Jenis saluran tangkap antara lain :
    - a) Saluran tanpa lapisan pelindung (*unlined ditch*).
    - b) Saluran semen tanah (*soil cemen ditch*).
- d. Air yang sudah terkumpul di saluran pencegat kemudian dibuang ke tempat lain.
- e. Luas penampang saluran air tangkapan umumnya  $0,9\text{m}^3$  dan harus dibangun secara normal pada 4,5 m dari tepi jalan (L), seperti ditunjukkan pada Gambar 10-1.
- f. Saluran pencegat bisa juga dihitung dengan ketentuan desain saluran permukaan sistem terbuka.



**Gambar 10-1** Saluran pencegat

### 10.2.3 Saluran Puncak

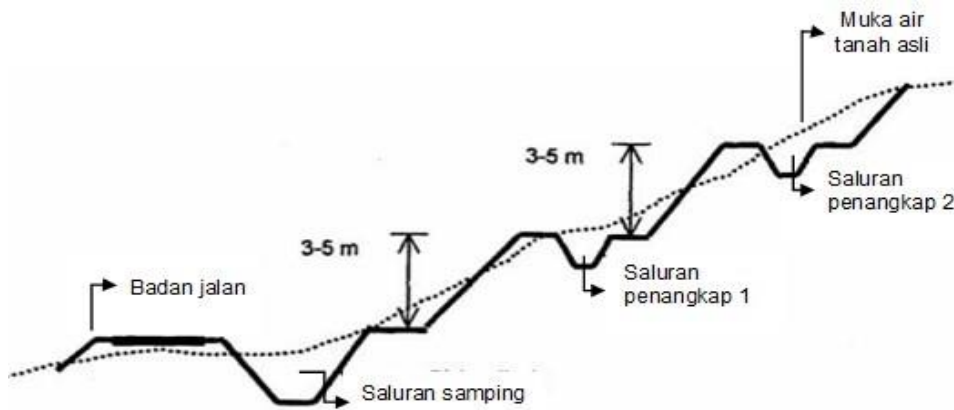
- Manakala lereng terlalu panjang, maka perlu dibuat saluran puncak (*crown ditch*), yang fungsinya hampir sama dengan saluran tangkap, seperti diilustrasikan pada Gambar 10-2.
- Saluran puncak dibuat untuk mencegah air permukaan dan air rembesan tidak masuk ke permukaan ereng.
- Desain harus memperhitungkan topography daerah sekitar, banyaknya aliran yang turun dari lereng sifat-sifat tanah dan lain-lain.
- Air yang sudah terkumpul di saluran puncak kemudian dibuang ke tempat lain.



Gambar 10-2 Sketsa lereng secara melintang

### 10.2.4 Penempatan Saluran Tangkap

- Dengan ketentuan kemiringan landai lereng, maka perbedaan tinggi antar saluran seperti ditunjukkan pada Gambar 10-3.
- Debit rencana paling besar 0,75 kali ketentuan untuk saluran samping jalan.
- Panjang paling besar diantara outlet dengan kedalaman air dalam saluran 60 Cm dalam berbagai golongan medan, seperti diuraikan pada Tabel 7-13.



**Gambar 10-3** Lokasi saluran penangkap secara melintang jalan

### 10.2.5 Bentuk dan Kelengkapan Saluran Lereng

- a. Saluran lereng (puncan dan penangkap), harus disediakan kolam penampung air (catch basin) pada:
  - 1) Pertemuan antara saluran memanjang dan saluran lainnya.
  - 2) Saat terjadi perubahan kemiringan atau arah aliran berubah.
  - 3) Kolam harus memiliki "sumuran" pasir dengan kedalaman  $> 15$  cm untuk meredam energi dari air yang mengalir di saluran memanjang.
- b. Saluran samping jalan yang dipasang sepanjang lereng yang berfungsi untuk membuang air dari bahu dan permukaan perkerasan jalan dan/atau dari saluran tangkap/puncak dan/atau banket.
- c. Apabila pada lereng terjadi rembesan air dan/atau bocoran (*oozing water*) yang bisa merusak kestabilan lereng harus segera ditanggulangi, dapat digunakan pemasangan batu bronjong kawat pada kaki lereng maupun "suling-suling".
- d. Kriteria teknik saluran, dimana luas penampang basah lebih besar, dan
- e. Ujung hilir saluran harus mempunyai luas penampang basah yang besar, dan ujung hilir saluran harus dirancang dengan memperhitungkan kondisi topografi agar tidak merusak stabilitas lereng.

### 10.2.6 Perhatian Khusus

- a. Hal penting dalam desain drainase lereng yang harus diperhatikan adalah sbb.
  - 1) Pengurugan yang dilakukan harus dengan hati-hati,
  - 2) Erosi di bagian udik dicegah dengan pemasangan lempengan rumput,
  - 3) Titik transisi lereng saluran diberi lapis penutup
  - 4) Di tempat-tempat dimana lereng menjadi curam, dianjurkan menggunakan saluran yang lengkap dengan "socket", serupa dengan saluran drain memanjang.

- b. Contoh sarana drainase lereng sesuai peruntukkan desain ditunjukkan pada Tabel 10-2 berikut ini.

**Tabel 10-2** Desain dan contoh sarana drainase lereng

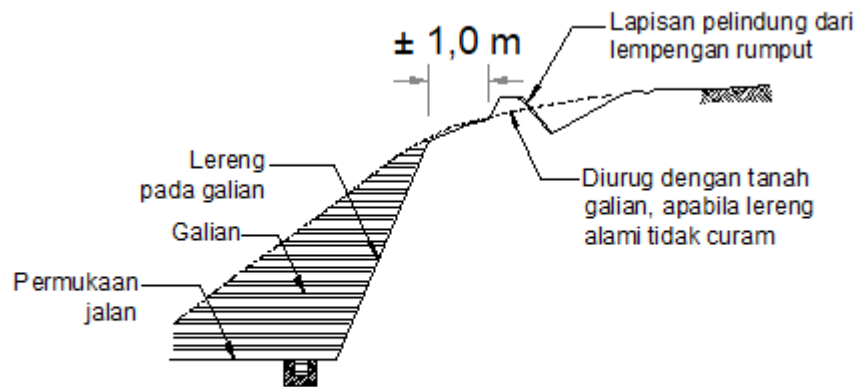
Peruntukkan desain drainase lereng	Jenis
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menghentikan air hujan atau aliran permukaan dan lereng.</li> <li>- Membelokkan aliran permukaan yang turun dari lereng atau aliran air tanah di bawah permukaan ke sarana drainase di luar daerah lereng dengan cara yang aman.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saluran puncak (crown ditch)</li> <li>- Saluran pada bagian atas lereng</li> <li>- Saluran pencegat.</li> <li>- Bangunan pelindung lereng yang disemprot dengan adukan (semen) atau lempengan rumput.</li> </ul>

- c. Jenis saluran dan sifat ditunjukkan pada Tabel 10-2, dan pelaksanaan saluran drainase lereng ditunjukkan pada Tabel 10-3.

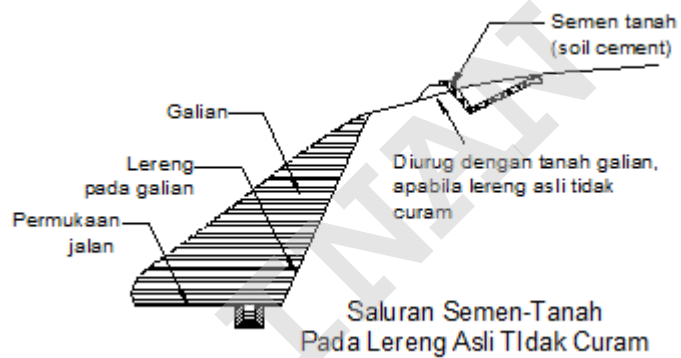
**Tabel 10-3** Jenis saluran dan peruntukan

Jenis saluran	Kriteria
<b>Saluran Puncak</b>	
Saluran tanpa lapisan pelindung ( <i>unlined ditch</i> ) (lihat Gambar 10-4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanah tidak peka terhadap infiltrasi air</li> <li>- Debit kecil dan dapat langsung dialirkan ke lereng alami yang berdekatan dengan lereng yang sedang dibuat.</li> <li>- Saluran sederhana berupa urugan yang dilapisi lempengan rumput</li> </ul>
Saluran semen-tanah (lihat Gambar 10-4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanah peka terhadap infiltrasi air</li> <li>- Debit besar dan tidak diperbolehkan ada infiltrasi air ke dalam tanah.</li> </ul>
Saluran beton-tulang precast bentuk 'U' (lihat Gambar 10-5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debit besar dan Saluran drain panjang:</li> <li>- Ukuran saluran precast tergantung pada daerah pengaliran (<i>catchment area</i>) dan kondisi permukaan tanah, umurnya 30 cm x 30 cm</li> <li>- Bentuk 'U' atau setengah lingkaran .</li> </ul>
Saluran drainase memanjang	

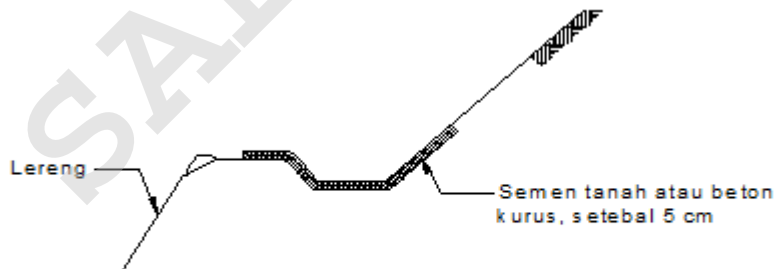
Jenis saluran	Kriteria
Saluran beton tulang bentuk "U" atau pipa setengah lingkaran	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemasangan langsung pada permukaan lereng dilengkapi dengan socket pemasangan pada jarak interval 3 m, harus ditempatkan sarana anti slip.</li> <li>- Untuk mencegah erosi tebing akibat loncatan air. bagian atas saluran harus digali <math>\pm 10</math> cm dan diberi lapisan pelindung dan pasangan batu atau lempengan rumput (Gambar 10-4)</li> <li>- Luas penampang ditentukan oleh perhitungan debit. Ukuran yang sering digunakan 24 cm x 24 cm atau 30 cm x 30 cm.</li> <li>- Harus disediakan kolam tangkap air (catch basin) di: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Pertemuan antara saluran memanjang dan saluran lain.</li> <li>o Kemiringan atau arah aliran berubah.</li> <li>o Kolam harus mempunyai "sumuran" pasirdengan kedalaman &gt;15 cm untuk meredam energi dan air yang mengalir.</li> <li>o Saluran dan kolam harus diberi tutup pada:</li> <li>o Kemiringan lebih curam dari 1:1</li> <li>o Titik transisi perubahan kemiringan pada jarak 1m - 2m dari kaki lereng.</li> </ul> </li> </ul>
Saluran beton bertulang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saluran pipa beton atau pipa keramik digunakan dengan dilengkapi kolam tangkap air di titik-titik perubahan kemiringan saluran atau perubahan arah aliran.</li> <li>-</li> </ul>
Saluran banket	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digunakan pada setiap ketinggian 5 m – 10 m ( ketinggian interval) dan jika lereng cukup Panjang atau digunakan jika kemiringan memanjang jalan 0,3% - 5.0%</li> <li>- Kemiringan banket disamakan dengan kemiringan lereng (Gambar 10-6).</li> <li>- Banket yang dilengkapi dengan saluran drain (saluran pencegat) maka arah kemiringan melintang banket harus berlawanan dengan kemiringan lereng (Gambar 10-6)</li> <li>- Saluran beton tulang atau saluran semen-tanah yang dibuat pada banket dihubungkan dengan saluran puncak atau saluran memanjang.</li> </ul>



SALURAN TANPA LAPISAN PELINDUNG

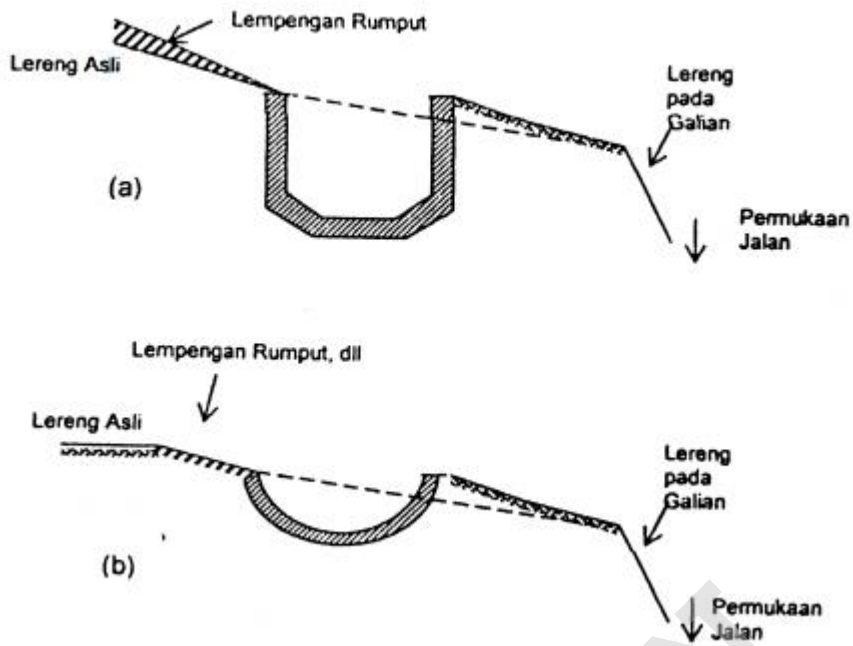


Saluran Semen-Tanah Pada Lereng Asli Tidak Curam

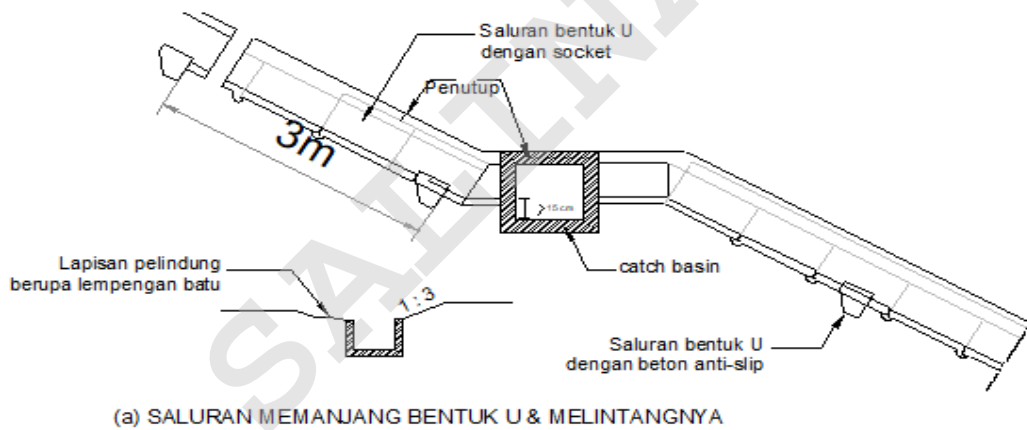


Saluran Semen-Tanah Pada Lereng Asli Curam

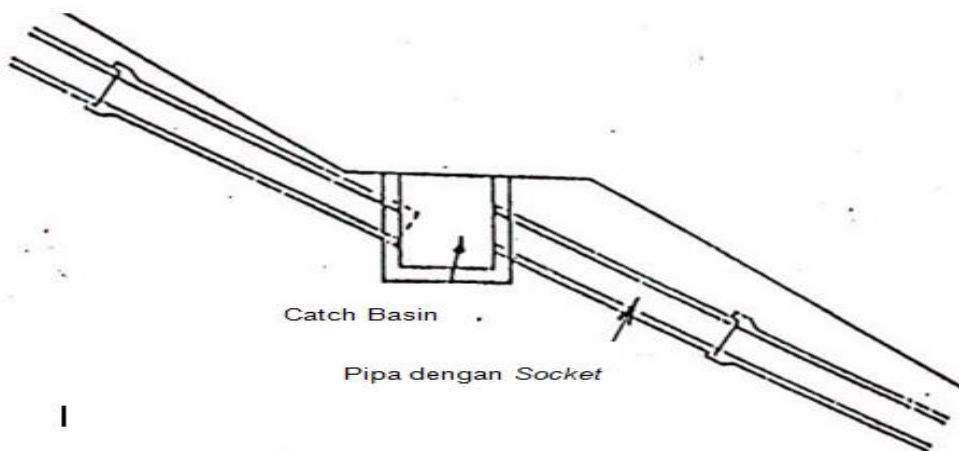
**Gambar 10-4** Saluran tanpa lapisan pelindung dan saluran semen tanah



**Gambar 10-5** Sketsa saluran beton tulangan bentuk “U” (a) dan setengah lingkaran (b)

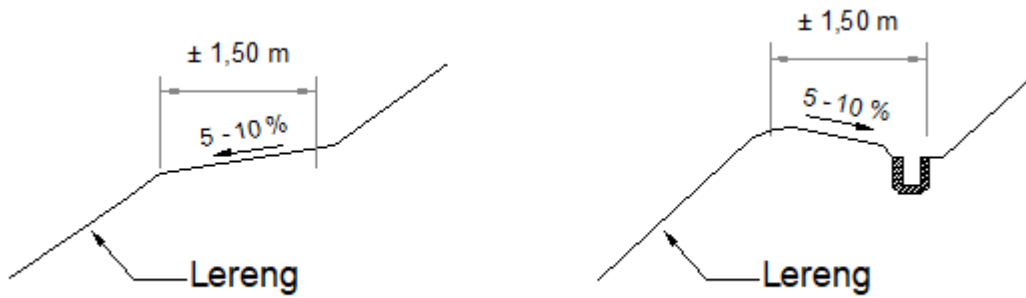


(a) SALURAN MEMANJANG BENTUK U & MELINTANGNYA



(b) SALURAN MEMANJANG MENGGUNAKAN PIPA

**Gambar 10-6** Sketsa saluran beton tulangan bentuk “U” pada saluran drain memanjang



**Gambar 10-7** Sketsa penampang melintang suatu banquette

**Tabel 10-4** Pelaksanaan saluran drainase lereng

Cara pemasangan	Kondisi aliran menjeram (cepat)	Pelaksanaan drainase lereng	Bagian pekerjaan galian
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tertanam dengan kokoh di dalam tanah asli</li> <li>- Diurug secara hati-hati dengan bahan kedap air, agar daya angkut saluran yang diinginkan dapat tercapai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Harus dilapisi untuk mencegah timbulnya loncatan air sehingga bagian luarnya akan terlindungi dari bahaya gerusan akibat loncatan-loncatan air kecil.</li> <li>- Dilapisi gebalan rumput</li> <li>- Diberi lapisan pelindung pemasangan batu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Harus diselesaikan secepat mungkin</li> <li>- saluran puncak harus dibuat sebelum pekerjaan galian di mulai</li> <li>- Jika perlu, sarana darurat harus dirancang sebagai saluran pencegat atau saluran lainnya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Harus mengkaji sifat batuan dan arah lapisan-lapisan, karena ada kaitannya dengan bocoran pada lereng</li> </ul>

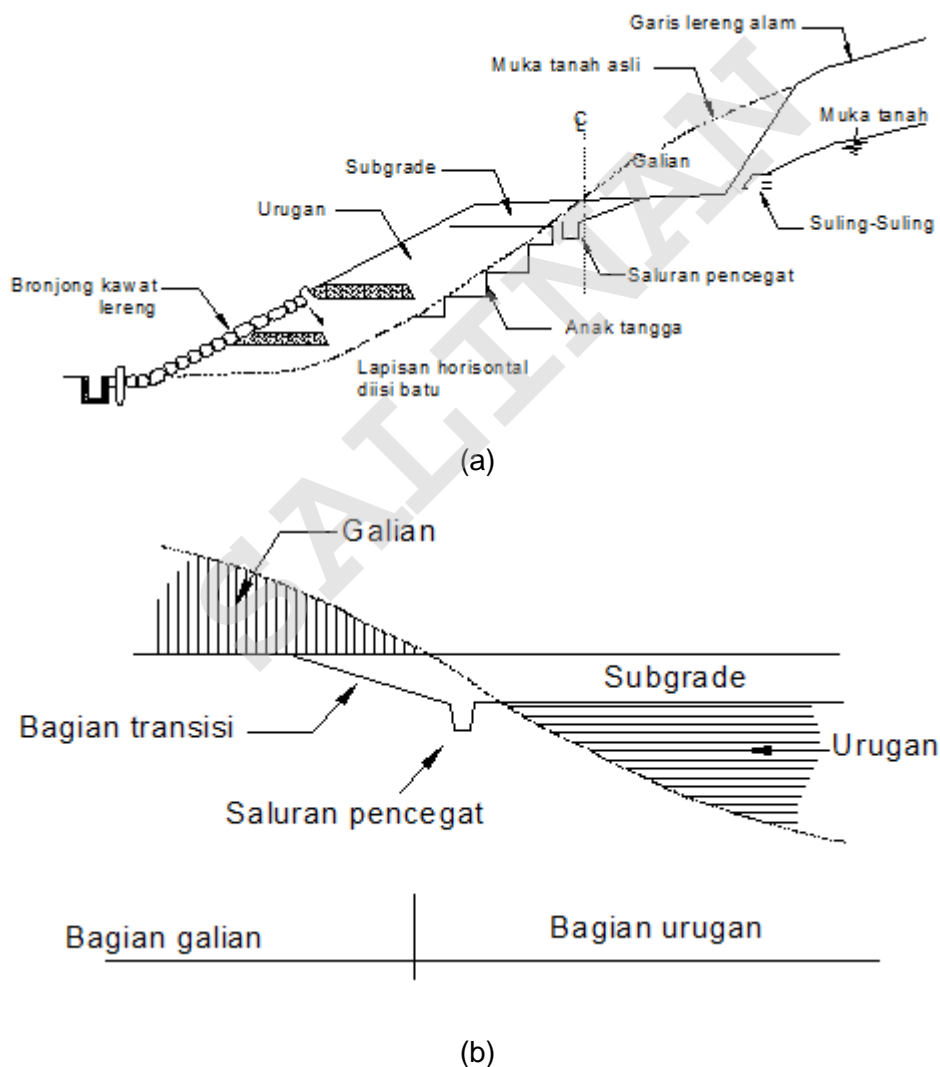
### 10.2.7 Erosi dan Penggerusan

- a. Desain drainase jalan harus mencakup evaluasi mengenai erosi tanah yang akan mempengaruhi jalan.
- b. Penanganan yang dilakukan dapat dengan mengganti tanah dan longsoran tanah yang terjadi harus dibersihkan dan dibuang dari sarana atau saluran drainase, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 10-5 di bawah ini.



**Tabel 10-5** Penyebab dan sarana untuk menghindari

Penyebab	Akibat	Sarana memindahkan bocoran air dari lereng
1. Air tanah atau air hujan menginfiltrasi ke dalam tanah 2. Kandungan air tanah dalam tanah itu sendiri.	1. Menggerus lereng 2. Menyebabkan keruntuhan lereng karena terbentuk bidang-bidang gelincir sepanjang lapisan bocoran. (Gambar 10-8)	Bronjong kawat, saluran pencegat, lapisan horisontal yang diisi dan menggunakan <i>lubang tetes/suling-suling</i> (Gambar 10-8)



**Gambar 10-8** Sketsa bocoran lambat (*Oozing*) pada lereng

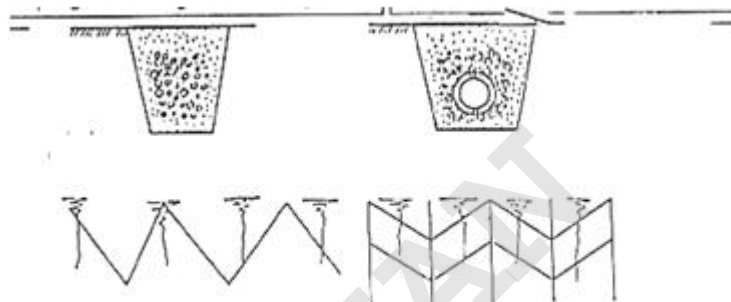
### 10.2.8 Bangunan Bocoran Pada Saluran Lereng

- a. Air rembesan dan air bocoran (*oozing water*) yang merusak kestabilan lereng harus segera dibuang melalui galian yang diisi dengan batu-batu, bronjong kawat pada kaki lereng maupun “suling-suling”.
- b. Desain lebih rinci tidak dijelaskan pada buku desain drainase ini. Uraian bangunan ditunjukkan pada Tabel 10-6, hanyalah uraian bangunan untuk meneruskan air yang ada ke saluran.

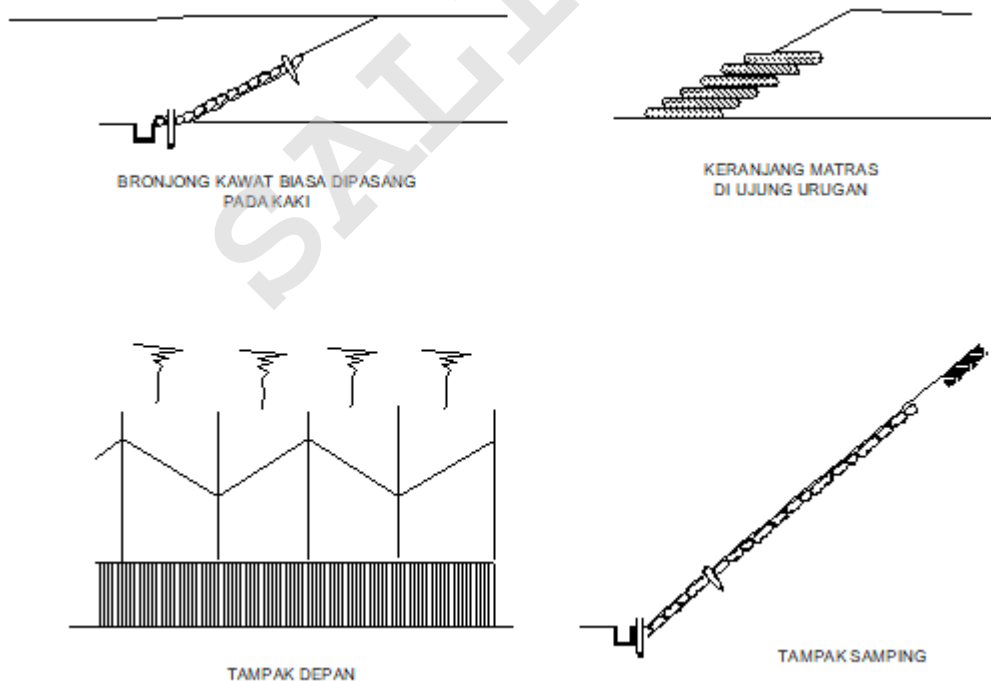
**Tabel 10-6** Uraian bangunan untuk membuang bocoran air pada lereng

Bangunan	Uraian
Galian yang diisi batu-batu	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bertujuan untuk mengumpulkan dan membuang air rembesan dari daerah sekitar permukaan tanah dengan memanfaatkan permeabilitas bahan-bahan kasar.</li><li>- Bahan yang dipilih harus memiliki permeabilitas tinggi. Bahan di bagian luar dengan diameter kecil digunakan untuk mencegah infiltrasi pasir dan penyumbatan.</li><li>- Pencegahan infiltrasi dapat dilakukan dengan menutup galian dengan serat resin atau serat gelas (<i>glass fibre</i>) dengan lubang saringan yang cocok.</li><li>- Susunan aliran: Tipe – W atau tipe “ knockhead” (lihat Gambar 45), di lokasi bocoran air bervolume tinggi atau di lokasi galian saluran saling bertemu. Jika diperlukan dibuat pula saluran-saluran drain pencegat dengan pipa perforasi didalamnya.</li></ul>
Bronjong kawat pada lereng	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bronjong kawat dikombinasikan dengan galian yang diisi dengan galian yang diisi batu, dipasang pada lereng-lereng yang mengalami bocoran-bocoran berat (Gambar 10-9).</li><li>- Pemasangan dilakukan pada kaki lereng pelindung drainase dan kaki pelindung lereng</li><li>- Pada lereng pendek, bronjong kawat dipasang di tempat galian yang diisi dengan batu.</li></ul>
Lubang tetes/suling-suling	<ul style="list-style-type: none"><li>- Panjang lubang tetes/suling-suling <math>\geq 50</math> cm</li><li>- Pada lokasi bocor, dibuat lubang samping (lubang lateral) yang diisi dengan pipa perforasi atau ikatan bambu untuk membuang air rembesan</li></ul>

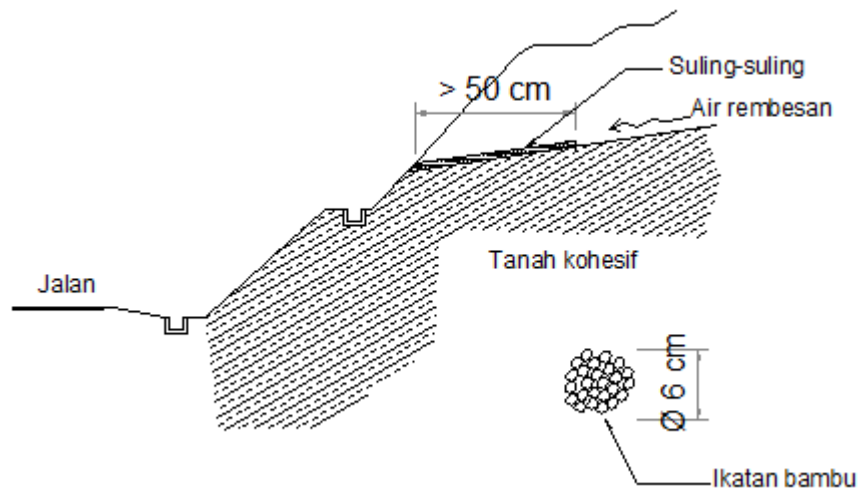
Bangunan	Uraian
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jenis pipa yang diberi perforasi: pipa vinyl keras, pipa jaringan resin sintetik, resin sintetik yang bersifat porous dan pipa beton yang lulus air (porous).</li> <li>- Pada lokasi bocor di dalam, maka harus dilakukan pemboran secara horisontal. Untuk membuang air bocoran, dimasukkan pipa drain yang dilengkapi dengan saringan ke dalam lobang bor tsb (lihat Gambar 10-10).</li> </ul>



**Gambar 10-9** Sketsa galian yang diisi batu beserta tata letak



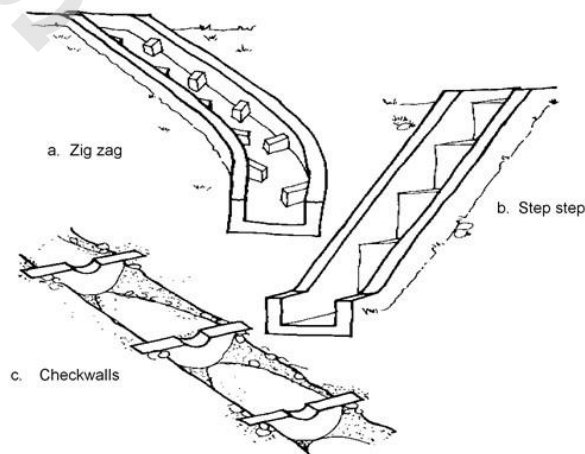
**Gambar 10-10** Sketsa bronjong kawat pada lereng



**Gambar 10-11** Sketsa suling-suling

### 10.2.9 Saluran Vertikal

- Memotong saluran air puncak dan penangkap perlu dikendalikan dan diarahkan dengan aman menuruni lereng.
- Dalam kasus seperti tersebut di atas, perlu memasang saluran pembuangan terbuka secara vertical, seperti ditunjukkan pada Gambar 10-12.
- Lokasi penempatan saluran vertical, pada saat aliran air pada salurang memanjang melampoi ambang pengaman saluran (penampung basah menjadi tinggi).
- Bisa dibuat dengan beton pra-cetak, beton semprot atau pipa yang aman.
- Sengkedan pada saluran vertical, untuk membuat peredamam energi aliran.



**Gambar 10-12** Bentuk saluran vertical pada lereng

### 10.3 Komponen Desain

- Desain bangunan saluran lereng, perlu memperhatikan:

- 1) Menetapkan area tangkapan untuk menetapkan debit rencana air permukaan.
  - 2) Menentukan elevasi dan arah aliran air tanah.
  - 3) Berfungsi untuk menurunkan muka air tanah.
  - 4) Menentukan kemiringan lereng.
  - 5) Karakteristik sifat-sifat tanah.
  - 6) Kestabilan lereng (mekanika tanah).
  - 7) Menetapkan area tangkapan air hujan yang berpotensi jadi debit rencana air permukaan.
- b. Dalam perhitungan kapasitas saluran lereng, komponen yang perlu diperhatikan dapat mengacu pada komponen desain saluran terbuka pada sub bab. 0.

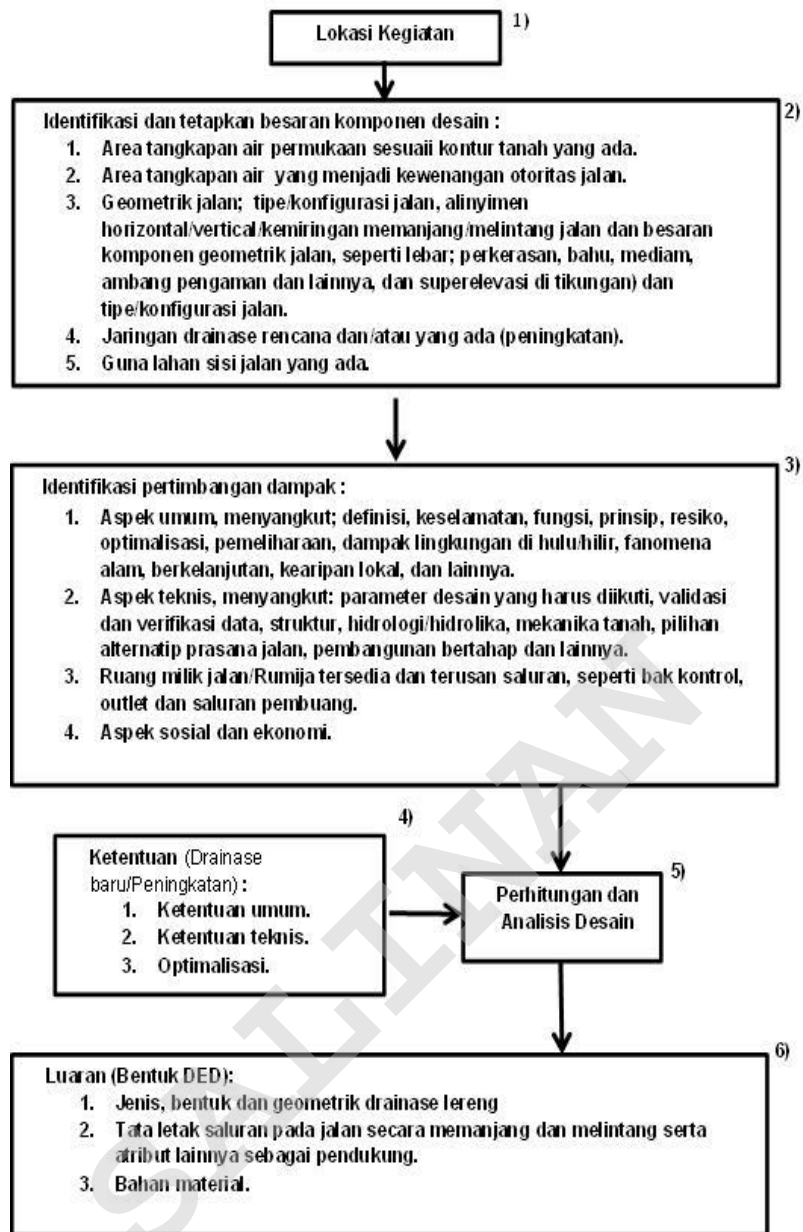
#### **10.4 Mendesain Saluran Tangkap**

- a. Desain saluran lereng pada dasarnya sama dengan desain saluran samping sistem terbuka.
- b. Jika diperlukan, bangunan dilengkapi dengan bendungan (dam) dan bangunan lainnya dengan tujuan meredam atau mengurangi energi arus dorongan atas.
- c. Identifikasi/tetapkan area tangkapan air hujan, dimana debir air permukaan yang terkonsentrasi/menuju saluran tangkapan dan/atau saluran puncak.
- d. Saluran lereng sebaiknya berbentuk U, dan memiliki komponen data geometrik sebagai berikut:
  - 1) kemiringan memanjang ( $i_j$  dalam %).
  - 2) Luas jagaan lebih besar dibanding saluran permukaan di samping jalan.
  - 3) Panjang saluran.

#### **10.5 Bagan Alir Desain**

##### **10.5.1 Bagai Alir Proses Desain**

- a. Pada Gambar 10-13 adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain saluran permukaan badan jalan bentuk bagan alir.



**Gambar 10-13** Bagan alir desain saluran permukaan badan jalan

### 10.5.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi penetapan:
  - 1) No. ruan dan STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan.
  - 3) Fungsi dan status jalan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen desain :
  - 1) Area tangkapan air hujan sesuai bentuk kontur tanah yang ada.
  - 2) Area tangkapan air hujan sesuai ketentuan dan kewenangan otoritas jalan.
  - 3) Titik konsentrasi saluran air permukaan pada badan jalan.
  - 4) Tipe/konfigurasi jalan, meliputi jumlah jalur, lajur, bagu dan median.

- 5) Ruang milik jalan/Rumija yang tersedia.
  - 6) Konfigurasi bentuk kesatuan badan jalan, saluran samping, ambang pengaman dan saluran lereng.
  - 7) Lokasi dan elevasi jaringan drainase yang ada, seperti saluran samping dan saluran pembawa alam/irigasi.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan desain :
- 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain menyangkut dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan saluran lereng, seperti diuraikan dalam sub-bab 10.1 pertimbangan umum dan 11.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Pertimbangan asumsi awal menyangkut aspek teknis, seperti:
    - a) Debit rencana/banjir yang mungkin terjadi,
    - b) Area tangkapan hujan dan pola aliran permukaan yang mungkin terjadi.
    - c) Jaringan drainase lereng yang berada di lereng.
    - d) Saluran pembuang (*Outlet*).
  - 3) Aspek teknis: menyangkut parameter desain yang harus diikuti, karakteristik aliran air (volume, kecepatan dan waktu konsentrasi), dan dampak erosi/longsor.
  - 4) Data yang valid, terverifikasinya data, dan sumber data dari lembaga tersertifikasi.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan umum dan teknis yang harus diikuti dalam desain drainase lereng, baik untuk desain drainase baru atau peningkatan:
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase jalan, yang pada dasarnya desain teknis yang dihasilkan bisa memenuhi aspek keselamatan, kelancaran dan ramah terhadap lingkungan baik di hulu/hilir dan lingkungan setempat:
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, tata letak bangunan dan memenuhi karakteristik komponen hidrolika, optimalisasi, aspek ini harus tersurat dalam analisa dan luaran desain (DED).
- e. Langkah No. 5, Analisis desain merupakan proses tahapan desain secara analitik maupun empiris/grafik dalam menentukan nilai parameter tertentu untuk menetapkan bentuk dan ukuran serta kapasitas bangunan drainase jalan. Perhitungan desain dari saluran lereng secara umum dapat mengacu pada saluran terbuka Bab 7.

- f. Langkah No. 6, Luaran: Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain teknis bangunan akhir drainase lereng pada jalan (DED). DED tersebut, diperuntukan untuk dokumen pembangunan dan juga sebagai arsip di leger jalan.

## 11. Desain Saluran Bawah Permukaan

### 11.1 Ketentuan Umum

- a. Kelembaban matrial dan/atau adanya air yang berlebihan pada struktur lapisan perkerasan apabila tidak ditangani dalam kurun waktu tertentu akan menyebabkan berkurangnya nilai kekuatan struktur perkerasan jalan, pada akhirnya jalan tersebut akan rusak sebelum mencapai umur rencana.
- b. Konsep drainase jalan dengan meminimalkan air yang masuk kestruktur perkerasan jalan dan membuang secepatnya.
- c. Drainase bawah permukaan harus direncanakan dengan baik dan benar serta dirawat dengan baik.
- d. Drainase bawah permukaan perlu perhatian khusus, terutama dalam menyediakan saluran keluar untuk pembuangan.
- e. Material untuk mengisi/menutup parit saluran drainase, yang umumnya dipasang antara *base course* bergradasi terbuka dan tanah dasar, harus memenuhi tiga persyaratan umum:
  - 1) Harus bisa mencegah material yang lebih halus terbawa kelapisan drainase atau pipa.
  - 2) Harus cukup permeabel untuk membawa air tanpa hambatan yang berarti, dan
  - 3) Harus cukup kuat untuk membawa beban yang diberikan padanya, dan mencegah kerusakan pada pipa atau mendistribusikan beban ke tanah dasar.
- f. Pada tanah dengan kandungan lempung melebihi 20%, penurunan *watertables* dapat menyebabkan penyusutan tanah dan kerusakan struktur. Direkomendasikan agar saluran air bawah tanah tidak ditempatkan terlalu dekat dengan bangunan di lokasi yang berlumpur.
- g. Beberapa cara untuk mengalirkan air keluar dari struktur perkerasan jalan paling tidak, membuat dasar yang miring menuju saluran drainase. Umum dilakukan dengan membuat saluran pipa berporus di bawah permukaan, sebagai berikut ini:
  - 1) Sebuah lapisan filter (seperti kain geotekstil, lapisan agregat atau berbagai jenis lapisan permeable lainnya) berfungsi untuk mencegah mengalirnya air ke lapisan tanah dasar permeabel, pondasi bawah atau dasar material bahu.



- 2) Tanah dasar permeabel akan menyumbat jalur drainase dan membuatnya tidak efektif. Tergantung pada sifat tanah dasar dan struktur perkerasan, lapisan filter mungkin tidak digunakan.

## 11.2 Ketentuan Teknis

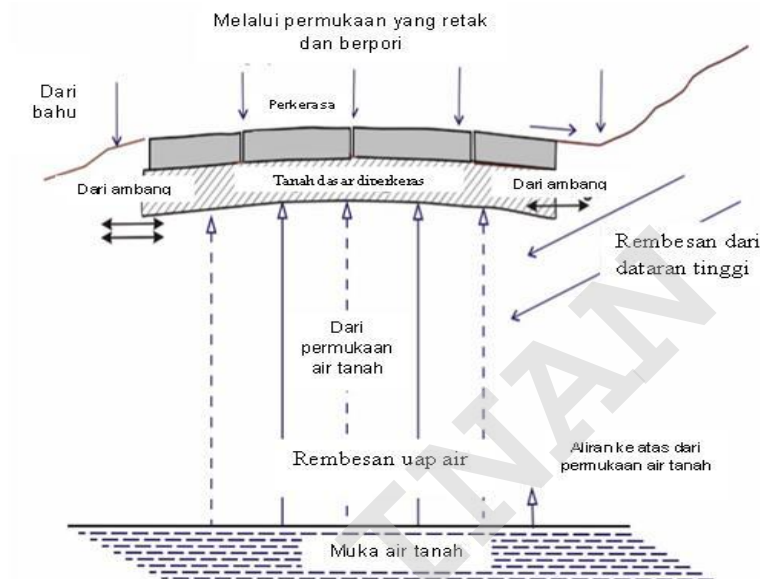
### 11.2.1 Indikator Perlunya Drainase Bawah Permukaan

- a. Adanya sambungan pada perkerasan kaku/beton, bila sealing dilakukan tidak semestinya/benar, memungkinkan air mengalir dari permukaan ke dalam perkerasan.
- b. Topografi, dapat mempengaruhi grade alinemen memanjang dan melintang jalan, yang berpengaruh pada pembuangan air yang berlebih.
- c. Sumber air yang bisa mencapai subgrade antara lain dari ;
  - 1) Infiltrasi (air hujan dan aliran artesian).
  - 2) Muka air tanah (aliran gravity dan aliran artesian).
  - 3) Gaya kapiler (yang muncul dari muka air tanah).
- d. Rembesan bisa terjadi karena adanya kerusakan pada perkerasan jalan, antara lain *stripping*, *rutting* dan retak pada perkerasan aspal, atau *punping*, *faulting* dan retak pada perkerasan beton.
- e. Retak pada penampang memanjang perkerasan mendekati nol persen (0%), yaitu (-0,5 sampai +0,5 %).
- f. Penampang perkerasan berada pada daerah galian.
- g. Adanya drainase yang jelek, seperti terjadi genangan pada saluran sisi, adanya tumbuhan yang pada daerah genangan.

### 11.2.2 Kelebihan Air di Struktur Perkerasan Jalan

- a. Mekanisme proses terjadinya perembesan dan infiltrasi air dalam memasuki lapisan struktur perkerasan jalan dari berbagai sumber, seperti ditunjukkan pada Gambar 11-1, dengan uraian sebagai berikut:
  - 1) Rembesan longitudinal dari tempat yang lebih tinggi, terutama pada stek dan kurva vertikal yang turun.
  - 2) Naik turunnya permukaan air di bawah jalan.
  - 3) Infiltrasi curah hujan melalui permukaan jalan.
  - 4) Kelembaban kapiler dari tepi.
  - 5) Air kapiler dari muka air tanah.
  - 6) Gerakan uap air dari muka air tanah.
  - 7) Gerakan lateral kelembaban dari material perkerasan yang terdiri dari bahu jalan.

- 8) Kebocoran saluran drainase permukaan.
  - 9) Aliran air melalui sambungan konstruksi di perkerasan.
  - 10) Saluran terjadi antara perkerasan lama dan baru atau dengan jembatan.
- b. Secara umum drainase bawah permukaan terbagi atas 2 (dua) pola, yaitu untuk :
- 1) Memotong aliran rembesan air tanah yang akan melintasi struktur badan jalan, dan
  - 2) Mencegah air kapiler dari tanah dasar mencapai perkerasan jalan.

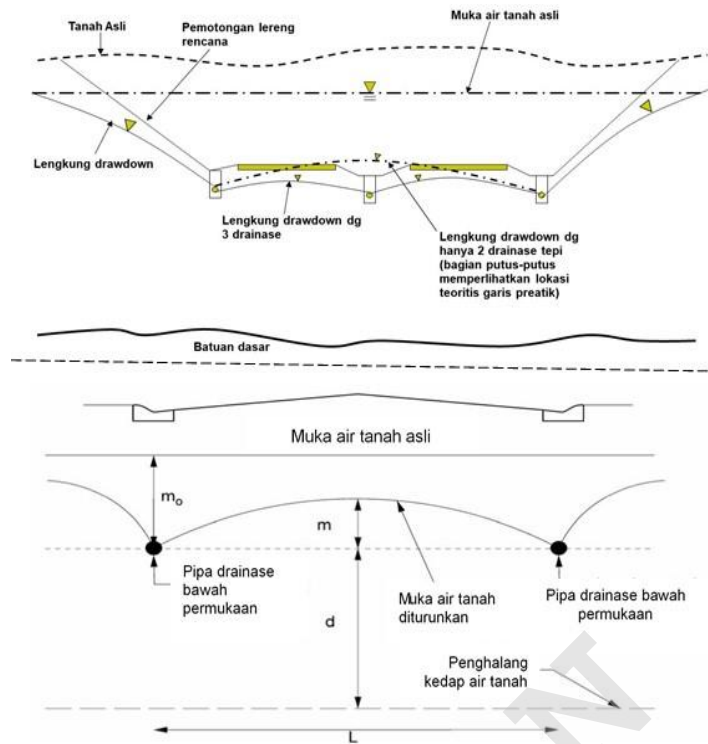


Sumber: Adapted from ARRB (1987)

**Gambar 11-1** Mekanisme terjadinya kelembaban pada lapisan struktur perkerasan jalan

### 11.2.3 Layout Drainase Bawah Permukaan

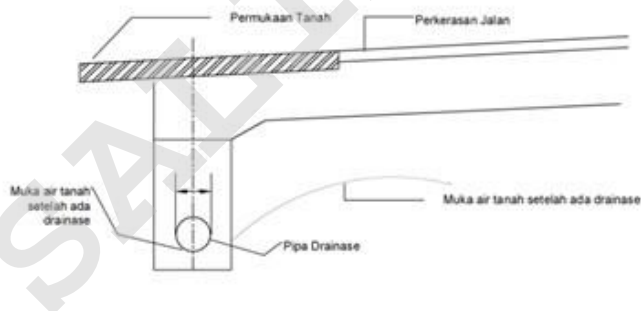
- a. Saluran tangkap (*interception drain*), yaitu pipa berlubang-lubang (perforasi) yang dipasang di dalam galian/parit dan dilapisi kain geotekstil jika diperlukan, serta ditimbun kembali dengan kerikil dan batu-batu pecah, dan pada bagian paling atas ditutup dengan lapisan tanah yang kedap air (*impermeable*), seperti ditunjukkan pada Gambar 11-2 dan Gambar 11-3



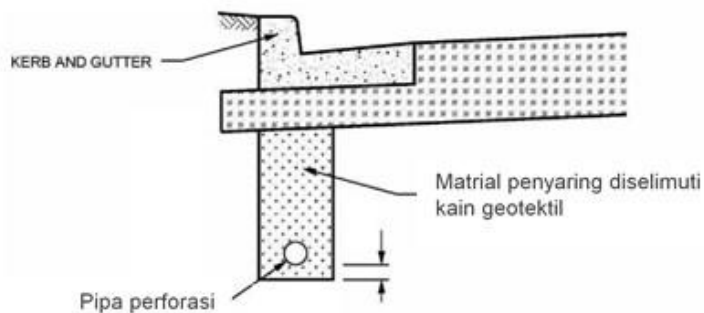
Sumber: van Schilfgaarde 1963

**Gambar 11-2** Drainase bawah permukaan dalam beberapa kombinasi air permukaan

Tipikal luar kota :



Tipikal perkotaan :

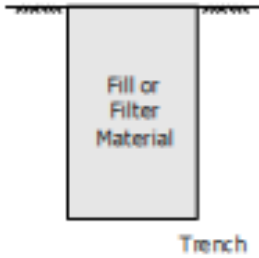
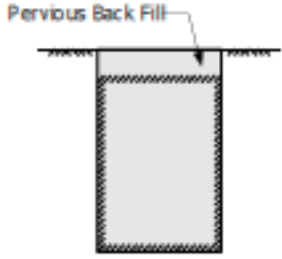
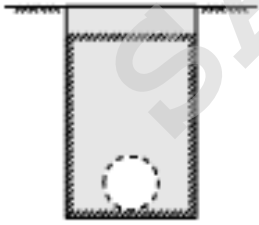
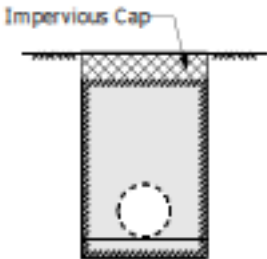


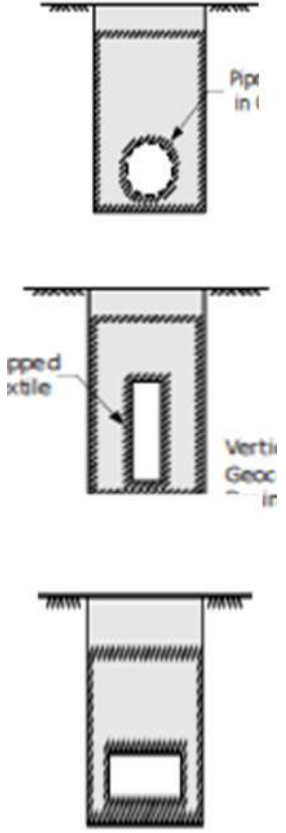
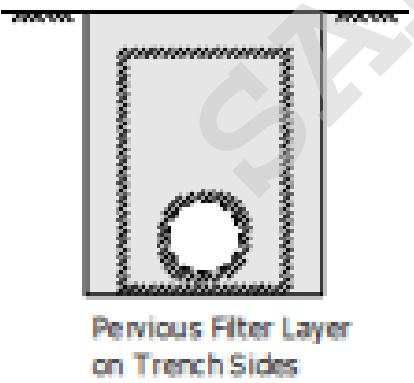
Sumber: TMR. 2010.

**Gambar 11-3** Drainase bawah permukaan

- b. Bentuk saluran tangkap pada drainase bawah permukaan yang umum digunakan di tanah datar (drainase puing atau drainase Prancis), seperti ditunjukkan pada Tabel 11-1.

**Tabel 11-1** Jenis saluran tangkap pada drainase bawah permukaan

No.	Jenis saluran	Keterangan
1		<p><b>Sistem sederhana drainase puing</b> Merupakan saluran dengan bahan pengisi atau saringan (biasanya pasir atau kerikil). Susunan sederhana ini disebut drainase puing atau drainase Prancis.</p>
2		<p><b>Filter geotekstil</b> Penambahan lapisan geotekstil untuk mencegah partikel tanah halus eksternal terbawa ke dalam bahan filter dan menyumbatnya. Baik ini maupun saluran pembuangan puing yang tidak dilapisi hanya memiliki efektivitas yang terbatas karena kemampuannya yang terbatas untuk mengalirkan air.</p>
3		<p><b>Dilengkapi pipa drainase</b> Penambahan pipa untuk mendorong drainase yang lebih cepat. Ini adalah jenis drainase bawah tanah yang paling umum. Pipa berlubang untuk memudahkan masuknya air dan bisa kaku atau fleksibel.</p>
4		<p><b>Drainase pipa dengan lapisan pembatas untuk mengeluarkan air permukaan</b> Adanya dua variasi lebih lanjut - tutup kedap air untuk situasi di mana saluran pembuangan dimaksudkan untuk menampung hanya aliran di bawah permukaan, dan bahan alas untuk kasus di mana dasar penggalian tidak cocok sebagai penyangga pipa.</p>

No.	Jenis saluran	Keterangan
5	 <p>The diagrams illustrate three variations of geotextile-wrapped pipes. The top diagram shows a circular pipe wrapped in geotextile, labeled 'Pipa in 1'. The middle diagram shows a vertical rectangular pipe wrapped in geotextile, labeled 'Geotextile' and 'Vertikal Geotextil'. The bottom diagram shows a square pipe wrapped in geotextile.</p>	<p><b>Varian jenis pipa yang dibungkus dengan geotekstil</b></p> <p>Menunjukkan lebih banyak elaborasi. Pipa dapat dibungkus dengan geotekstil untuk mencegah perpindahan dan hilangnya material filter. saluran geokomposit dengan berbagai konfigurasi dan pembuatan dapat disediakan. Ini biasanya plastik yang dibungkus dengan geotekstil dan berbagai sistem yang tersedia.</p>
6	 <p>The diagram shows a trench with a circular pipe at the bottom. The sides of the trench are lined with a filter layer, labeled 'Permeable Filter Layer on Trench Sides'.</p>	<p><b>Lapisan filter tanah untuk menghindari penyumbatan geotekstil</b></p> <p>Dilengkapi adanya lapisan luar bahan filter yang disediakan di sekitar geotekstil yang mencakup bahan filter. Ini dapat digunakan jika ada kemungkinan partikel atau endapan halus, mis. besi mengendap, menyumbat geotekstil.</p>

Sumber: AS/NZ 3500.3.2 (1998)

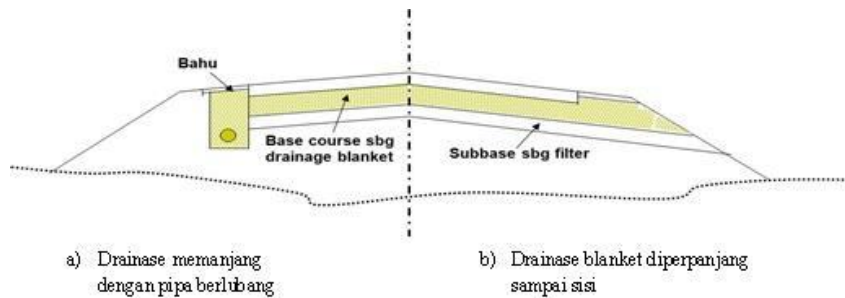
#### 11.2.4 Mencegah dan Mengeluarkan Air dari Berbagai Sumber

- a. Aliran dari berbagai sumber air yang masuk pada struktur perkerasan jalan, untuk menghilangkan atau menahan aliran air sebelum masuk struktur perkerasan, umumnya dilakukan pertama dikenal sebagai drainase bawah permukaan untuk rembesan dari perkerasan jalan, dan yang kedua untuk memotong aliran/formasi (*drain cut-off*).

b. Sistem drainase yang sesuai untuk berbagai kondisi, solusinya seperti ditunjukkan berikut ini:

1) Drainase untuk infiltrasi air permukaan:

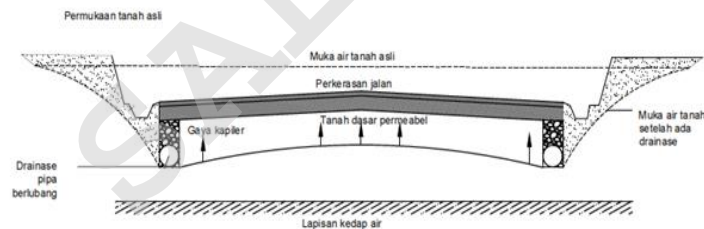
- a) Gambar 11-4. mengilustrasikan jenis drainase bawah permukaan yang sesuai untuk lapisan dasar permeable (daya lolos tanah) dan/atau lapisan permukaan dengan matrial yang relatif tidak dapat ditembus.



Sumber: Austroads *Guide to Road Design* – Part 5A

**Gambar 11-4** Drainase untuk infiltrasi permukaan dengan drainase bawah permukaan

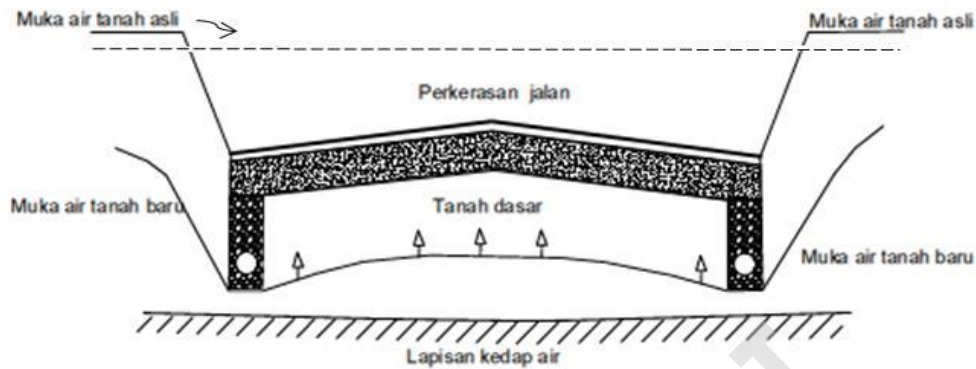
- b) Gambar 11-5 mengilustrasikan profil melintang jalan dengan dasar dan permukaan permeabel pada tanah dasar yang relatif kedap air. Lapisan pengeringan disediakan di bahu di bawah bahan permeabilitas rendah. Variasinya adalah dengan membawa jalur dasar permeabel penuh di seluruh lebar bahu.



Sumber: Austroads *Guide to Road Design* – Part 5A

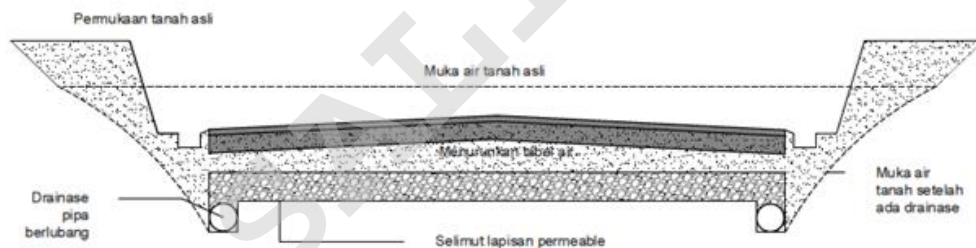
**Gambar 11-5** Drainase untuk infiltrasi air permukaan dengan drainase bawah permukaan

- 2) Drainase untuk air tanah:
  - a) Permukaan air tanah awal di atas perkerasan jalan dapat diturunkan dengan menggunakan saluran drainase bawah permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 11-6 atau selimut filter secara horizontal yang ditunjukkan pada Gambar 11-7.



Sumber: Austroads *Guide to Road Design* – Part 5A

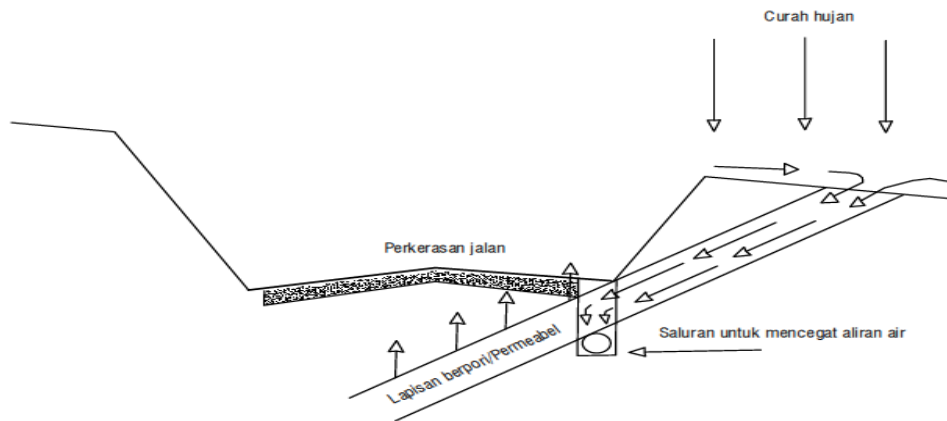
**Gambar 11-6** Saluran drainase bawah permukaan untuk menurunkan level air tanah asli



Sumber: Austroads *Guide to Road Design* – Part 5A

**Gambar 11-7 Filter permeabel untuk menurunkan efek perbedaan akuifer dan permeabel**

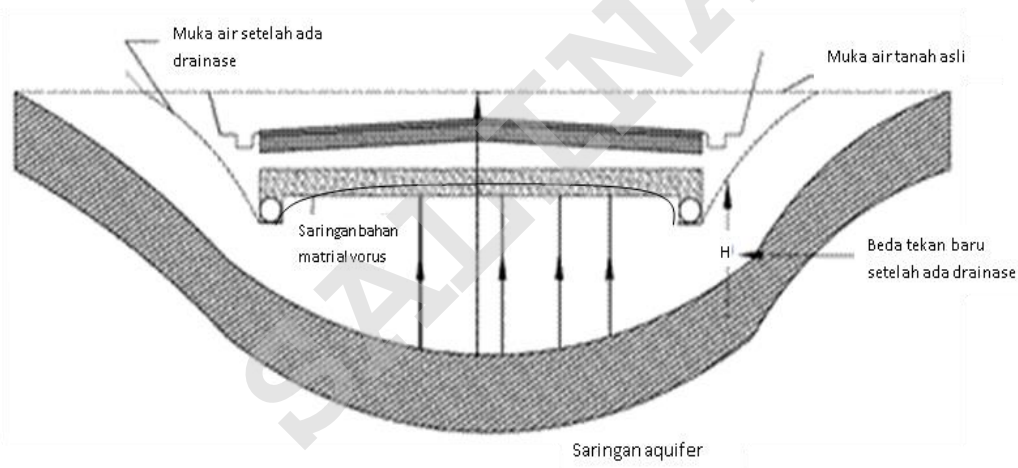
- b) Selimut filter miring bertindak sebagai penghalang. Jika air mengalir di sepanjang lapisan permeabel serong, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-8. Drainase bawah permukaan harus dibangun untuk menampung aliran ke pipa drainase sebelum memasuki struktur perkerasan jalan. Parit harus digali setidaknya sampai kedalaman lapisan permeabel.



Sumber: Austroads *Guide to Road Design* – Part 5A

**Gambar 11-8** Parit untuk mencegah aliran melalui lapisan permeabel serong

- c) Aliran ke atas dari akuifer tembus air biasanya dikendalikan dengan membuat selimut filter horizontal di dasar penggalian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-9.



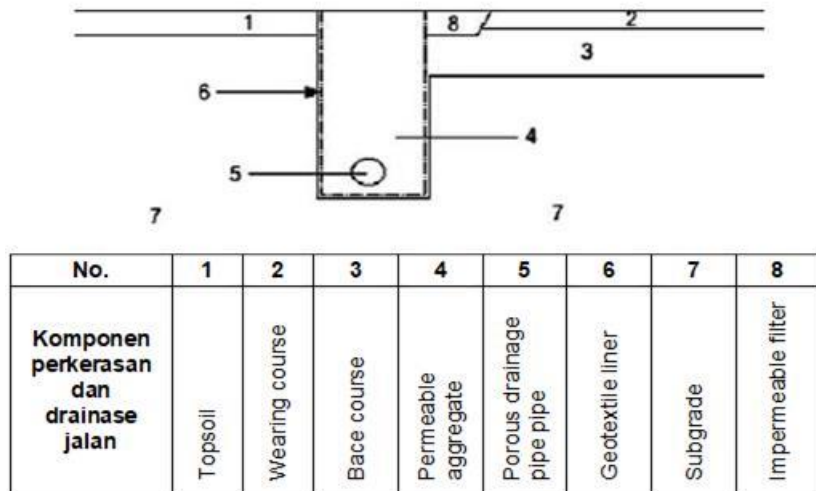
Sumber: Austroads *Guide to Road Design* – Part 5A

**Gambar 11-9** Filter permeabel untuk menurunkan efek head dari akuifer permeable



### 11.2.5 Tataletak Secara Umum Drainase Bawah Permukaan

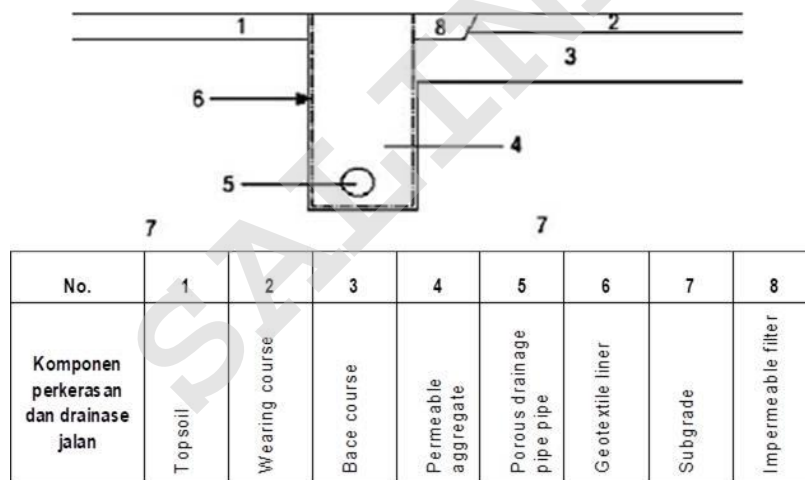
a. Saluran drainase permukaan dan bawah permukaan



Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-10** Saluran drainase permukaan dan bawah permukaan

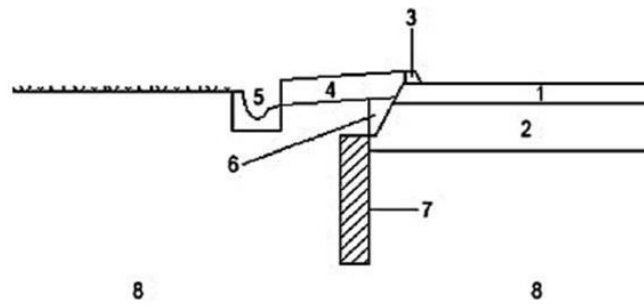
b. Drainase permukaan dan bawah permukaan prancis



Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-11** Drainase permukaan dan bawah permukaan Prancis

c. Saluran drainase permukaan dan bawah permukaan block

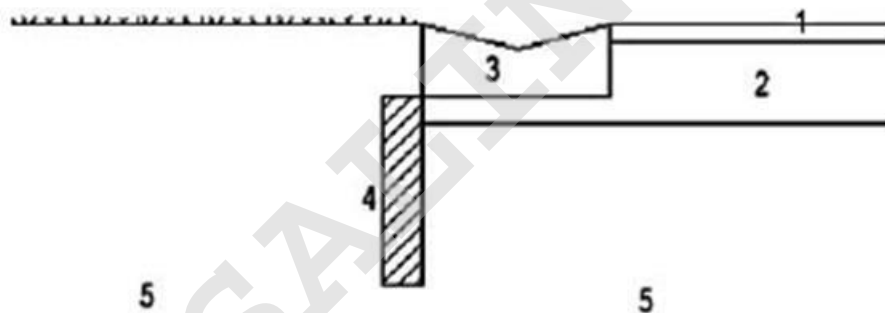


No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Komponen perkerasan dan drainase jalan	Wearing course	Base course	Kerb	konstruksi kedap air dengan sepanjang jalan	Outlet channel	Filter	Fine drain	Sub grade

Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-12** Drainase permukaan dan bawah permukaan block

d. Saluran drainase bawah permukaan dengan saluran peniris

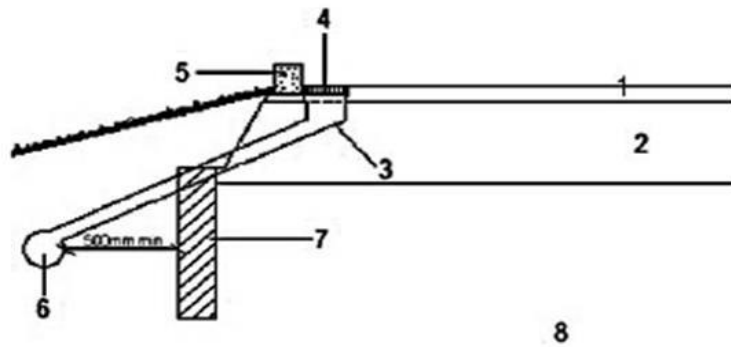


No.	1	2	3	4	5
Komponen perkerasan dan drainase jalan	Wearing course	Base course	Concrete channel	Fin drain	Sub grade

Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-13** Saluran drainase bawah permukaan dengan saluran peniris

e. Saluran drainase dan kerb

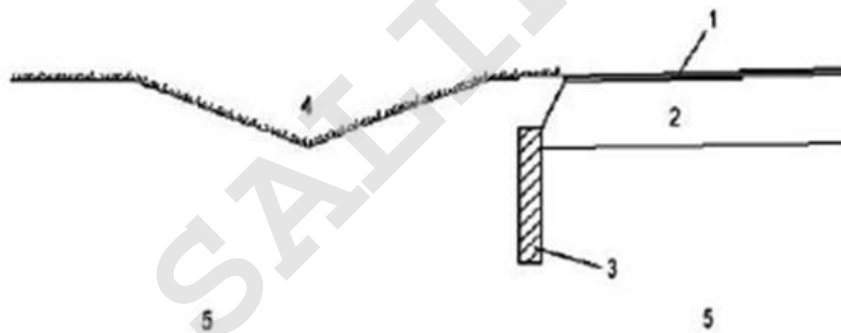


No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Komponen perkerasan dan drainase jalan	Wearing course	Base course	Gully pot	Grate	Kerb	Drainage pipe	Fine drain	Sub grade

Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-14** Saluran drainase dan kerb

f. Sengkedan dilengkapi Fin Drain (a)

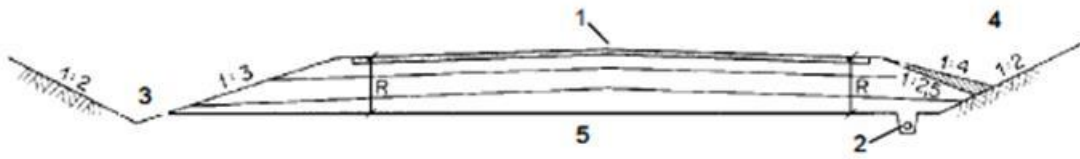


No.	1	2	3	4	5
Komponen perkerasan dan drainase jalan	Wearing course	Base course	Fine drain	Swale	Sub grade

Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-15** Sengkedan dilengkapi Fin Drain (a)

g. Sengkedan dilengkapi Fin Drain (b)

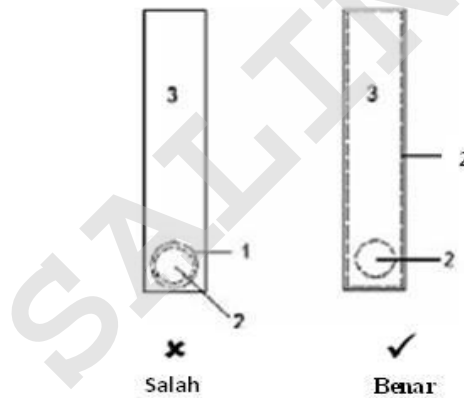


No.	1	2	3	4	5
Komponen perkerasan dan drainase jalan	Wearing course	Trench drain	Ditch	Swale	Sub grade

Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-16** Sengkedan dilengkapi Fin Drain (b)

h. Pemasangan filter/geotekstil pada saluran drainase bawah permukaan model prancis.



No.	1	2	3
Komponen perkerasan dan drainase jalan	Geotextile	Slotted drainage pipe	Permeable aggregate filter

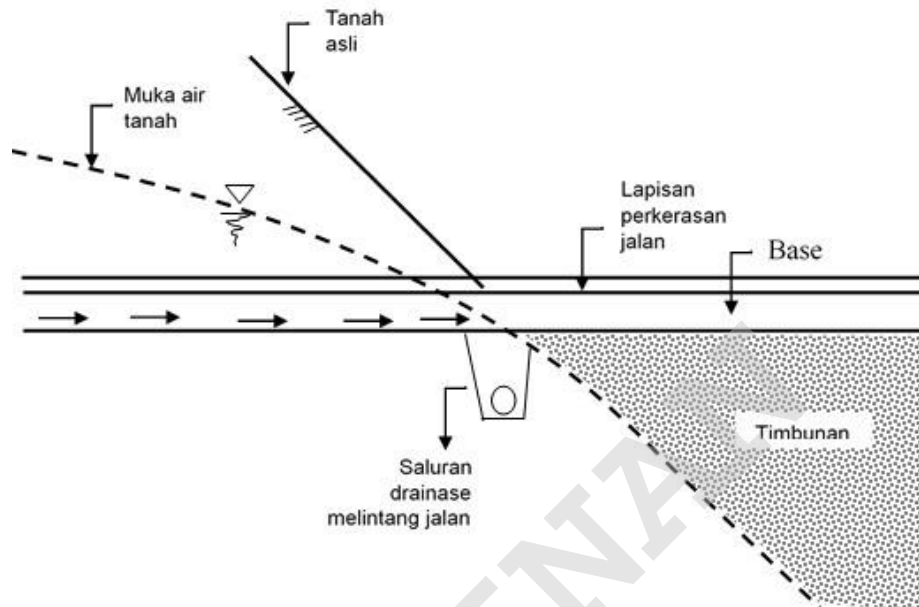
Sumber: (WATMOVE, Fredlund et al., 1994)

**Gambar 11-17** Pemasangan geotekstil pada saluran drainase bawah permukaan prancis

- i. Pemasangan filter/geotekstil, umumnya diterapkan pada :
- 1) Antara base atau *subbase course* dan *subgrade*.
  - 2) Sekitar parit drainase, dan
  - 3) Sekitar pipa berlubang.

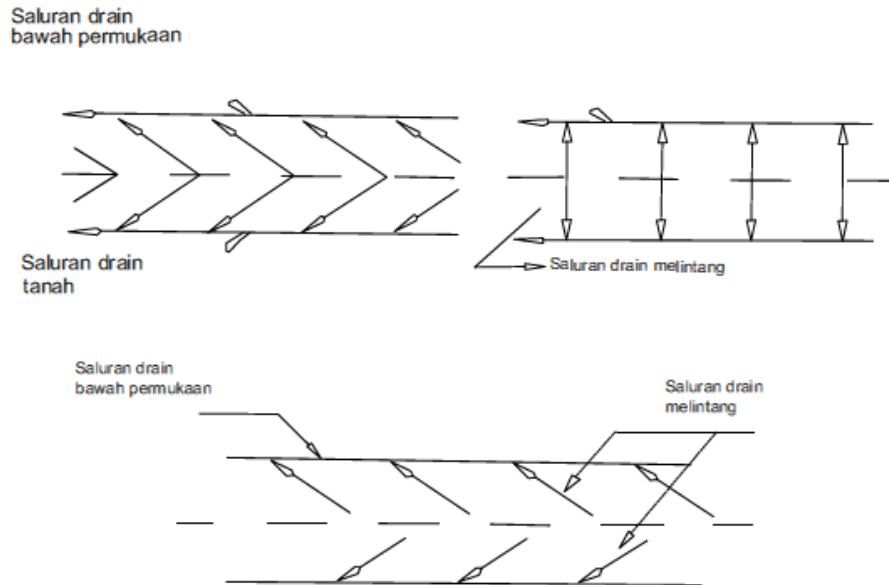
### 11.2.6 Drainase Bawah Permukaan Melintang Jalan

- Apabila ketentuan-ketentuan drainase bawah permukaan tidak dapat dipenuhi oleh saluran drainase memanjang maka perlu melakukan saluran drainase melintang.
- Saluran melintang ditempatkan di daerah transisi antara galian dan urugan, seperti ditunjukkan pada Gambar 11-18.



**Gambar 11-18** Sketsa saluran drainase melintang

- Infiltrasi dari subgrade dapat dicegah secara efektif dengan mengkombinasikan saluran drainase dengan lapisan lulus air di bawah base.
- Posisi saluran dapat dipasang tegak lurus sumbu jalan atau jika jalan memiliki kemiringan memanjang, saluran melintang harus dipasang menurut arah diagonal Gambar 11-19.
- Pipa berlubang (perforasi) dapat ditempatkan pada dasar saluran drainase atau sisi saluran. saluran drainase melintang dihubungkan dengan saluran drainase samping.



**Gambar 11-19** Saluran *drain* yang dipasang secara melintang jalan

### 11.2.7 Pemasangan Pipa Berlubang

- a. Kedalaman parit drainase: Kedalaman parit di mana aliran bawah permukaan harus dicegagat ditentukan berdasarkan tingkat lapisan kedap air, jenis tanah dan persyaratan di mana aliran bawah permukaan harus dipertahankan.
- b. Secara teoritis semakin dalam pemasangan pipa, maka semakin lebar antar pipa.
- c. Dalam praktek ada beberapa pembatas dalam penentuan kedalaman pipa yang dipasang yaitu :
  - 1) Elevasi muka air yang dipertahankan pada saluran kolektor.
  - 2) Terdapatnya lapisan tanah yang kurang sesuai yaitu dapat berupa lapisan kedap pada kedalaman yang dangkal dari permukaan tanah.
- d. Ketentuan pemasangan drainase pipa sesuai dengan kemiringan tanah ditunjukkan pada Tabel 11-2.
- e. Panjang pipa drainase sesuai dengan kemiringan tanah ditunjukkan pada Tabel 11-2.

**Tabel 11-2** Panjang pipa drainase sesuai kemiringan tanah

Kondisi kemiringan / pemasangan	Panjang
Daerah datar dengan kemiringan Minimum 2%	Maks. 150 meter Ada penurunan 0,30 meter untuk panjang 150 meter
Daerah dengan kemiringan yang memungkinkan pipa dipasang sejajar	Panjang pipa tidak terbatas

dengan permukaan tanah	
Daerah lebih curam	< 600 meter

f. Jarak antara pipa drainase, ditunjukkan pada Tabel 11-3.

**Tabel 11-3** Jarak interval antara pipa-pipa drainase

Jarak interval antara pipa-pipa drainase	Uraian
15 - 50	Umum digunakan
> 50	Tanah sangat permeabel
< 15	Biaya tinggi

g. Ketentuan komponen bahan material, ditunjukkan pada Tabel 11-4.

**Tabel 11-4** Penempatan bahan komponen pipa drainase

Komponen	Kegiatan	Uraian
Pipa perforasi	Penempatan	Diliput oleh bahan filter sebagai pelindung, yang didistribusikan diameter butirannya
Bahan filtrasi kurang baik	Penempatan	Perforasi dibuat hanya bagian bawah pipa yaitu sepanjang 1/3 keliling pipa
Bahan urugan	Pengurugan	Pada saluran drain harus diiringi dengan pemadatan (compaction) yang baik, agar aman terhadap penurunan atau deformasi di kemudian hari

h. Lokasi penempatan pipa drainase bawah permukaan, ditunjukkan pada Tabel 11-5.

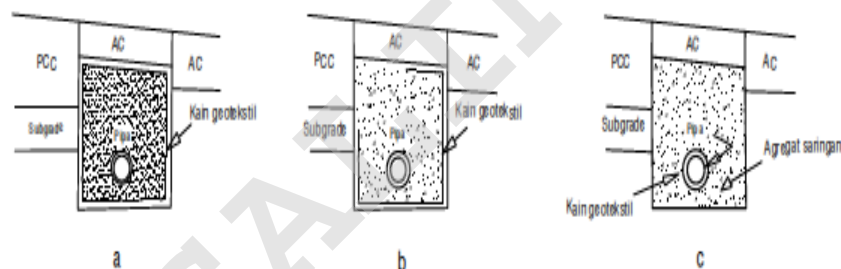
**Tabel 11-5** Lokasi saluran bawah permukaan

Lokasi saluran bawah permukaan	Uraian
Di bawah saluran samping atau perkerasan jalan	Permukaan atas urugan masih dianggap kedap air atau air permukaan dianggap tidak melakukan infiltrasi ke dalam saluran bawah permukaan.
Di bawah bahu jalan	Permukaan atau urugan bahan filter harus dilapisi dengan

	<p>lapisan (tanah) setebal 30 cm dengan permeabilitas yang sangat kecil dan cukup padat, untuk mencegah infiltrasi air permukaan</p>
--	--

### 11.2.8 Pemasangan kain geotekstil pada drainase bawah permukaan

- a. Umum dilakukan dalam penempatan lebar kain filter geotekstil :
- 1) Kain geotekstil merupakan lembaran filter terbuat dari poliester, nilon atau filamen polipropilen yang tembus air.
  - 2) Pada seluruh keliling parit dibungkus dengan lembar kain geotekstil untuk memisahkan timbunan masuk dari tanah dasar, alas, subbase dan bahan apa pun yang menutupi parit (Gambar 11-20 bagian a).
  - 3) Pada sebagian pojok parit dikosongkan sesuai arah kedatangan rembesan air (Gambar 11-20 bagian b).
  - 4) Pada selimut keliling pipa berlubang/perforasi (Gambar 11-20 bagian c).



**Gambar 11-20** Pemasangan lembar geotekstil pada drainase bawah permukaan

### 11.2.9 Pemasangan pipa berlubang

- a. Saluran drainase yang apabila bahan dari tanah berpasir yang baik, maka saluran dapat diurug kembali setelah tanah berpasir (granuler) diratakan menurut ketinggian yang diinginkan dan sesudah ukuran pipa berlubang.
- b. Pemasangan pipa berlubang sesuai dengan jenis tanah, seperti ditunjukkan pada Tabel 11-6.



**Tabel 11-6** Pemasangan pipa berlubang sesuai jenis tanah

Jenis tanah	Pemasangan
Bahan dari saluran drain terdiri atas tanah berpasir yang baik.	Saluran dapat diurug kembali setelah tanah berpasir diratakan menurut ketinggian yang diinginkan dan sesudah pipa perforasi ditaruh di atasnya.
Dasar saluran terdiri dari lapisan batuan yang keras.	Saluran harus digali kembali ke bawah sampai bertambah kedalamannya + 10 cm, kemudian diisi dengan kerikil dan batu pecah dan dipadatkan dengan seragam.
Tanah lunak dan tidak stabil	<ol style="list-style-type: none"><li>Dasar saluran harus dilapisi batu pecah, kerikil, atau pasir dengan ketebalan yang layak.</li><li>Saluran drain diurug kembali dengan bahan filter sampai ketebalan 15 cm</li><li>Bahan pengurugan harus dari pasir yang tidak</li><li>mengandung kerikil dengan butiran &gt; 10cm</li><li>Pemadatan bahan urugan dilakukan dengan hati-hati.</li><li>Jika ujung pipa dihubungkan dengan pipa drain utama, atau berhubungan dengan udara bebas, maka pipa harus ditutup dengan tirai pelindung dari logam atau dipagar.</li><li>Diameter pipa perforasi &lt; 30cm.</li></ol>

Sumber: Pd.T-02-2006-B.

- Ketentuan bentuk galian saluran/parit drainase bawah permukaan tergantung pada; air tanah, kondisi tanah, jenis peralatan, dan metode pelaksanaan serta lainnya.
- Lebar penggalian lebih besar dari diameter pipa perforasi (> 30 cm), ini dimaksudkan untuk pemasangan pipa perforasi dan pemadatan bahan pada saat pengurugan kembali dapat dikerjakan dengan mudah.
- Dinding saluran dibuat se-vertikal mungkin.
- Penggalian saluran pada kaki lereng harus disediakan jarak-antara kaki lereng dan galian saluran, ini dimaksudkan untuk menghindari keruntuhan lereng.

### 11.2.10 Ketentuan bahan material

- a. Suatu lapisan lulus air terdiri dari tanah dengan butiran kasar untuk mencegah kenaikan air akibat kapilaritas, dengan ketentuan seperti ditunjukkan pada Tabel 11-7.

**Tabel 11-7** Persyaratan bahan filter

Penggunaan bahan filter	Ketentuan
Mengisi atau mengurug saluran drainase apabila pipa perforasi sudah dipasang di dasar saluran.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harus benar-benar lulus air dan terdiri dari pasir alam bergradasi baik, atau kerikil atau batu pecah dengan gradasi yang terkontrol</li> <li>• Bahan harus memiliki stabilitas butiran yang sangat baik.</li> </ul>
Lapisan lulus air sudah dipasang di subgrade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tahan cuaca</li> <li>• Tidak larut</li> <li>• Memiliki kurva distribusi butiran subgrade, butiran lubang subgrade dan diameter lubang pipa perforasi.</li> </ul>

Sumber: Pd.T-02-2006-B.

- b. Agar material tidak tersumbat oleh partikel-partikel halus yang masuk dari sub grade maka harus dipenuhi Rumus seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11-8.

**Tabel 11-8** Ketentuan diameter butir

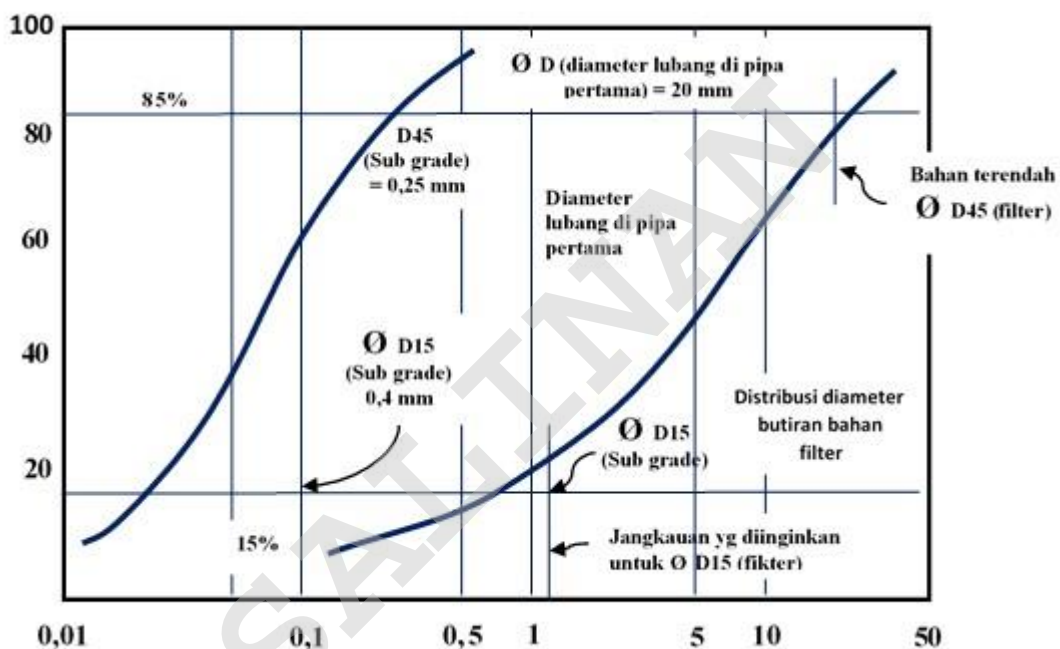
Kondisi	Ketentuan
Material filter tidak tersumbat partikel halus yang masuk dari subgrade.	$\frac{D_{15} (filter)}{D_{85} (subgrde)} \leq 5$
Material filter cukup lulus air terhadap subgrade.	$\frac{D_{15} (filter)}{D_{85} (subgrde)} > 5$
Dengan: $D_{15}$ 15% diameter material pada kurva distribusi diameter butiran. $D_{85}$ 85% diameter material pada kurva distribusi diameter butiran.	

Sumber: Pd.T-02-2006-B.

- c. Diameter butiran dari bahan filter ditentukan oleh Diameter lubang perforasi atau Jarak interval pipa-pipa (apabila digunakan pipa yang tidak diperforasi, tetapi ada lubang di sambungan) dengan persyaratan sesuai Rumus 50).

$$\frac{D_{85} \text{ (filter)}}{D_{\text{(diameter lubang perforasi atau lubang sambungan pipa)}}} > 2 \quad 50)$$

- d. Bentuk kurva distribusi butiran yang baik adalah kurva berbentuk mulus dan kurang lebih sejajar dengan kurva distribusi diameter. Untuk butiran subgrade, lihat Gambar 11-21. Sub grade mengandung kerikil dengan diameter butiran yang sangat besar, maka kurva dibuat dengan tanpa mencakup partikel-partikel berdiameter > 25 mm.



Sumber: CEN, 2002.

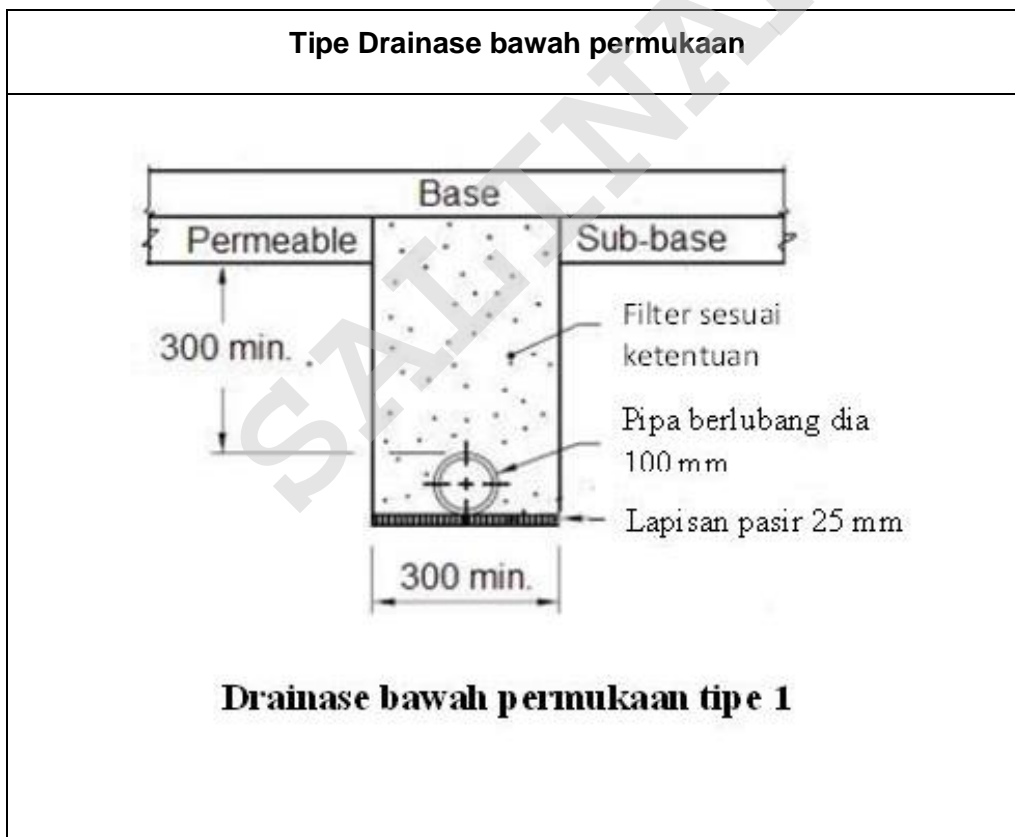
**Gambar 11-21** Kurva distribusi diameter butiran dari bahan filter

- e. Ukuran dan jumlah lubang perforasi pada pipa pembuangan: Ukuran dan jumlah lubang per meter panjang pipa ditentukan sedemikian rupa sehingga:
- 1) Pipa harus dapat menahan semua air yang masuk ke saluran pembuangan tanpa menyebabkan head yang tinggi pada material filter karena hal ini akan mengurangi kedalaman Keterangan muka air dapat diturunkan dan kecepatan penurunannya
  - 2) Lubang harus cukup kecil untuk mencegah bahan saringan masuk ke pipa dan menyumbat lubang.
  - 3) Kriteria berikut telah direkomendasikan sehubungan dengan ukuran lubang pipa. Ukuran maksimum lubang melingkar =  $D_{85}$

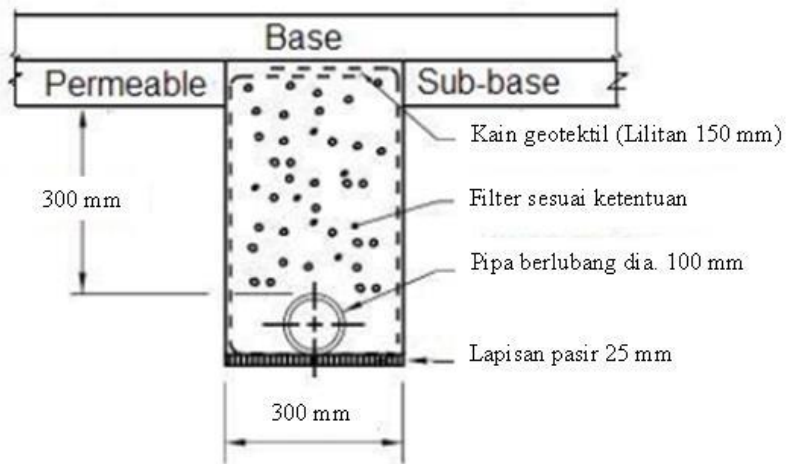
4) Lebar maksimum lubang berlubang =  $0.83 * D_{85}$  .

### 11.2.11 Dimensi Komponen Saluran Drainase Bawah Permukaan

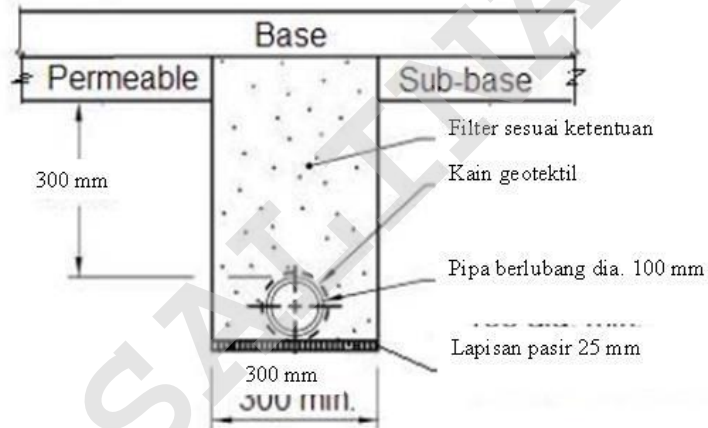
- Pipa drainase bawah permukaan bisa diselubungi oleh filter kain geotekstil satu tahap, atau dua tahap.
- Bahan filter dapat terdiri dari agregat (mulai dari ukuran pasir hingga ukuran batuan), kain geotekstil atau kombinasi agregat dan geotekstil.
- Tingkat penyaringan akan ditentukan oleh jenis tanah yang berlaku dan persyaratan lingkungan pada pembuangan.
- Drainase bawah permukaan, cara baru adalah drainase geokomposit atau drainase tepi geokomposit, dibuat sebelumnya inti polimer yang dibungkus dengan kain geotekstil, seperti ditunjukkan pada Gambar 11-22.
- Dimensi komponen drainase bawah permukaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 11-22 (Austroads. 1994).



## Tipe Drainase bawah permukaan

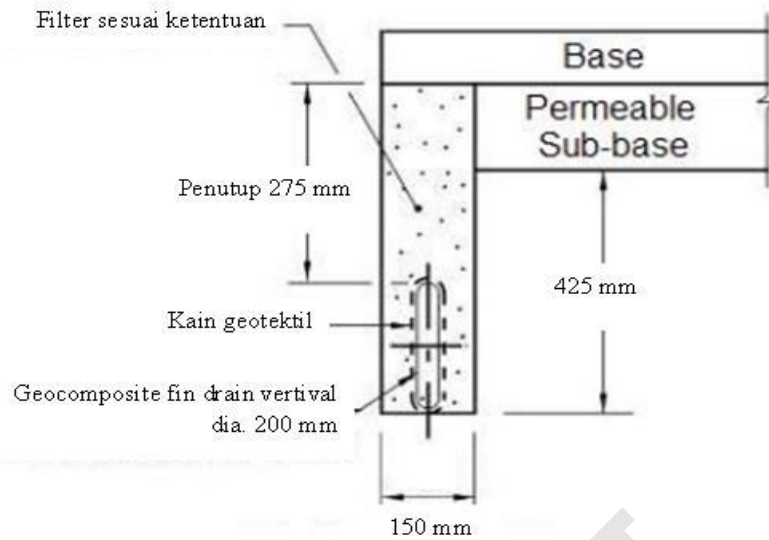


**Drainase bawah permukaan tipe 2**

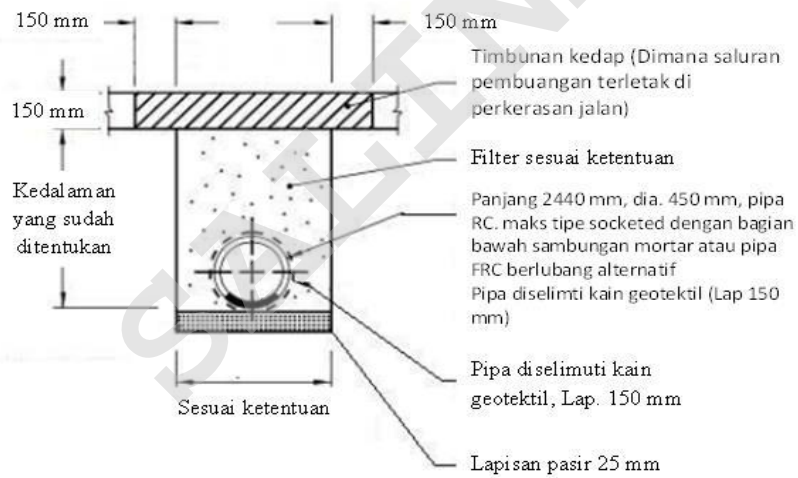


**Drainase bawah permukaan tipe 3**

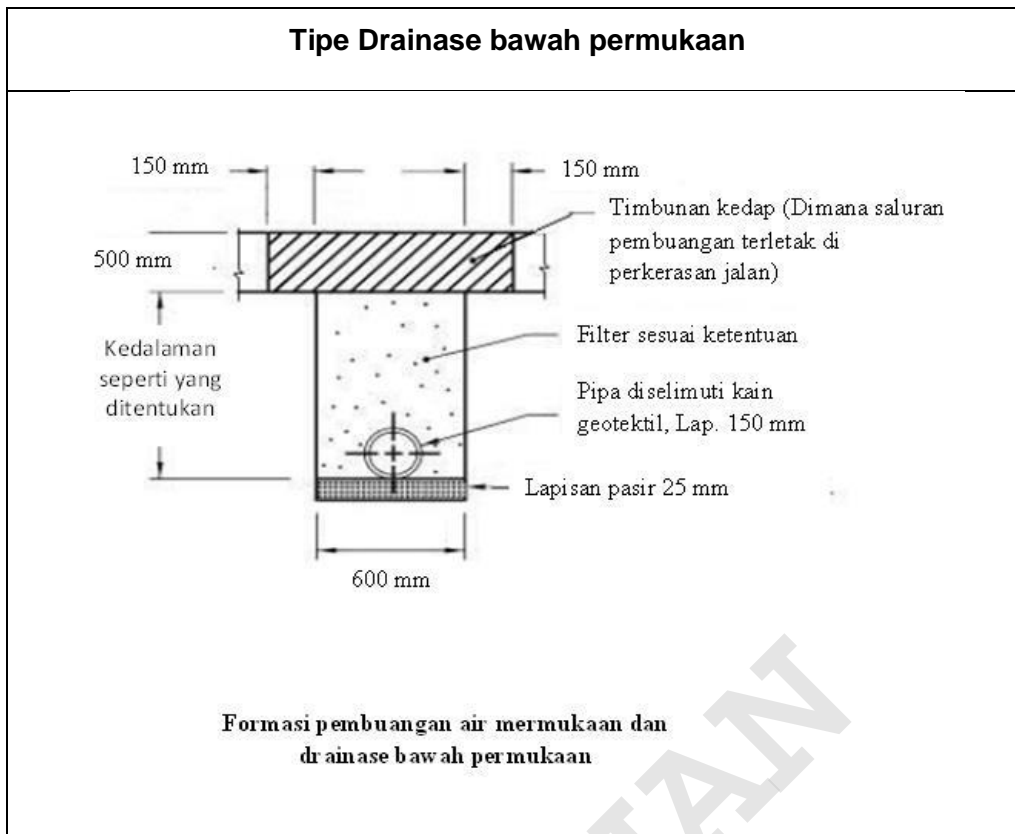
### Tipe Drainase bawah permukaan



### Drainase bawah permukaan tipe 4



Gabungan drainase bawah permukaan dengan air permukaan/hujan



Sumber; Austroads (1994)

**Gambar 11-22** Jenis drainase bawah permukaan

### 11.2.12 Pemasangan Dan Sifat Saluran Drainase Bawah Permukaan

- 1) Lokasi penempatan ditunjukkan pada Gambar 7-5.
- 2) Sifat komponen, ditunjukkan pada Gambar 7-6.

**Tabel 11-9** Pemasangan saluran bawah permukaan samping jalan sesuai kondisi medan

Kondisi medan	Pemasangan saluran	Keterangan	Kedalaman
Daerah datar	Kedua sisi jalan		Berkisar 1,5 s/d 3,0 meter, bisa berubah tergantung keadaan topografi dan level muka air tanah setempat.
Daerah lereng	Satu sisi tertinggi pada jalan	Air tanah mengalir hanya dalam satu arah	
Jalan sangat lebar	Di bawah median dan dikedua sisi jalan		
Daerah yang banyak mengandung air tanah	Selain saluran drainase samping, perlu lapisan tak kedap air yang dipasang di sepanjang batas antara subgrade dan		

Kondisi medan	Pemasangan saluran	Keterangan	Kedalaman
		base atau di dalam urugan tanah atau subgrade untuk membawa aliran	

**Tabel 11-10** Sifat dan pemasangan pipa berlubang/perforasi

Komponen	Sifat	Uraian
Pipa perforasi	Pemasangan	Dasar saluran, celah antara, di sambungan pipa jika tidak terdapat lubang
Lubang perforasi	Jenis	Tidak boleh terlalu besar karena butiran tanah dapat masuk ke dalam pipa
Sambungan pipa	Ukuran celah pipa + 3 mm	Diliput lapisan geotekstil untuk mencegah masuknya tanah ke dalam pipa
Kemiringan pipa	Penempatan	Tidak boleh kurang dari 2‰ untuk menghasilkan kecepatan + 0,3 m/detik

### 11.3 Komponen Desain

- a. Aliran masuk ke dalam struktur perkerasan jalan, harus mencakup dari semua sumber yang memungkinkan, dengan rumus :

$$q_n = q_i + q_g + q_m + q_a \quad 51)$$

Keterangan :

$q_n$  = debit aliran rencana yang masuk

$q_i$  = debit aliran masuk dari infiltrasi

$q_g$  = debit aliran masuk dari aliran gravitasi air tanah

$q_m$  = debit aliran masuk dari air es yang mencair

$q_a$  = debit aliran masuk dari sumber artesis di bawah perkerasan.

- b. Drainase bawah permukaan berkaitan dengan proses pembuangan air yang terkandung dalam lapisan struktur perkerasan jalan, akibat dari adanya rembesan/infiltrasi dan daya kapiler dari berbagai arah dan/atau adanya muka air tanah yang tinggi.
- c. Proses pembuangan dilakukan dengan tiga cara, yaitu:
- 1) Mengalirkan dengan hukum gravitasi, Air dari daerah sekitarnya dapat diserap oleh tanah kemudian dialirkan secara gravitasi ke daerah di bagian



bawah struktur perkerasan, ini yang umum dilakukan yang disebut drainase bawah permukaan.

- 2) Kenaikan kapiler, adalah kenaikan air di atas tingkat tekanan nol karena gaya ke atas yang dihasilkan oleh tarikan molekul air ke permukaan lebih padat.
  - 3) Mengalirkan dengan cara ditekan/pompa.
- d. Komponen drainase bawah permukaan dikelompokkan dalam empat katagori umum, yaitu:
- 1) Mekanisme dari geometrik utama (kedalaman saluran, pipa drainase, lapisan struktur perkerasan dan muka air tanah), aliran dan sumber air.
  - 2) Sifat bahan lapisan drainase.
  - 3) Data klimatologi.
  - 4) Peta topografi berskala cukup besar (skala 100 atau 200) sehingga fitur-fitur yang berkaitan dengan drainase permukaan dan bawah permukaan, dapat diidentifikasi dengan jelas.

#### 11.4 Mendesain Drainase Bawah Permukaan

##### 11.4.1 Desain Hidrologi

- a. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memperkirakan jumlah maksimum air yang diharapkan mencapai sistem drainase yang sedang dipertimbangkan.
- b. Sebagian air hujan menguap dan menyusup dan sisanya disebut limpasan yang mengalir di atas permukaan. Untuk memperkirakan air limpasan puncak untuk drainase jalan, yaitu:  $Q = C \cdot I \cdot A$ .
- c. Curah hujan yang akan jatuh di lokasi tertentu, jumlah air yang dapat diserap oleh permukaan perkerasan dan jumlah air yang harus dikeluarkan oleh perkerasan tersebut dalam waktu yang ditentukan.
- d. Tahapan desain drainase bawah permukaan, meliputi;
  - 1) perkiraan curah hujan.
  - 2) perkiraan infiltrasi permukaan.
  - 3) kapasitas aliran lapisan drainase dasar dan subbase.
  - 4) agregat untuk dasar yang dapat mengalirkan.
  - 5) desain saluran, filter, pipa, kain geotekstil dan rincian spesifikasi konstruksi serta pertimbangan pembuangan (*outlet*).

##### 11.4.2 Desain Hidrolika Debit Aliran Cara Permeabilitas Tanah

- a. Untuk desain drainase bawah permukaan, bahwa permukaan perkerasan jalan diasumsikan permeable (AASHTO and FHWA).

b. Air yang tiba di permukaan perkerasan dapat merembes ke dalam lapisan tanah dasar melalui diskontinuitas permukaan seperti sambungan, retakan, tepi bahu dan kerusakan lainnya di permukaan perkerasan dalam  $m^2$  perkerasan jalan (satu kaki persegi perkerasan/cu ft/ day/sq ft) dapat ditentukan dengan dua metode (FHWA, 1992). Ini dikenal sebagai rasio infiltrasi dan metode infiltrasi retak.

1) Rembesan, metoda rasio infiltrasi/rembesan ke dalam lapisan perkerasan, debit yang bisa masuk dihitung dengan Rumus:

$$q_i = 2 \cdot C \cdot R \quad 51)$$

Keterangan :

$q_i$  = tingkat infiltrasi desain ( $ft^3$  / hari per  $ft^2$  lapisan drainase).

$C$  = rasio infiltrasi.

$R$  = intensitas curah hujan.

c. Rembesan, metoda infiltrasi kerusakan (ketidak seragaman) dapat masuk ke dalam lapisan subgrade melalui permukaan, debit yang masuk bisa dihitung menggunakan Rumus:

$$q_i = I_c \left[ \frac{N_c}{W} + \frac{W_c}{W C_s} \right] + K_p \quad 52)$$

Keterangan :

$q_i$  = tingkat infiltrasi desain ( $ft^3$  / hari per  $ft^2$  lapisan drainase)

$I_c$  = laju infiltrasi retakan ( $ft^3$  / hari per kaki retakan)

$N_c$  = jumlah retakan longitudinal yang berkontribusi

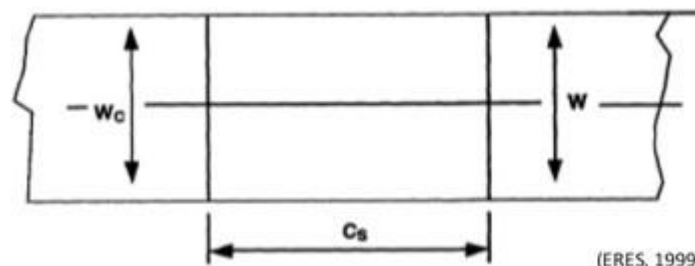
$W_c$  = panjang retakan melintang yang berkontribusi sendi

$W$  = lebar dari granular base atau subbase yang menjadi sasaran infiltrasi

$C_s$  = jarak celah atau sambungan melintang

$k_p$  = laju infiltrasi, secara numerik sama dengan koefisien permeabilitas, melalui permukaan perkerasan tidak retak.

$N_c$  = Untuk retakan "normal" atau sambungan perkerasan baru maka  $N_c = (N + 1)$  Keterangan N adalah jumlah jalur lalu lintas.



- d. Debit rembesan ditentukan dengan rumus:

$$q_d = q_i \cdot L_R \quad 53)$$

Keterangan :

$q_d$  = Debit pembangunan permeabel, cu ft / hari / ft dari dasar.

$q_i$  = Infiltrasi perkerasan, kaki kubik / hari / kaki persegi

$L_R$  = Panjang resultan dari alas, ft

Debit ini,  $q_d$ , merupakan aliran dari kaki garis dasar jalan yang permeabel ke dalam sistem edgedrain.

- e. Pada aliran melalui media berpori serupa dengan aliran melalui seikat tabung kapiler,  $K_p$  dapat dihitung dengan rumus:

$$K = D_s^2 \cdot \frac{\gamma}{\mu} \frac{e^3}{(1+e)} \cdot C \quad 54)$$

Keterangan :

$k$  = koefisien permeabilitas

$D_s$  = beberapa diameter partikel efektif

$\gamma$  = berat satuan air

$\mu$  = viskositas permanent

$e$  = rasio kekosongan

$C$  = faktor bentuk.

- f. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan mencapai tingkat drainase 50%, menggunakan rumus:

$$t = \frac{n_c \cdot D^2}{2880 \cdot k \cdot H_0} \quad 55)$$

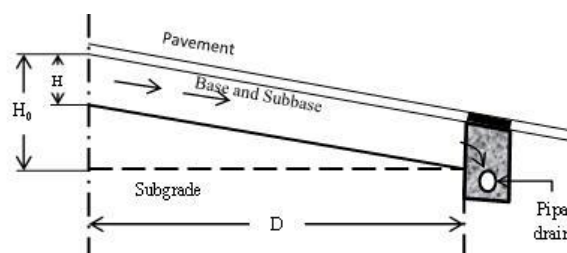
Keterangan :

$t$  = waktu (hari)

$n_e$  = porositas efektif

$k$  = koefisien permeabilitas (ft / min)

$D, H_0$  = dimensi dari base course perkerasan (ft) seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini;



**Gambar 11-23** Geometrik Pengurasan

g. Debit air dari pengurasan, menggunakan Rumus:

$$q = \frac{k \cdot H \cdot H_0}{60 \cdot D} \quad (56)$$

Keterangan :

q = kuantitas debit puncak drain (ft<sup>3</sup> / s per linier ft).

h. Desain debit dan dimensi saluran pipa drainase dengan berbagai pertimbangan; seperti; tipe pipa, Rumus aliran dalam berbagai situasi aliran seragam dan tidak seragam, dan faktor pengaman. Ringkasan aliran dalam pipa, seperti ditunjukkan dalam Tabel 11-11.

**Tabel 11-11** Ringkasan Rumus Aliran Dalam Pipa

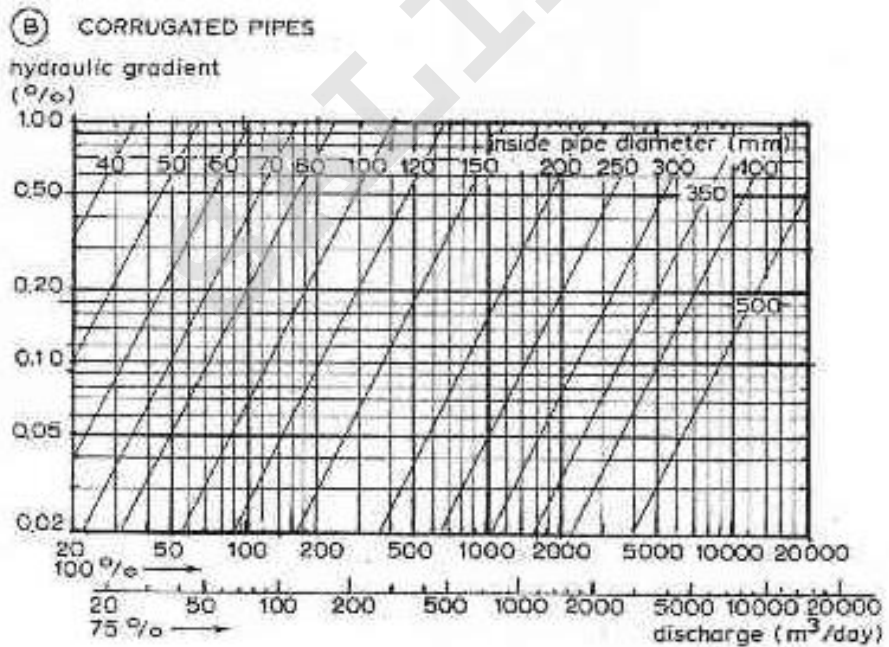
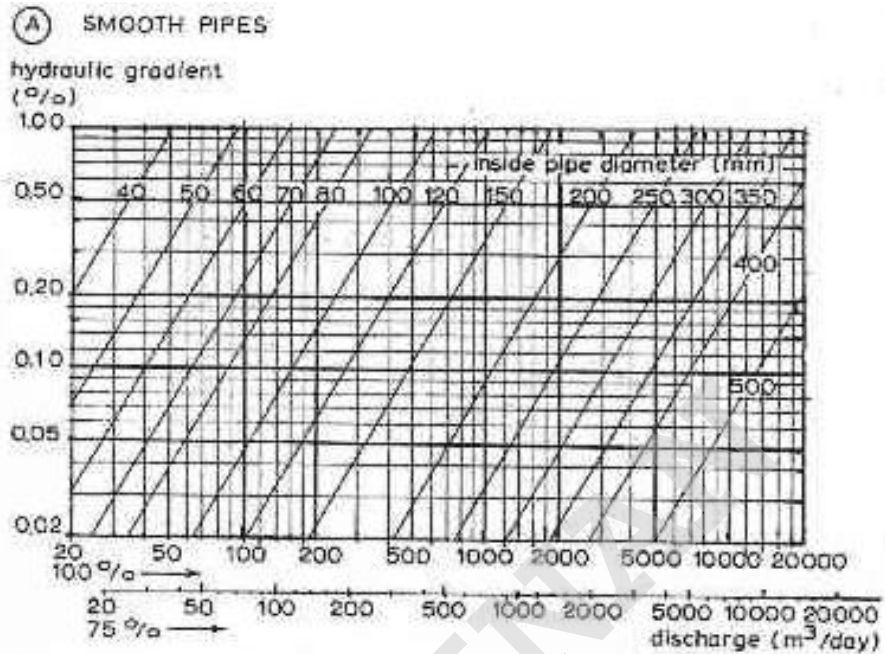
Keterangan	Aliran seragam	Aliran tak-seragam
Rumus umum	$i = \frac{Z}{X} = C \cdot d^\alpha \cdot Q^\beta$ $Q = C^{1/\beta} \cdot d^{\alpha/\beta} \cdot i^{1/\beta}$	$i = \frac{H}{L} = \frac{1}{\beta + 1} \cdot C \cdot d^{-\alpha} \cdot Q_L^\beta$ $Q_L = q \cdot B \cdot L$ $Q_L = (\beta + 1)^{1/\beta} \cdot C^{1/\beta} \cdot d^{\alpha/\beta} \cdot i^{1/\beta}$
Rumus Pipa halus	$\alpha = 4,75 \quad \beta = 1,75$ $i = \frac{Z}{X}$ $= 26,3 \cdot 10^{-4} \cdot a \cdot d^{-4,75} \cdot Q^{1,75}$ $Q = 30 \cdot a^{-0,572} \cdot d^{2,714} \cdot i^{0,572}$ untuk a = 0,40, $Q = 50 \cdot d^{2,714} \cdot i^{0,572}$	$i = 9,57 \cdot 10^4 \cdot a \cdot d^{-4,75} \cdot Q_L^{1,75}$ $Q_L = 53,4 \cdot a^{-0,572} \cdot d^{2,714} \cdot i^{0,572}$ $Q_L = 89 \cdot d^{2,714} \cdot i^{0,572}$
Rumus Pipa bergelombang	$\alpha = 5,333 \quad \beta = 2$ $i = 10,25 \cdot k_m^{-2} \cdot d^{-5,33} \cdot Q^2$ $Q = 0,312 \cdot k_m \cdot d^{2,667} \cdot i^{0,5}$ untuk $k_m = 70$ , $Q = 22 \cdot d^{2,667} \cdot i^{0,5}$	$i = 3,413 \cdot k_m^{-2} \cdot d^{-5,33} \cdot Q_L^2$ $Q = 0,54 \cdot k_m \cdot d^{2,667} \cdot i^{0,5}$ $Q_L = 38 \cdot d^{2,667} \cdot i^{0,5}$

Keterangan :

X = Z (Jarak dari puncak muka air tanah ke saluran pipa)

H = Perbedaan energy (kedalaman pipa dari puncak muka air).

- i. Dari ringkasan Rumus aliran dalam pipa dirumuskan dalam diagram penentuan kapasitas pipa, seperti ditunjukan pada Tabel 11-11.



A : untuk pipa halus; pers. Wesseling :  $Q = 50 d^{2.714} i^{0.572}$

B : untuk pipa gelombang; pers. Manning :  $Q = 22 d^{2.667} i^{0.5}$

Gambar 11-24 Diagram untuk penentuan kapasitas pipa

- j. Aliran tana ke dalam struktur perkerasan jalan, langkah pertama menentukan “radius pengaruh tekanan” atau pengaruh jarak *drawdown*, dengan menggunakan rumus:

$$L_i = 3,8 (H - H_0) \quad 57)$$

Keterangan :

$L_i$  = jarak pengaruh (ft).

H dan  $H_0$  = jarak drawdown.

- k. Nilai  $L_i$  dievaluasi menggunakan grafik Gambar 11-25 untuk menentukan jumlah total aliran ke atas, aliran air yang masuk rata-rata ( $q_g$ ) dapat dihitung dari hubungan tersebut, seperti berikut:

$$q_g = \frac{q_2}{0,5 W} \quad 58)$$

Keterangan :

$q_g$  = laju aliran air (cu. Ft / day / sq).

$Q_2$  = total aliran ke atas menjadi setengah dari selimut drainase (kaki kubik/ hari / kaki)

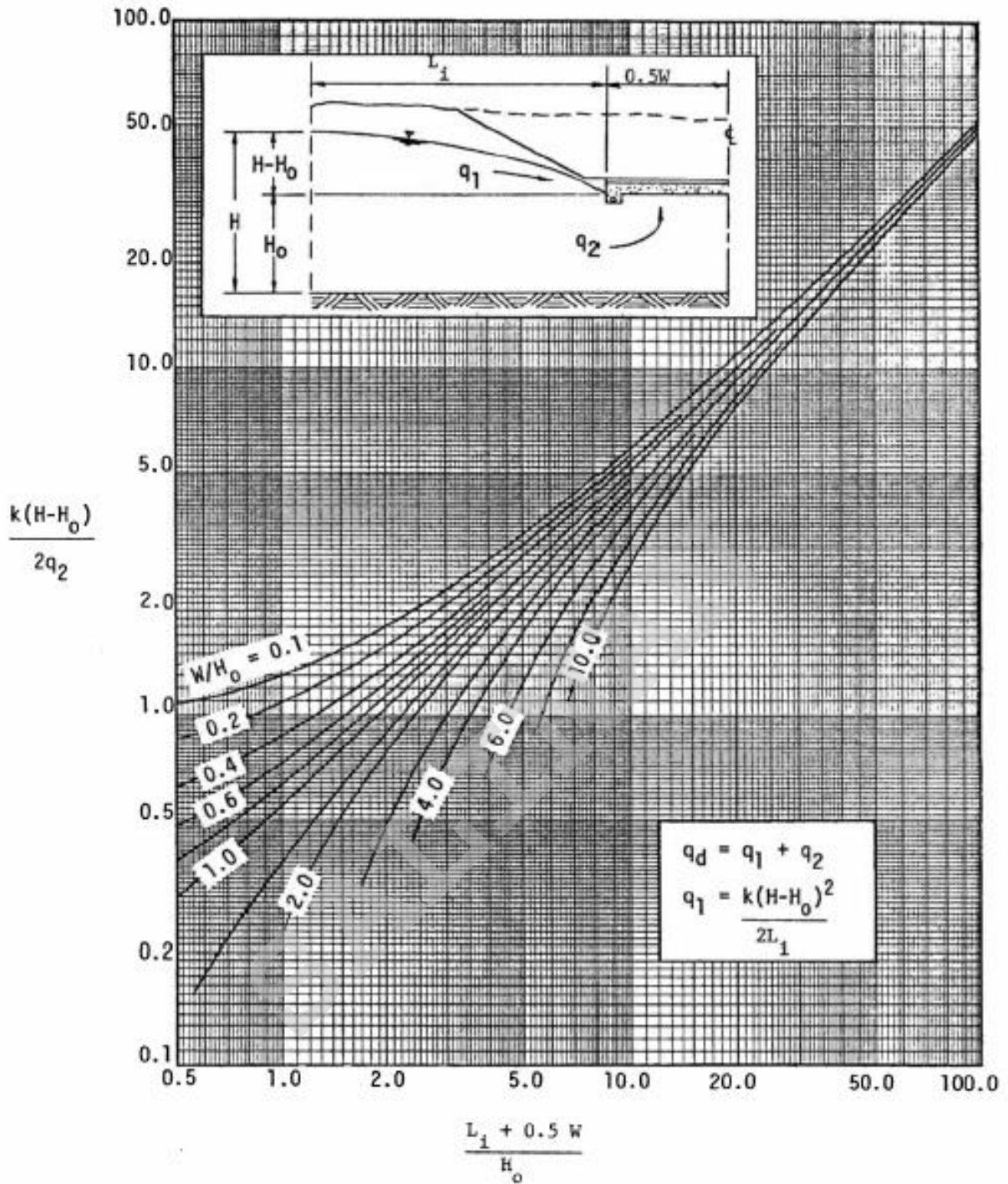
W = lebar lapisan drainase (kaki).

- l. Aliran lateral,  $q_1$  (cu.ft / day / lineal foot of roadway), ke tepi saluran secara longitudinal yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 dihitung dari rumus:

$$q_1 = \frac{K (H - H_0)^2}{2 L_i} \quad 59)$$

Keterangan :

K = konduktivitas hidrolik tanah (ft / hari).



Sumber: Moulton, 1977; Moulton, 1979; Moulton, 1980.

**Gambar 11-25** Bagan untuk menentukan laju aliran menjadi dasar permeabel horizontal

### 11.4.3 Desain Hidrolika Debit Aliran Cara Analitis

- a. Lapisan kedap air sangat dalam, jika kedalaman lapisan kedap air sangat dalam dan air mengalir ke dalam pipa drain hanya dari satu sisi, debit dalam (per meter lari) diperoleh dengan rumus :

$$q = \frac{\pi \cdot k \cdot H_0}{2 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot R_h}{R_d}\right)} = \frac{\pi \cdot k \cdot H_0}{4,6 \cdot \text{Log}\left(\frac{2 \cdot R_h}{R_d}\right)} \quad 60)$$

Keterangan :

$q$  = debit rembesan ( $\text{cm}^3/\text{detik} \cdot \text{cm}$ )

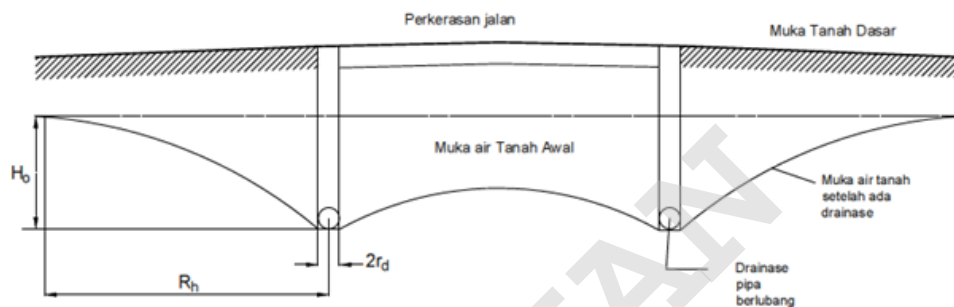
$K$  = koefisien permeabilitas ( $\text{cm}/\text{det}$ )

$H_0$  = penurunan muka airtanah ( $\text{cm}$ )

$R_h$  = jarak horisontal pengaruh pipa drain pada permukaan air tanah ( $\text{cm}$ )

$R_d$  =  $\frac{1}{2}$  x lebar saluran drain ( $\text{cm}$ )

Lihat Gambar 11-26.



**Gambar 11-26** Lapisan kedap air dalam

- b. Debit ( $Q$ ) air yang mengalir ke dalam pipa dengan lubang di samping, secara analitik, dihitung menggunakan rumus dan Gambar 11-27.

$$Q = \frac{k \cdot L \cdot (H^2 - h^2)}{R_h} \quad 61)$$

Keterangan :

$K$  = konduktivitas hidrolik tanah ( $\text{cm}/\text{det}$ ).

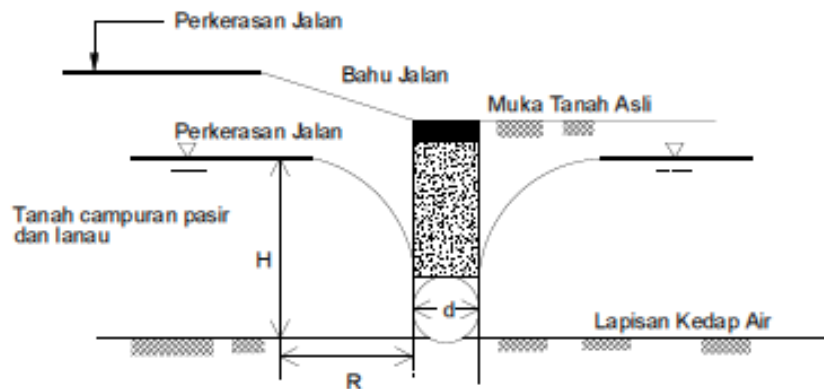
$L$  = Panjang pipa ( $\text{cm}$ )

$H$  = Tinggi muka air tanah ( $\text{cm}$ )

$h$  = diameter pipa ( $\text{cm}$ )

$R_h$  = Jarak horisontal pengaruh pipa drain pada permukaan air tanah ( $\text{cm}$ )





**Gambar 11-27** Geometrik drainase dan garis hidrolik secara melintang jalan

c.  $R_h$  bisa dihitung dengan rumus :

$$R_h = \frac{H^2 - h^2}{2 i_{at} H} \quad (62)$$

Keterangan :

$i_{at}$  = Kemiringan hidrolis (%).

d. Pipa terletak di atas lapisan kedap air, lihat Gambar 11-27

$$q = \frac{k \cdot L}{R_h} \cdot \frac{(H^2 - H_p^2)}{\left(\frac{H_p}{h + 0,5 R_d}\right)^{0,5} \left(\frac{H_p}{2 \cdot H_p - h}\right)^{0,25}} \quad (63)$$

Keterangan :

$q$  = debit rembesan

$k$  = koefisien permeabilitas

$L$  = panjang pipa

$h$  = dalam air pada pipa, jika pipi berlubang-lubang pada samping  $h = \frac{1}{2}$  diameter pipa, jika pipa berlubang-lubang dibagian atas  $h =$  diameter pipa.

$H$  = tinggi muka air tanah ke lapisan kedap air

$H_p$  = dalamnya dari permukaan air tanah kelapisan kedap air

$r_d$  =  $\frac{1}{2}$  x lebar saluran drain (cm)

Jarak  $R_h$  tidak ditentukan dengan tetap, karena dipengaruhi oleh faktor-faktor setempat, misalnya koefisien permeabilitas, penurunan muka air tanah, tebal dan lapisan yang tidak kedap air. Untuk  $R_h$  dapat digunakan nilai perkiraan (nilai pendekatan) yang dipilih dari Tabel 11-12.

**Tabel 11-12** Jarak horizontal berdasarkan jenis tanah

Jenis tanah	Jarak horizontal ( $R_h$ )*
Pasir dengan butiran halus	25 - 500 m
Pasir dengan butiran sedang	100 - 500 m
Pasir dengan butiran kasar	500 -1000 m

Catatan: Angka tersebut di atas merupakan radius dari pengaruh muka air tanah, apabila muka air disumuran turun antara 2 dan 3 meter.

- e. Faktor pengaman untuk menanggulangi kemungkinan penurunan kapasitas karena sedimentasi. Nilainya akan sangat tergantung pada kualitas pekerjaan instalasi, dugaan laju pengendapan dan intensitas pemeliharaan yang direncanakan. Alternatif diberikan yaitu pengurangan kapasitas 75% dan 60%. Pengurangan kapasitas yang lebih rendah (75%) direkomendasikan untuk diameter pipa yang lebih besar khususnya pada pipa kolektor yang tidak secara langsung mengambil air dari tanah.
- f. Volume aliran air yang keluar dari pipa, menggunakan rumus (FHWA, Moulton 1980) :

$$P_0 = 0,48 \cdot P_I + 0,32 \quad 64)$$

Keterangan :

$P_0$  = volume aliran air keluar pipa ( $m^3$ )

$P_I$  = volume curah hujan ( $m^3$ )

- g. dimensi saluran:

- 1) Luas penampang saluran, menggunakan rumus:  $A = Q/V$ .
- 2) Kecepatan saluran dihitung dengan rumus Manning atau Strickler sebagai berikut:  $V = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2}$
- 3) Jari-jari hidrolis dihitung untuk Rumus kecepatan non-gerusan yang diizinkan dari Rumus Manning, yaitu:  $R = \left[ \frac{(n \cdot V)}{i^{1/2}} \right]^{2/3}$

## 11.5 Bagan Alir Desain

### 11.5.1 Bagan Alir Proses Desain

- a. Berikut adalah Gambar 11-28, adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain dalam bentuk bagan alir.



Gambar 11-28 Bagan alir proses desain drainase bawah permukaan

### 11.5.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

Langkah desain drainase bawah permukaan jalan diuraikan sebagai berikut (Gambar 11-28):

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi:
- 1) No. ruas dan/atau STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan yang akan ditangani.
  - 3) Fungsi dan status jalan.

- 4) Guna lahan di lingkungan jalan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen desain , meliputi :
- 1) Area konsentrasi air pada struktur badan jalan.
  - 2) Karakteristik topografi.
  - 3) Data klimatologis.
  - 4) Mekanisme aliran air dan sumber air serta level muka air tanah dalam lapisan struktur perkerasan jalan.
  - 5) Bentuk tipe/konfigurasi jalan..
  - 6) Bentuk dan jenis lapisan struktur perkerasan jalan.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan hasil pembangunan, meliputi :
- 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain dalam hal dampak-dampak yang mungkin terjadi, dengan adanya pembangunan, seperti diuraikan dalam sub-bab 10.1 pertimbangan umum dan sub-bab 10.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Aspek umum, menyangkut definisi, fungsi, prinsip, resiko, optimalisasi, pemeliharaan, fenomena alam, berkelanjutan dan lainnya.
  - 3) Aspek teknis : menyangkut data yang valid, verifikasi data, struktur, hidrologi/hidrolika, mekanika tanah dan lainnya.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan :
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara deskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase bawah permukaan jalan.
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti ; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, serta karakteristik komponen hidrolika yang harus dilakukan dalam desain .
  - 3) Pembangunan bertahap diartikan sudah ada persiapan untuk adanya pengembangan bentuk penyedia infrastruktur jalan dan/atau polder dikemudian hari.
  - 4) Optimalisasi diartikan dalam menghadapi kondisi yang mungkin tidak bisa melaksanakan aspek ketentuan teknis. Ini bisa dilakukan dengan seijin penyelenggara jalan.
- e. Langkah No. 5, Analisis, merupakan proses desain sesuai ketentuan secara analitik/rumus dan/atau empiris/grafik dengan input data pendukung parameter desain tertentu dalam menetapkan desain bentuk, ukuran, kapasitas bangunan saluran bawah permukaan dan bangunan pelengkap pendukung lainnya. Langkah-langkah perhitungan saluran bawah permukaan:

- 1) Identifikasi bentuk konfigurasi jalan, struktur lapisan perkerasan jalan, dan sumber rembesan, serta elevasi muka air tanah.
  - 2) Tetapkan cara/metode mengeluarkan dari berbagai sumber, seperti diuraikan pada sub-bab 121.2.4.
  - 3) Tetapkan tata letak dan komponen jalan dan komponen saluran drainase, seperti diuraikan pada sub-bab 11.2.5.
  - 4) Buat rencana lokasi drainase bawah permukaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 11-2.
  - 5) Tetapkan debit air rembesan ( $q_i$ ), menggunakan rumus (51) sampai dengan rumus (53), berikutnya tetapkan waktu untuk pengeringan air rembesan ( $t$ ) dengan rumus (54).
  - 6) Hitung komponen hidrolika saluran bawah permukaan, menggunakan rumus (16), untuk mendapatkan geometrik drainase, seperti daerah pengaruh ( $L$ ), panjang saluran dan elevasi perbedaan tekanan, gunakan rumus (61).
  - 7) Tetapkan dimensi dan jenis drainase bawah permukaan, seperti ditunjukkan pada Tabel (Gambar 11-22).
- f. Langkah No. 6, Luaran : Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain teknis bangunan drainase bawah permukaan (DED).

## 12. Desain Drainase Jembatan

### 12.1 Ketentuan Umum

- a. Drainase pada lantai jembatan harus dirancang untuk mengalirkan air keluar dari dek jembatan atau menghilangkan air pada dek jembatan dalam waktu singkat, dengan mempertimbangkan aspek: sosial, estetika, dan pemeliharaan, meliputi:
  - 1) Pertimbangan sosial, drainase harus dirancang dengan mempertimbangkan keamanan, keselamatan, dan kenyamanan pengguna jalan. Contohnya pemilihan jenis jeruji pada inlet, jeruji inlet dapat disesuaikan desainnya sehingga aman bagi pengendara sepeda atau pejalan kaki.
  - 2) Pertimbangan estetika, sistem pipa saluran harus ditempatkan sedemikian rupa untuk mempertahankan nilai estetika jembatan. Pipa dapat diletakkan di balik kolom atau disamarkan dengan dekorasi.
  - 3) Pertimbangan pemeliharaan, drainase harus dirancang untuk dapat dibersihkan agar selalu berfungsi dengan baik. Ruang pemeliharaan pada dek jembatan dan akses di bawah jembatan harus diperhitungkan. Pipa drainase tidak disarankan ditanam dalam kolom untuk menghindari adanya pengaruh negatif pada beton.

- b. Penentuan bentuk dan jenis jembatan, yang paling layak dan menguntungkan ditinjau dari aspek teknik dan ekonomis.
- c. Kemiringan melintang permukaan dek jembatan sama dengan ruas jalan.
- d. Hindari terjadinya genangan dipermukaan dek jembatan yang bisa mengakibatkan *aquiplaning*.

## 12.2 Ketentuan Teknis

### 12.2.1 Pertimbangan Teknis

- a. Beberapa pertimbangan persyaratan yang harus diperhatikan, meliputi:
  - 1) Pertimbangan struktural:
    - a) Drainase harus didesain sesuai dengan persyaratan structural jembatan (memperlemah).
    - b) Posisi inlet harus disesuaikan dengan desain struktur jembatan.
    - c) Drainase harus dapat mencegah air, maupun bahan korosif lainnya bersinggungan langsung dengan komponen struktural untuk menghindari terjadinya korosi dan erosi material struktur.
  - 2) Ketinggian lantai jembatan dan puncak tanggul sungai di hulu jembatan, setelah ditambahkan tinggi ruang bebas/jagaan (*free board*), harus diperhatikan. Ini berkaitan dengan pembuangan dari talang air.
- b. Peruntukan ruang bawah jembatan harus menjadi pertimbangan teknis dalam pembuangan talang air, peruntukan ruang bawah bisa berupa; sungai, kolam, lembah, perlintasan transportasi jalan/KA atau lainnya.

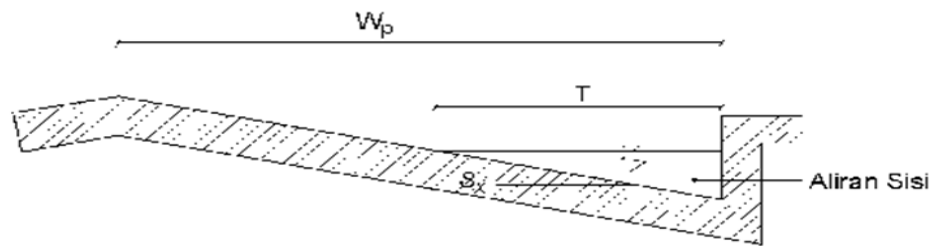
### 12.2.2 Kemiringan Dek

- a. Untuk memastikan drainase permukaan dek jembatan efektif, ketentuan kemiringan melintang dek jembatan minimum adalah 2 s/d 3 % atau sama dengan ruas jalan, dan kemiringan memanjang minimum adalah 0,5%, dengan kemiringan saluran tepi minimum 1%.
- b. Tindakan peningkatan elevasi permukaan jembatan (*Overlay*) harus mempertahankan nilai-nilai tersebut di atas selama ada pengerjaan pemeliharaan.

### 12.2.3 Saluran Tepi

- a. Saluran tepi/talang rentan tersumbat oleh kotoran, terutama jika kemiringan tidak mencukupi dan jumlah outlet tidak mencukupi.
- b. Aliran sisi pada saluran talang merupakan bagian kecil dari total aliran, sehingga masuknya aliran talang ke dalam inlet menjadi perhatian desainer.

- c. Saluran talang umumnya berbentuk segitiga, seperti diilustrasikan pada Gambar 12-1.



**Gambar 12-1** Saluran talang air

#### 12.2.4 Inlet Drainase

- Debit rencana saluran talang, dirancang untuk seluas dek jembatan, mengabaikan kemiringan melintang jalan, untuk mengatasi debit lebih besar.
- Penampang inlet jembatan dapat dirancang berdasarkan hasil perhitungan talang air.
- Jenis dan bentuk inlet disesuaikan untuk mendapatkan konfigurasi inlet yang tepat.
- Analisa inlet drainase, diperlukan rumus-rumus seperti yang dijelaskan di bawah ini:
  - Waktu Konsentrasi untuk area drainase harus diestimasi untuk memilih nilai yang sesuai dengan intensitas curah hujan yang akan digunakan dalam rumus.
  - Waktu konsentrasi untuk dek jembatan inlet terdiri dari dua komponen yaitu waktu konsentrasi limpasan permukaan dan waktu konsentrasi aliran saluran.
  - Waktu konsentrasi limpasan permukaan, berdasarkan rumus 65).

$$t_0 = 6,92 \frac{(n \cdot W_p)^{0,6}}{(C \cdot i)^{0,4} (S_x)^{0,3}} \quad 65)$$

Keterangan :

- $t_0$  = waktu konsentrasi limpasan permukaan , menit  
 $W_p$  = panjang aliran permukaan, m  
 $n$  = koefisien kekasaran Manning (0,013 – 0,016)  
 $C$  = koefisien limpasan (0,9)  
 $S_x$  = kemiringan melintang, m/m  
 $i$  = intensitas curah hujan, mm/jam

- 4) Waktu konsentrasi limpasan permukaan, berdasarkan rumus 66)

$$t_g = 40331 \cdot \frac{S_x \cdot T^2}{C \cdot i \cdot W_p} \quad 66)$$

Keterangan :

- tg = waktu konsentrasi limpasan permukaan, menit  
 Sx = kemiringan melintang, m/m  
 T = sebaran maksimum yang diijinkan, m  
 C = koefisien limpasan (0,9)  
 I = intensitas curah hujan, mm/jam  
 Wp = panjang aliran permukaan, m

- 5) Total waktu konsentrasi, berdasarkan rumus 67)

$$t_c = t_0 + t_g \quad 67)$$

- 6) Panjang jembatan yang diizinkan untuk tidak menggunakan inlet, pada jembatan dengan panjang kurang dari panjang hasil dari rumus 68), tidak memerlukan adanya inlet.

$$L = \frac{132 \cdot S_x^{1,67} \cdot S^{0,5} \cdot T^{2,67}}{C \cdot n \cdot i \cdot W} \quad 68)$$

Keterangan :

- L = panjang jembatan maksimum yang diizinkan untuk tidak menggunakan inlet drainase, m  
 S = kemiringan memanjang, m/m  
 Sx = kemiringan melintang, m/m  
 W = lebar dek yang berpengaruh, m  
 C = koefisien limpasan (0,9)  
 i = intensitas curah hujan, mm/jam.  
 n = koefisien kekasaran Manning (0,013-0,016)  
 T = sebaran maksimum yang diizinkan, m

- e. Debit air (Q), modifikasi rumus manning yang ditunjukkan pada rumus 69) telah mengakomodir perubahan lebar penampang, kemiringan memanjang dan melintang, serta sebaran aliran di permukaan yang diperlukan untuk menghitung debit air yang biasanya berpenampang segitiga.

$$Q = \frac{0,38}{n} \cdot S^{0,5} \cdot S_x^{1,67} \cdot T^{2,67} \quad 69)$$



Keterangan :

Q = debit air, m<sup>3</sup>/s

T = sebaran maksimum yang diizinkan, m

S = kemiringan memanjang, m/m

S<sub>x</sub> = kemiringan melintang m/m

N = koefisien kekasaran Manning (0,013 – 0,016)

- f. Jarak inlet pertama diukur dari bagian ujung jembatan yang tinggi ke inlet terdekat. Bila dari rumus 70) diperoleh nilai jarak inlet pertama (L<sub>0</sub>) yang lebih besar dari pada panjang jembatan maka jembatan diizinkan untuk tidak menggunakan inlet.

$$L_0 = \frac{3608631 \cdot Q}{C \cdot i \cdot W_p} \quad 70)$$

Keterangan :

L<sub>0</sub> = jarak inlet pertama, m

Q = debit air, m<sup>3</sup>/s

C = koefisien limpasan (0,9)

i = intensitas curah hujan, mm/jam

W<sub>p</sub> = panjang aliran permukaan, m

- g. Kecepatan aliran saluran (V), berdasarkan Rumus 71)

$$V = \frac{0,757}{n} \cdot S^{0,5} \cdot S_x^{0,67} \cdot T^{0,67} \quad 71)$$

Keterangan :

V = kecepatan aliran saluran, m/s

T = sebaran maksimum yang diizinkan, m

S = kemiringan memanjang, m/m

S<sub>x</sub> = kemiringan melintang, m/m

- h. Efisiensi inlet, berdasarkan rumus 72) perhitungan efisiensi inlet ditunjukkan pada Rumus 72), rasio aliran frontal terhadap aliran saluran ditunjukkan pada Rumus 73).

$$E = E_0 \cdot R_f \quad 72)$$

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2,67} \quad 73)$$

Keterangan :

E = efisiensi inlet

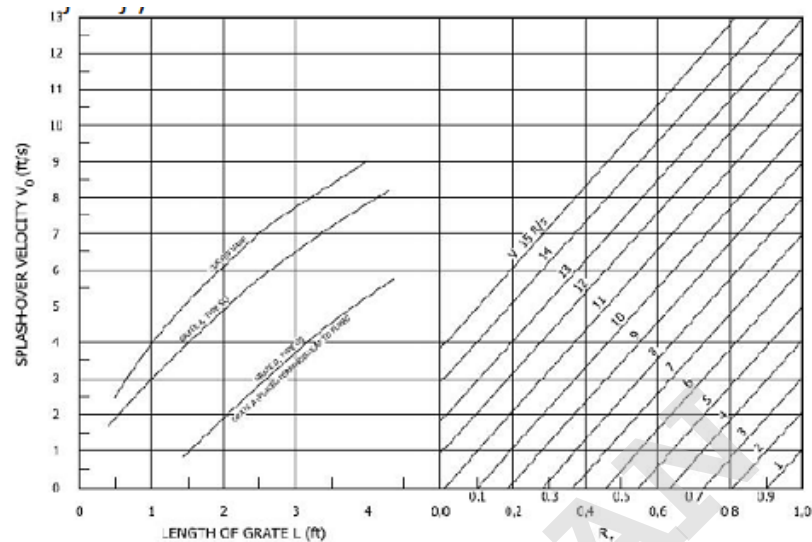
E<sub>0</sub> = rasio aliran frontal

T = sebaran maksimum yang diizinkan, m

W = lebar inlet, m

$R_f$  = efisiensi tangkapan aliran frontal

- i. Gesekan dari aliran frontal yang memasuki inlet dapat ditentukan dari Gambar 12-2. Penentuan nilai  $R_f$  dipengaruhi oleh panjang inlet,  $L_g$ , jenis jeruji, dan kecepatan aliran saluran,  $V$ . Apabila  $V_o > V$ , maka nilai  $R_f = 1$  (nilai  $V_o$  didapatkan dari Gambar 12-2 berdasarkan



**Gambar 12-2** Efisiensi tangkapan aliran frontal untuk berbagai jenis jeruji (HEC 12)

- j. Jarak antar inlet, diukur dari inlet pertama, dihitung sesuai dengan Rumus 74).

$$L_c = L_0 \cdot E \quad 74)$$

Keterangan :

$L_0$  = jarak inlet pertama, m

$L_c$  = jarak antar inlet, m

$E$  = efisiensi inlet

- k. Rancang drainase bagian ujung jembatan

- 1) Jika batas kerb dan kemiringan melintang berlanjut hingga daerah di luar jembatan, maka inlet dipasang sejauh  $L_0$  dari ujung tertinggi jembatan. Inlet berdasarkan Rumus 75) harus dapat menerima debit air sebesar.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot W_p \cdot L_0}{3608631} \quad 75)$$

- 2) Jika keadaan di ujung jembatan berubah dengan posisi drainase di sisi luar jalan, maka waktu konsentrasi berdasarkan Rumus 76) berkurang menjadi.

$$t_{c.end} = \frac{L_0}{L} \cdot t_c \quad 76)$$

### 12.2.5 Pipa Drainase

- a. Pipa drainase harus berdiameter minimum 200 mm dan diletakkan pada kemiringan minimum absolut 2% (sebaiknya 8%) untuk kepentingan self-cleansing (terutama untuk pipa vertikal) dalam menghindari penyumbatan akibat lumpur dan tumpukan puing.
- b. Pipa drainase horisontal di bawah dek jembatan menghubungkan antar inlet untuk menyalurkan air limpasan menuju pipa drainase vertikal kemudian diteruskan menuju outlet. Pipa drainase dari bahan PVC (Polivinil Klorida) yang terkena sinar matahari langsung memerlukan pemeliharaan, karena dapat menjadi rapuh termakan usia.
- c. Pipa PVC yang digunakan harus sesuai standar SNI 06-0162-1987. Pipa drainase juga dapat menggunakan bahan lain yang lebih tahan terhadap cuaca seperti polietilena.

### 12.2.6 Outlet Pipa Drainase

- a. Outlet harus dilengkapi dengan riprap atau perlindungan lainnya untuk mencegah air jatuh bebas, kecuali bila jarak permukaan tempat jatuhnya air dengan posisi outlet lebih dari 12 meter.
- b. Tetesan bebas harus dihindari terutama jika menciptakan masalah dengan lalu lintas di bawah jembatan.

### 12.2.7 Pipa Cucuran

- a. Pipa cucuran dibuat untuk mencegah limpasan mengalir ke bagian jembatan. Pipa cucuran tidak efektif jika terlalu dangkal sehingga harus dirancang dengan panjang minimal 200 mm melebihi elevasi terbawah struktur utama bangunan atas.
- b. Pipa cucuran yang digunakan adalah pipa PVC atau pipa baja yang telah digalvanisasi, dengan diameter minimal sebesar 75 mm. Pipa cucuran tipe baja harus memenuhi standar SNI 07-0722-1989 dan ASTM 252.
- c. Semua bagian baja harus digalvanisasi sesuai dengan AASHTO M111-04, kecuali jika galvanisasi telah mempunyai tebal minimum 80 mikron.

### 12.2.8 Lubang Drainase

- a. *Box girder* dan elemen lain yang berongga harus memiliki lubang pengering sebagai pencegahan munculnya kondensasi atau kebocoran.
- b. Lubang tersebut harus dibersihkan secara berkala karena rentan tertutup oleh burung atau serangga.

### 12.2.9 Sambungan Pipa

- a. Pada tahap desain harus diperhitungkan antisipasi kegagalan sambungan. Kegagalan sambungan berupa kebocoran dapat terjadi akibat kesalahan pemasangan, *crossfall* saluran pengumpul yang tidak memadai, kompresi segel yang salah, dan kegagalan perekat.
- b. Diameter pipa drainase diharuskan memiliki luas penampang yang sama dalam satu sistem drainase untuk mencegah terjadinya turbulensi air atau penambahan energi yang dapat menyebabkan kerusakan.

### 12.2.10 Cleanout

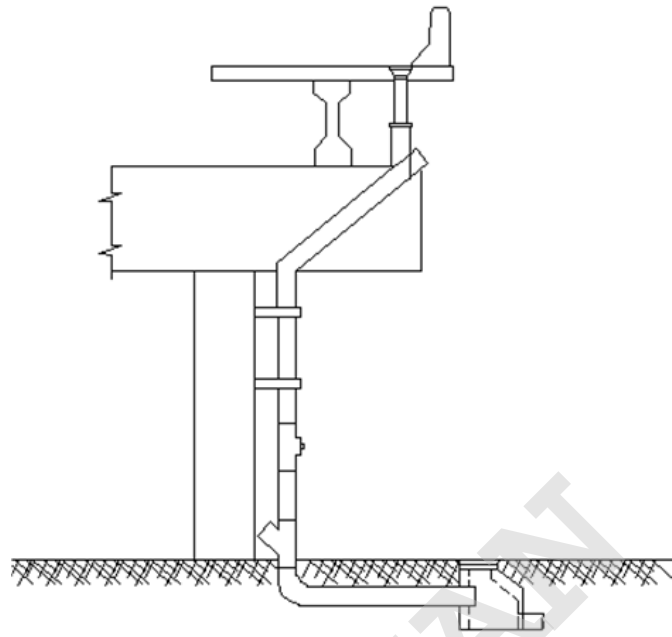
*Cleanout* harus disediakan pada titik pertemuan saluran dan belokan saluran serta dipasang di tempat yang mudah terjangkau untuk kebutuhan pemeliharaan drainase serta memungkinkan untuk metode pemeliharaan yang direncanakan.

## 12.3 Komponen desain

- a. Luas area tangkapan air hujan atau lebar dan panjang jembatan
- b. Kemiringan dek, sub bab 12.2.2.
- c. Saluran tepi, sub bab 12.2.3
- d. Inlet drainase, sub bab 12.2.4
- e. Waktu konsentrasi, sub bab 12.2.4
- f. Panjang jembatan 12.2.4
- g. Debit jembatan, sub bab 12.2.4
- h. Jarak inlet, sub bab 12.2.4
- i. Kecepatan aliran saluran, 12.2.4
- j. Efisiensi inlet, sub bab 12.2.4
- k. Faktor gesekan dari aliran prontal, sub bab 12.2.4
- l. Desain drainase bagian ujung jembatan, sub bab 12.2.4.
- m. Pipa drainase, sub bab 12.2.5.
- n. Outlet pipa drainase, sub bab 12.2.6.
- o. Pipa cucuran, sub bab 12.2.7.
- p. Lubang drainase, sub bab 12.2.8.
- q. Sambungan pipa, sub bab 12.2.9
- r. Cleanout, sub bab 12.2.10.

## 12.4 Bangunan pelengkap drainase jembatan

- a. Instalasi saluran pipa pembuang air permukaan jembatan, diilustrasikan seperti pada Gambar 12-3.



**Gambar 12-3** Ilustrasi drainase jembatan

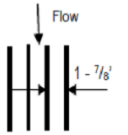
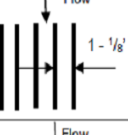
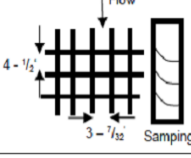
- b. Inlet, menerima limpasan air hujan di sepanjang dek jembatan dan menampungnya pada ruang *inlet*, kemudian diteruskan oleh pipa drainase menuju titik pembuangan (*outlet*). Jenis *inlet* yang umumnya digunakan adalah *inlet* jeruji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12-4.



**Gambar 12-4** inlet tipe jeruji (HEC 12)

- c. Pemasangan inlet pada dek jembatan mempunyai ketentuan sebagai berikut:
- 1) Inlet harus didesain aman untuk pengendara dan tidak memberikan gangguan terhadap lalu lintas maupun pejalan kaki;
  - 2) Inlet harus didesain untuk minimal penyumbatan agar air permukaan dapat langsung disalurkan;
  - 3) Inlet harus ditempatkan pada daerah yang rendah.

- 4) Jumlah inlet harus sesuai perhitungan untuk dapat menangkap limpasan air hujan pada dek jembatan.
- d. Jeruji, merupakan pelengkap untuk beberapa jenis inlet. Penggunaan jeruji dimaksudkan untuk kepentingan keamanan pengguna jalan, dan atau mencegah sampah terbawa ke dalam saluran drainase. Jenis jeruji ditunjukkan pada Gambar 12-5.

Tipe Jeruji	Deskripsi
<b>Tipe A</b> Batang paralel, berjarak $1 - \frac{7}{8}$ ' (tidak aman untuk sepeda) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensi batang jeruji <math>\frac{1}{4} \times 4</math>'</li> <li>• Jarak antar batang jeruji <math>1 - \frac{7}{8}</math>'</li> </ul>
<b>Tipe B</b> Batang paralel, berjarak $1 - \frac{1}{8}$ ' (tidak aman untuk sepeda) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensi batang jeruji <math>\frac{1}{4} \times 4</math>'</li> <li>• Jarak antar batang jeruji <math>1 - \frac{1}{8}</math>'</li> </ul>
<b>Tipe C</b> Batang jeruji melengkung 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jarak antar batang melengkung <math>4 - \frac{1}{2}</math>'</li> <li>• Dimensi batang datar memanjang <math>\frac{1}{2} \times 2</math>'</li> <li>• Jarak antar batang as ke as <math>3 - \frac{7}{32}</math>'</li> </ul>

**Gambar 12-5** Jenis jeruji (HEC 12)

- e. Outlet, pada jembatan harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga air yang keluar tidak mengguyur ataupun berbalik arah ke elemen jembatan, tidak mengalir pada retakan sambungan, tidak mengalir di antara perkerasan dan jembatan, dan tidak mengalir di abutment ataupun *wingwall*. Pada jembatan tipe lintasan jalan, air yang keluar dari outlet diteruskan ke saluran drainase jalan.

## 12.5 Mendesain Drainase Jembatan

### 12.5.1 Pengumpulan Data

- Kumpulkan data pendukung, seperti Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) yang berlaku untuk lokasi jembatan.
- Kumpulkan parameter nilai-nilai yang diperlukan untuk drainase jembatan, seperti:
  - $W_p$  - adalah lebar area yang akan dikeringkan ( $m^2$ ). Untuk jembatan dengan potongan melintang dek normal, merupakan setengah dari lebar dek. Untuk jembatan dengan dek super-elevasi, merupakan lebar keseluruhan dek.
  - $S$  - adalah kemiringan memanjang dek, m/m
  - $T$  - adalah kemiringan melintang dek, m/m
  - $S_x$  - adalah sebaran desain, m. Sebaran merupakan lebar aliran di dek.
  - $n$  - adalah koefisien kekasaran Manning (0,013 - 0,016)

- 6) C - adalah koefisien limpasan (0,9)
- c. Asumsikan dimensi inlet ( $W$  = panjang inlet,  $L_g$  = lebar inlet) dan jenis jeruji inlet.

### 12.5.2 Menentukan Intensitas Curah Hujan

- a. Perhitungan intensitas curah hujan ( $i$ ), dilakukan dengan proses *trial and error* terhadap waktu konsentrasi ( $t_c$ ), pada kurva *Intensitas Durasi Frekuensi* (IDF).
- b. Kurva IDF berlaku untuk wilayah pengamatan curah hujan tertentu (dibuat berdasarkan ilmu hidrologi umum).
  - 1) Tentukan nilai trial  $t_c$  dan periode ulang hujan untuk mendapatkan nilai  $i$  berdasarkan kurva IDF yang berlaku untuk lokasi jembatan.
  - 2) Hitung waktu konsentrasi limpasan permukaan,  $t_o$ , gunakan rumus (57) dengan menggunakan nilai  $i$  pada Langkah 1).
  - 3) Hitung waktu konsentrasi aliran saluran,  $t_g$ , gunakan rumus (58) dengan menggunakan nilai  $i$  pada Langkah 1). Hitung waktu konsentrasi,  $t_c$  berdasarkan Rumus (59).
  - 4) Jika nilai  $t_c$  berdasarkan Rumus (59) tidak sama dengan nilai trial sebelumnya, ulangi langkah point (1) sampai point (4). Jika nilai berdasarkan rumus 59 bernilai  $\pm 0.50$  dari nilai trial, maka gunakan nilai pada point (1).

### 12.5.3 Menentukan Karakteristik Aliran Air

- a. Menentukan debit air dihitung dengan menggunakan rumus (61).
- b. Menentukan kecepatan aliran saluran dihitung dengan menggunakan rumus (63).

### 12.5.4 Menentukan Kebutuhan Inlet

- a. Talang jembatan tidak diperlukan inlet, jika dengan menggunakan rumus (60), diketahui lantai jembatan memerlukan inlet maka desain kebutuhan inlet dapat dilanjutkan ke 13.5.4, sedangkan jika jembatan tidak memerlukan inlet maka dapat dilanjutkan ke 13.5.10;
- b. Menentukan jarak inlet pertama dihitung dengan menggunakan rumus (62). Jarak inlet pertama diukur dari bagian ujung jembatan yang tinggi sesuai dengan persamaan (62). Jika  $L_0 > L_{\text{jembatan}}$ , maka lantai jembatan tidak memerlukan inlet.
- c. Menentukan jarak antar inlet dihitung dengan menggunakan rumus (66).
- d. Menentukan efisiensi inlet dihitung dengan menggunakan rumus (72) dan rasio aliran frontal terhadap aliran saluran dihitung menggunakan rumus (73)

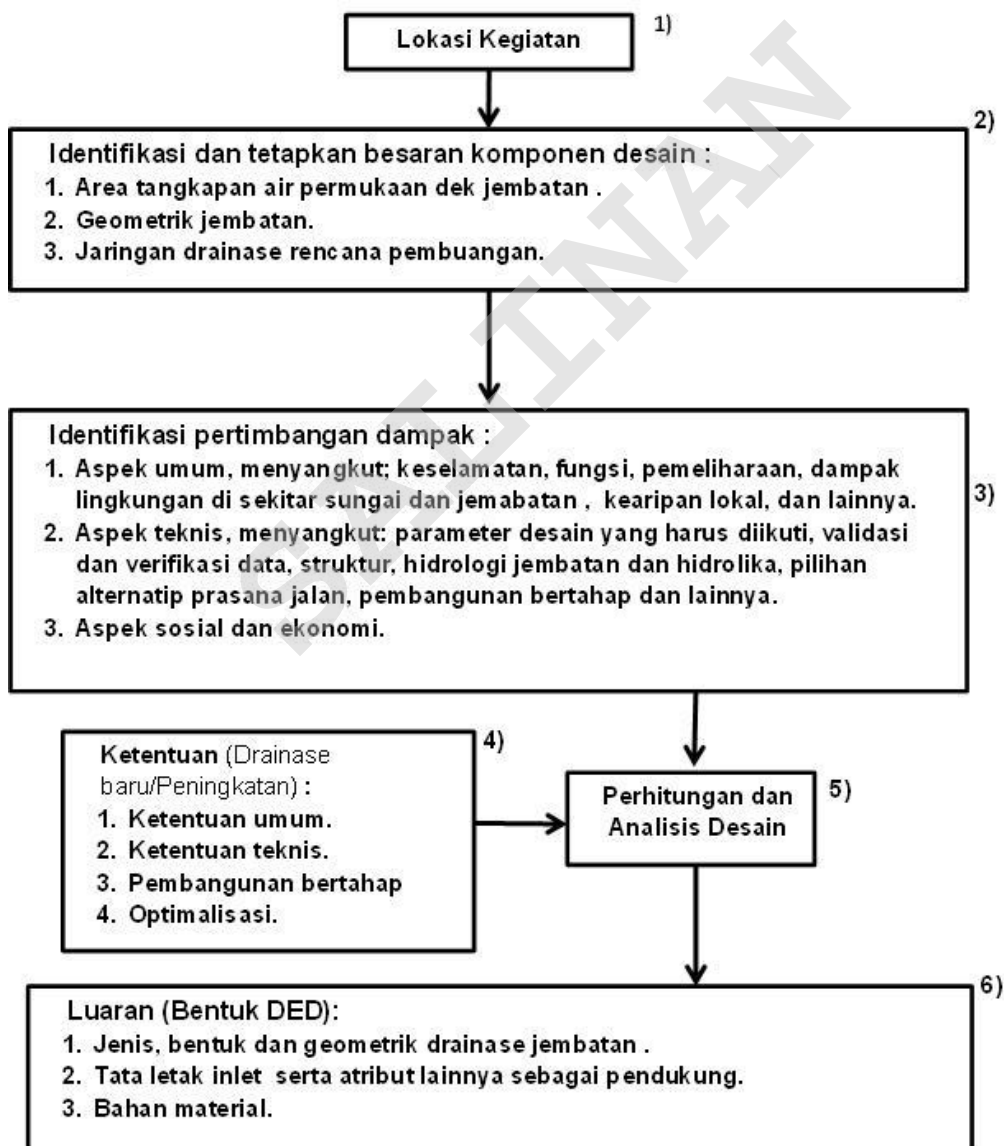
### 12.5.5 Drainase Bagian Ujung Jembatan

- Drainase bagian ujung jembatan dihitung dengan menggunakan rumus (62) dan (66). Setelah desain inlet selesai dilakukan, desain komponen drainase jembatan lainnya ditetapkan dalam ketentuan teknis.
- Langkah-langkah pada prosedur desain inlet jembatan digambarkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 12-6.

## 12.6 Bagan Alir Desain

### 12.6.1 Bagan Alir Proses Desain

- Berikut adalah proses tahapan perhitungan dan analisa desain dalam bentuk bagan alir. Pada Gambar 12-6



Gambar 12-6 Bagan Alir Desain Inlet Jembatan

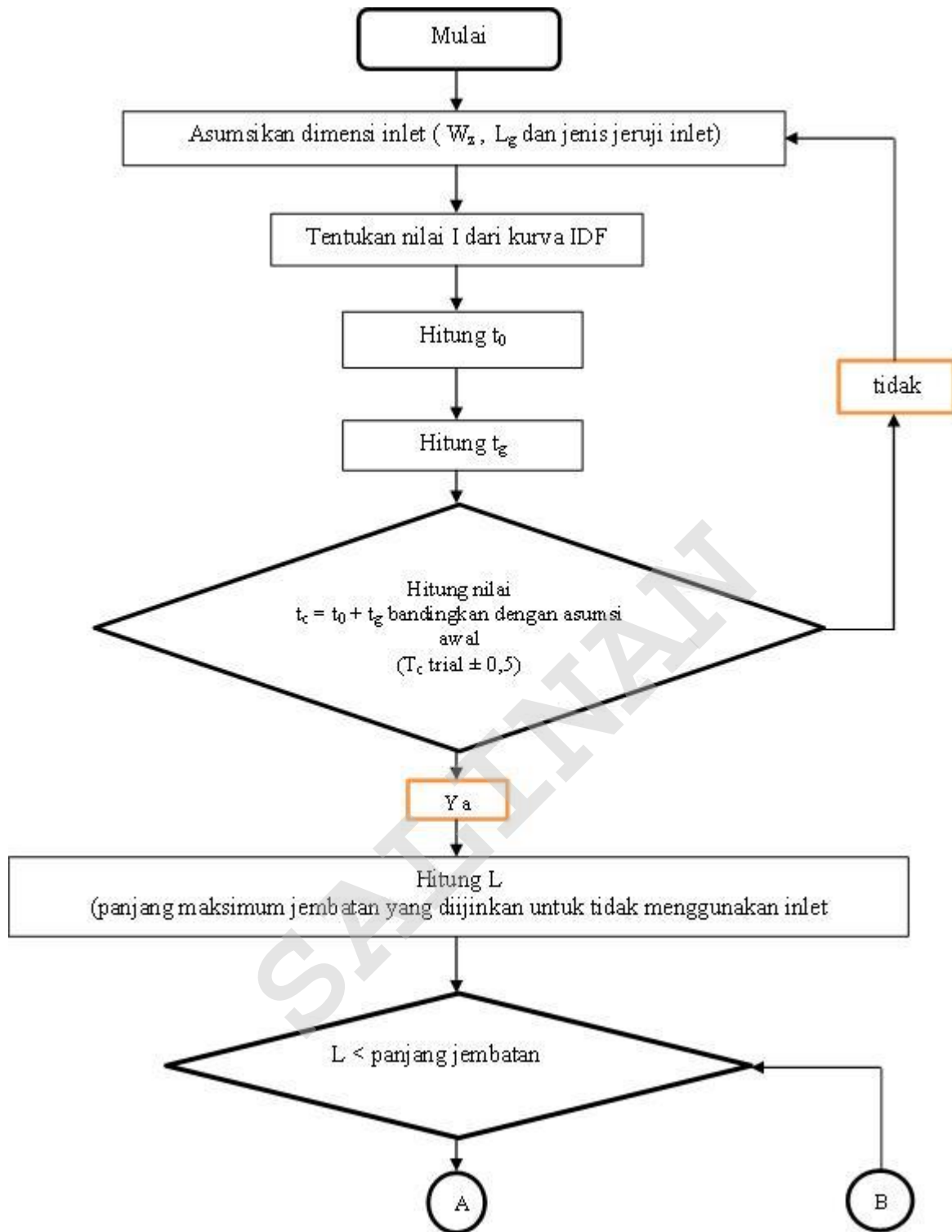


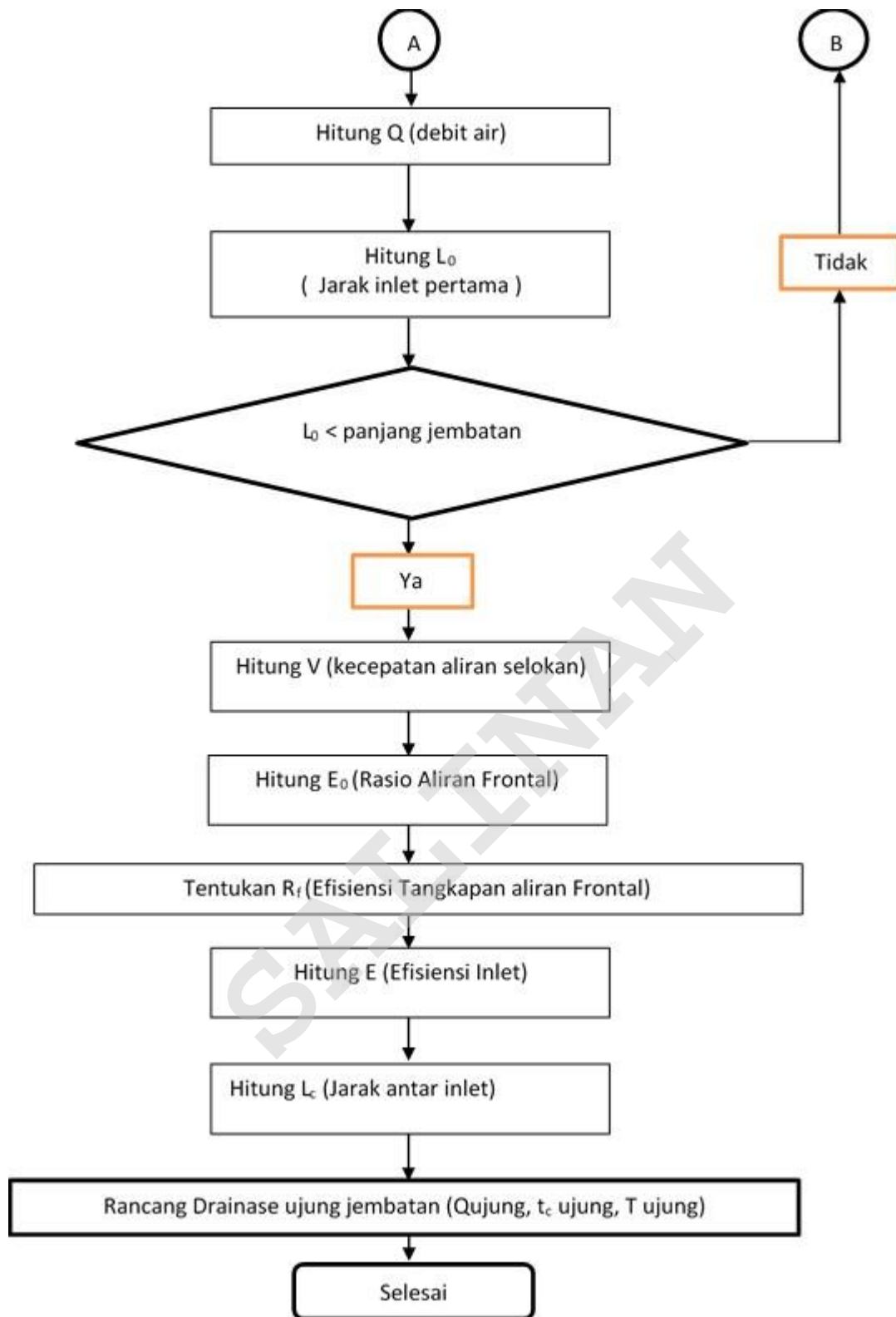
### 13.6.1 Uraian Tahapan Proses Analisa

Langkah desain drainase Jembatan diuraikan sebagai berikut (Gambar 12-6):

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi penetapan:
  - 1) No. ruas dan STA jalan serta jembatan.
  - 2) Panjang jembatan dan stuktur jembatan.
  - 3) Fungsi dan status jalan/jembatan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen desain :
  - 1) Area tangkapan air hujan sesuai dek/bangunan jembatan.
  - 2) Titik konsentrasi saluran air permukaan pada jembatan.
  - 3) Geometrik jalan: Kemiringan memanjang dan melintang permukaan jembatan. Jika yang dirancang adalah bagian di tikungan (jalan layang), maka tetapkan kemiringan.
  - 4) Tipe dan bangunan inlet, serta outlet.
  - 5) Lokasi dan bangunan/struktur jembatan, serta kondisi sungai untuk melihat perilaku aliran permukaan sungai.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan desain :
  - 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain dalam hal dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan jembatan, seperti diuraikan dalam sub-bab 12.1 pertimbangan umum dan 12.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Pertimbangan asumsi awal menyangkut aspek teknis, seperti:
    - a) Ketinggian rencana/banjir yang mungkin terjadi,
    - b) Gangguan aliran sungai akibat tiang-tiang jembatan.
    - c) saluran pembuang (*Outlet*).
  - 3) Aspek umum, menyangkut; keselamatan pengguna jalan dan penyebrang jembatan, sistem aliran air dibawahnya tidak terganggu, dalam pemeliharaan mudah dilakukan, dampak lingkungan dengan adanya jembatan terhadap lingkungan di sekitar sungai dan jembatan, kearifan lokal, dan lainnya.
  - 4) Aspek teknis, menyangkut: parameter desain seperti lebar dan panjang jembatan, serta geometri permukaan jembatan yang harus diikuti. Kegiatan validasi dan verifikasi data, struktur, hidrologi jembatan dan hidrolika/bangunan saluran drainase yang dipilih, serta pembangunan bertahap.

- 5) Aspek teknis lainnya : menyangkut parameter desain yang harus diikuti, karakteristik aliran air (volume, kecepatan dan waktu konsentrasi), dan dampak *hidroplaning pada dek jembatan*.
  - 6) Aspek sosial dan ekonomi, aspek ini sebagai pertimbangan untuk desain khususnya untuk struktur dan dimensi jembatan.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan umum dan teknis yang harus diikuti dalam desain drainase jembatan, baik untuk desain drainase baru atau peningkatan:
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dalam bangunan drainase jembatan, secara umum mengacu pada sub bab 12.1.
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti; ukuran/geometrik dan kemiringan dek, saluran tepi, inlet drainase, pipa drainase dan outlet pipa drainase , tata letak bangunan dan memenuhi karakteristik komponen hidrolika, optimalisasi, aspek ini harus tersurat dalam analisa dan luaran desain (DED).
- e. Langkah No. 5, Analisis desain merupakan proses tahapan desain secara analitik maupun empiris/grafik dalam menentukan nilai parameter tertentu untuk menetapkan bentuk dan ukuran serta kapasitas bangunan drainase jembatan. Langkah-langkah perhitungan drainase jembatan dapat mengacu pada sub bab 12.5, dan untuk perhitungan kebutuhan/penataan inlet jembatan dapat mengacu pada gambar diagram alir desain inlet jembatan (Gambar 12.7). Langkah-langkah secara umum mencakup:
- 1) Pengumpulan data.
  - 2) Menentukan intensitas curah hujan.
  - 3) Menentukan karakteristik aliran air.
  - 4) Menentukan kebutuhan inlet.
  - 5) Penentuan drainase bagian ujung jembatan.





Gambar 12-7 Bagan alir desain inlet jembatan

## 13. Desain Polder

### 13.1 Ketentuan Umum

- a. Drainase sistem polder berfungsi untuk mengatasi banjir yang diakibatkan genangan yang ditimbulkan oleh besarnya kapasitas air yang masuk ke suatu daerah melebihi kapasitas keluar dari daerah tersebut. Secara umum berada di daerah yang lebih rendah dari air di sekitarnya, dimana air tersebut dapat dikendalikan secara artifisial.
- b. Polder merupakan satu kesatuan hidrologis, artinya tidak mempunyai hubungan dengan air luar selain melalui alat yang dioperasikan oleh manusia.
- c. Dimana air permukaan maupun bawah permukaan tidak bisa dialirkan untuk dikuras dengan sistem hukum gravitasi, tetapi harus melalui proses tekanan atau pemompaan.
- d. Masih banyak area lahan dengan kondisi seperti tersebut, dan ini bisa dimanfaatkan untuk guna lahan yang lebih produktif dengan cara reklamasi system polder. Area lahan di atasnya bisa dimanfaatkan dengan lahan yang produktif seperti; permukiman, pertanian dan jaringan jalan atau lainnya.
- e. Desain sistem polder harus diintegrasikan dengan rencana zona/infrastruktur kawasan lainnya yang bersinggungan.
- f. Manajemen drainase system polder, meliputi manajemen operasi dan pemeliharaan sistem polder untuk mencegah penurunan fungsi sistem polder.
- g. Sistem kerja polder sangat bergantung pada pompa, jika pompa mati, maka aera akan tergenang, sehingga diperlukan adanya pengawasan, selain itu biaya operasi dan pemeliharannya yang relatif tinggi.
- h. Desain sistem polder harus memperhatikan aspek teknis dan non-teknis.
- i. Kelayakan pembangunan sistem polder harus berdasarkan tiga faktor utama antara lain; biaya, konstruksi, operasi dan pemeliharaan.

### 13.2 Ketentuan Teknis

#### 13.2.1 Data Dan Informasi

- a. Drainase system polder, merupakan mekanisme hubungan antara; area, tanah dan air.
- b. Desain system polder, diperlukan perhitungan penelusuran banjir melalui reservoir (*Reservoir Routing*) dan tanggul-tanggul yang digunakan untuk menahan/penyimpanan debit air. Hubungan penyimpanan debit digunakan untuk menyelesaikan persamaan kontinuitas secara berulang, setiap solusi merupakan langkah dalam menggambarkan hidrograf *outflow*.

- c. Kondisi hidrologi dan tata air dalam sistem ini (hidrograf) dapat dikontrol sepenuhnya oleh manusia, biasanya sistem ini berupa sistem yang dilengkapi bangunan pengendali muka air, seperti pintu klep otomatis.
- d. Data klimatologi yang tervalidasi tentang iklim dan variasi dan hidrograf serta pengaruh iklim terhadap bangunan polder. Data tersebut bisa didapat dari institusi/lembaga resmi, seperti BMG (Badan Meterologi dan Geofisika) terdekat.
- e. Data hidrologi seperti; intensitas curah hujan, luas area tangkapan air hujan, kontur tanah, sifat-sifat tanah, waktu konsentrasasi dan debit air rencana. Data tersebut bisa dilakukan sendiri atau merupakan data sekunder yang tervalidasi dari institusi/lembaga resmi.
- f. Data area tanah dan sruktur infrastruktur di atasnya dari otoritas setempat.
- g. Data air dan saluran meliputi; tinggi muka air, debit, laju sedimen, sejarah banjir, pengaruh *back water*, karakteristik daerah aliran, data pasang surut sungai/laut.
- h. Data sistem drainase yang ada yaitu daerah genangan/banjir serta, permasalahannya yang dihasilkan dari hasil studi rencana induk sistem.
- i. Data peta yang terdiri dari peta dasar, peta sistem drainase, sistem jaringan jalan, peta tata guna lahan, peta topografi dengan skala antara 1 : 5000 sampai dengan 1 : 50.000 disesuaikan dengan tipologi kota.
- j. Polder bisa dilakukan pada segmen ruang jalan dan pada area lahan.
- k. Kala ulang yang dipakai berdasarkan luas daerah pengaliran (*catchment area*), tipologi wilayah (perkotaan dan/atau luar kota).
- l. Perhitungan curah hujan berdasarkan data hujan paling sedikit 10 tahun yang berurutan.
- m. Rencana teknis dan data seperti diuraikan tersebut di atas, dikonfirmasi dan diinformasikan kepada stakeholder terkait.

### 13.2.2 Kriteria Konstruksi

- a. Drainase sistem polder akan digunakan pada kondisi sebagai berikut:
  - 1) Pada segmen ruang jalan:
    - a) Permukaan badan jalan lebih rendah dari pada muka tanah disekelilingnya (berada pada alineimen vertical cekung).
    - b) Muka air tanah lebih tinggi dari pada muka badan jalan.
  - 2) Pada area lahan:

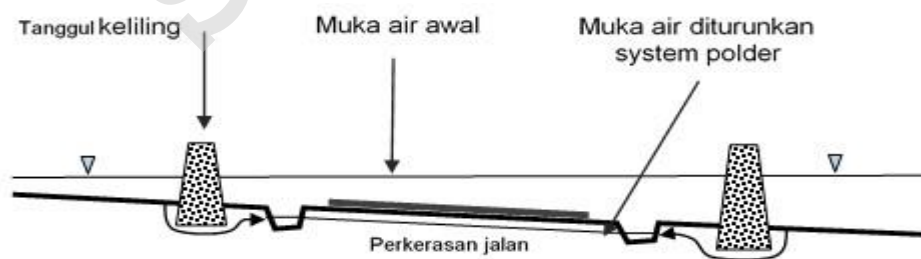
- a) Elevasi muka tanah lebih rendah dibanding dengan elevasi muka air laut pasang, sehingga pada daerah tersebut akan sering terjadi genangan akibat air laut pasang yang masuk ke daratan (rob).
  - b) Elevasi muka tanah lebih rendah daripada muka air banjir di sungai (pengendali banjir) yang merupakan outlet dari saluran drainase.
  - c) Daerah yang mengalami penurunan (*land subsidence*), sehingga daerah yang semula lebih tinggi dari muka air laut pasang maupun muka air banjir di sungai pengendali banjir diprediksikan akan tergenang akibat air laut pasang maupun backwater dari sungai pengendali banjir.
- b. Elevasi tanah asli dibiarkan pada elevasi aslinya, sedangkan muka air tanahnya diturunkan atau dikeringkan dengan system pengontrol melalui tanggul dan pompa.
  - c. Sumber air yang datang dari atas, kiri, kanan dan bawah paling relevan karena polder ini harus dipompa hingga kering.
  - d. Kapasitas penyimpanan di polder sangat penting sebagai penyangga untuk situasi ekstrim, untuk risiko keamanan masuknya air dari sungai dan/atau laut/daerah sekitarnya.
  - e. Pembebanan yang digunakan sesuai standar teknik praktis yang berlaku, kombinasi muatan atas konstruksi ditentukan secara individual sesuai fungsi, cara, dan tempat penggunaannya.
  - f. Stabilitas konstruksi bangunan penahan tanah dikontrol keamanannya terhadap daya dukung tanah (terhadap penurunan tanah/ambias), gaya geser (F) dan gaya guling. Faktor-faktor keamanan minimumnya sebagai berikut :
    - 1)  $F_{\text{daya dukung tanah}} \geq 1,5$
    - 2)  $F_{\text{geser (kondisi bisaa)}} \geq 1,5$
    - 3)  $F_{\text{geser (kondisi gempu)}} \geq 1,2$
    - 4)  $F_{\text{guling}} \geq 1,5$
  - g. Bahan konstruksi yang digunakan harus sesuai dengan persyaratan bahan bangunan yang telah ditetapkan.
  - h. Sistem polder bisa diwujudkan jika kedalaman muka air yang diinginkan lebih kecil dari 6 meter dari muka air laut (*Adrian Geuze, landscape architect*).
  - i. Selain dari struktur utama polder, pemeliharaan untuk pengerukan sedimen dan pembuangan sampah dari saluran drainase sangat diperlukan.
  - j. Mengingat biaya operasi dan konstruksi pompa sangat mahal, maka luas atau kapasitas kolam penampung harus direncanakan dapat beroperasi selama mungkin.

### 13.2.3 Parameter Penentuan Prioritas Penanganan

- a. Parameter genangan, meliputi tinggi genangan, luas genangan, dan lamanya genangan terjadi.
- b. Parameter frekuensi terjadinya genangan.
- c. Parameter frekwensi terjadinya hambatan/kemacetan dan kecelakaan lalu lintas.
- d. Potensi pengembangan ke lahan lebih produktif, mendesain area perkotaan tanpa dataran tinggi dan aksesibilitas keterhubungan antara pusat kegiatan.
- e. Ini membuka rancang kota tanpa dataran tinggi dan diposisikan secara bebas dalam varian infrastruktur (mendesain).

### 13.2.4 Sistem Polder Pada Segmen Ruang Jalan

- a. Polder pada segmen ruang jalan, ada dua jenis yang umum sering dilakukan, yaitu pada:
  - 1) Pada area segmen ruang jalan, dimana segmen jalan melintasi area dengan muka air di atas badan jalan. Komponen bangunan yang dilibatkan meliputi:
    - a) Pintu klep.
    - b) Tanggul pengaman.
    - c) Stasiun pompa.
    - d) Kolam retensi dan/atau saluran.
    - e) Jaringan saluran drainase.
    - f) Ilustrasi skema drainase system polder pada segmen jalan secara melintang jalan, ditunjukkan pada Gambar 13.1

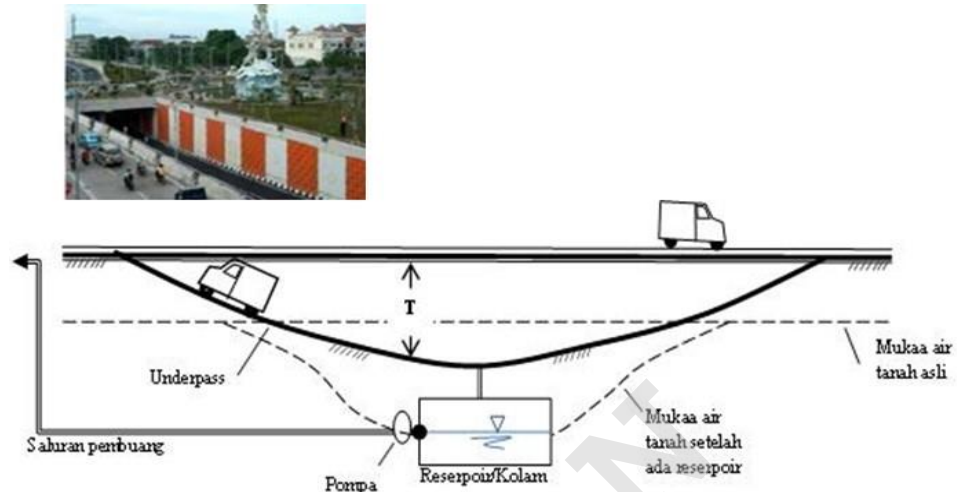


**Gambar 13-1** Skema Drainase Sistem Polder pada Segmen Jalan

- 2) Pada persimpangan tidak sebidang (*underpass*), komponen bangunan yang dilibatkan meliputi:
  - a) Talang air.
  - b) Cross grill dan deck drain.
  - c) Saluran samping.



- d) Saluran pembuang.
- e) Tampungan/Reservoar dibawah badan jalan.
- f) Stasiun pompa.
- g) Ilustrasi skema drainase system polder di persimpangan underpass secara melintang jalan, ditunjukkan pada Gambar 13.3.



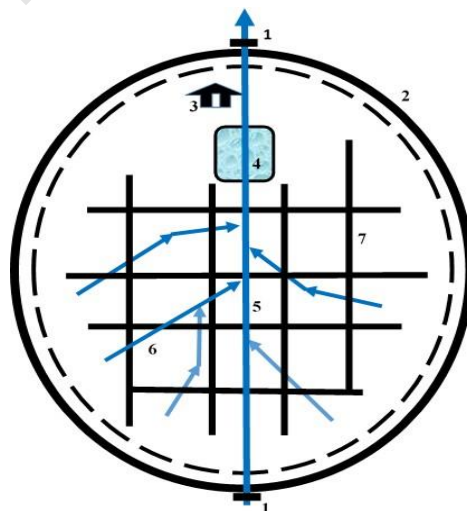
**Gambar 13-2** Skema drainase sistem polder pada persimpangan *underpass*

- b. Pengendalian pengeringan system polder pada:
  - 1) Sistem polder pada segmen ruang jalan, dengan cara:
    - a) Memasang tanggul, pada satu sisi atau kedua sisi jalan sejajar jalan sesuai bentuk topografi yang ada.
    - b) Bagian dalam tanggul (Badan jalan) dilengkapi saluran/parit sebagai penampung rembesan air dari samping atau dari bawah.
    - c) Air yang tertampung di saluran dibuang ke luar tanggul dengan cara dipompa (debit air *outflow*).
    - d) Tanggul sebagai batas badan jalan yang mengelilinginya dengan elevasi lebih tinggi dari elevasi di sekitar daerah tersebut, yang bertujuan untuk melindungi badan jalan dari limpasan air yang berasal dari luar.
    - e) Pembuatan tanggul, antara lain: tanggul alamiah, tanggul timbunan atau tanggul beton struktur.
    - f) Sistem polder tersebut seperti diilustrasikan pada Gambar 13-5.
  - 2) Sistem polder pada persimpangan underpass, dengan cara :
    - a) Menambah fasilitas bangunan reservoir/bak penampung rembesan air dari berbagai sumber, reservoir tersebut diletakkan di bawah perkerasan jalan.

- b) Air dalam reservoir tersebut dibuang ke luar dengan cara dipompa (debit air *outflow*), untuk dibuang ke luar yaitu saluran pembawa yang ada.
- c) Sistem polder tersebut seperti diilustrasikan pada Gambar 13-6.

### 13.2.5 Sistem Polder pada Area Lahan

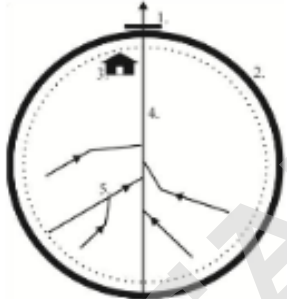
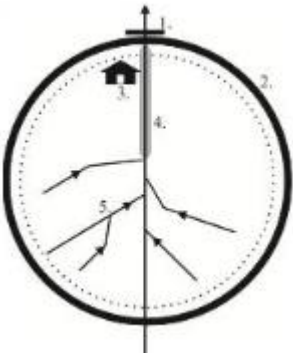
- a. Polder pada area lahan yang produktif seperti; permukiman, pertanian dan tutupan lahan lainnya, dimana pada area tersebut adanya jaringan jalan.
- b. Di dalam drainase sistem polder pada area lahan, dikenal 2 komponen, yaitu:
  - 1) Komponen utama, yaitu komponen yang harus ada di dalam drainase sistem polder, meliputi; pintu air, tanggul pengaman, dan jaringan saluran drainase;
  - 2) Komponen pelengkap, yaitu komponen yang penggunaannya dapat disesuaikan dengan kondisi di lapangan, meliputi; stasiun pompa, kolam retensi, dan saluran kolektor;
- c. Sistem polder pada area lahan yang ideal, dilengkapi komponen bangunan drainase seperti:
  - 1. Pintu klep
  - 2. Tanggul pengaman, yang mengelilingi.
  - 3. Stasiun pompa
  - 4. Kolam retensi, sebagai penampung air.
  - 5. Jaringan saluran drainase
  - 6. Saluran kolektor
  - 7. Jaringan jalan.

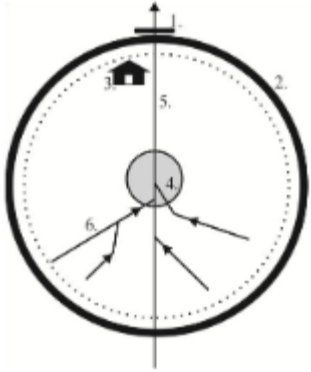



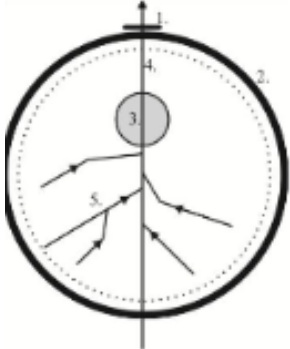
**Gambar 13-3** Komponen bangunan drainase sistem polder yang ideal

- d. Sesuai dengan kondisi di lapangan, ada 2 bentuk drainase sistem polder, yaitu:
- 1) Drainase sistem polder dengan menggunakan pompa dan kolam retensi di satu tempat.
  - 2) Drainase sistem polder dengan hanya menggunakan pompa, tanpa kolam retensi. Ini digunakan apabila kondisi di lapangan tidak dimungkinkan untuk dibangun kolam retensi karena keterbatasan lahan.
  - 3) Berikut beberapa bentuk system drainase polder pada area lahan, seperti ditunjukkan pada Tabel 13.1.
- e. Tinggi muka air tanah, sungai, laut, dan banjir akan berfluktuasi, untuk itu ketinggian muka air saluran induk di titik outlet dan saluran drainase perlu dipelajari, hususnya pengaruhnya terhadap periode dan simpangannya.

**Tabel 13-1** Bentuk system drainase polder pada daerah lahan

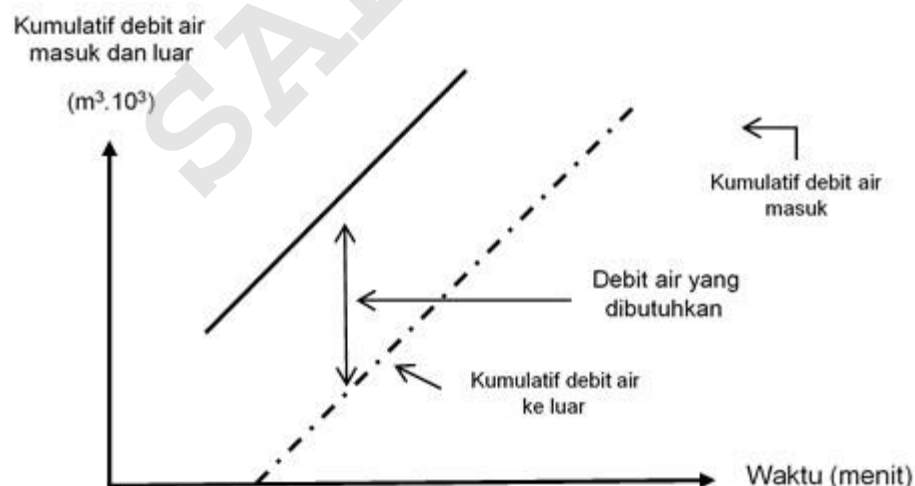
No,	Bentuk	Komponen drainase polder	Keterangan
1		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pintu air.</li> <li>2. Tanggul pengaman</li> <li>3. Stasiun pompa</li> <li>4. Jaringan saluran drainase</li> <li>5. Saluran kolektor</li> </ol>	<p>Drainase sistem polder dengan hanya menggunakan pompa, tanpa kolam retensi. Sistem ini digunakan apabila kondisi di lapangan tidak dimungkinkan untuk dibangun kolam retensi karena keterbatasan lahan</p>
2		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pintu air.</li> <li>2. Tanggul pengaman</li> <li>3. Stasiun pompa</li> <li>4. Tangpungan memanjang</li> <li>5. Saluran kolektor</li> </ol>	<p>Drainase sistem polder dengan menggunakan pompa dan tangpungan memanjang. Sistem ini digunakan apabila kondisi di lapangan terdapat alur saluran/ sungai yang lebar dan mempunyai kapasitas saluran</p>

No,	Bentuk	Komponen drainase polder	Keterangan
			melebihi debit banjir rencana.
3		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pintu air.</li> <li>2. Tanggul pengaman</li> <li>3. Stasiun pompa</li> <li>4. Kolam retensi</li> <li>5. Jaringan saluran drainase</li> <li>6. Saluran kolektor</li> </ol>	<p>Drainase sistem polder dengan menggunakan pompa dan kolam retensi tidak di satu tempat. Sistem ini digunakan apabila lahan yang tersedia untuk keperluan kolam retensi letaknya berjauhan dengan stasiun pompa.</p>
4		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pintu air.</li> <li>2. Tanggul pengaman.</li> <li>3. Kolam retensi.</li> <li>4. Jaringan saluran drainase,</li> <li>5. Saluran kolektor,</li> </ol>	<p>Drainase sistem polder dengan menggunakan kolam dan pintu air (tanpa pompa). Sistem ini digunakan pada daerah yang mempunyai beda pasang surut yang cukup besar, elevasi muka air minimum di kolam lebih tinggi dari muka air laut surut dan lahan yang diperlukan untuk kolam tidak bermasalah.</p>

No,	Bentuk	Komponen drainase polder	Keterangan
5		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pintu air.</li> <li>2. Tanggul pengaman</li> <li>3. Kolam retensi</li> <li>4. Jaringan saluran drainase</li> <li>5. Saluran kolektor.</li> </ol>	<p>Drainase sistem polder dengan menggunakan pintu air (tanpa kolam dan pompa).</p> <p>Sistem ini digunakan pada daerah yang mempunyai daerah tangkapan yang sempit (saluran tersier) dan daerah pemukiman yang padat</p>

Sumber: Al Falah, Drainase perkotaan.

- f. Luas area lahan
  - 1) Tetapkan luas area lahan.
  - 2) Tetapkan debit banjir rencana dan debit keluar lewat pompa dan gorong-gorong.
- g. Selisih volume air yang masuk dan keluar dengan menggambar garis lengkung massa debit, ditunjukkan pada Gambar 13-4.



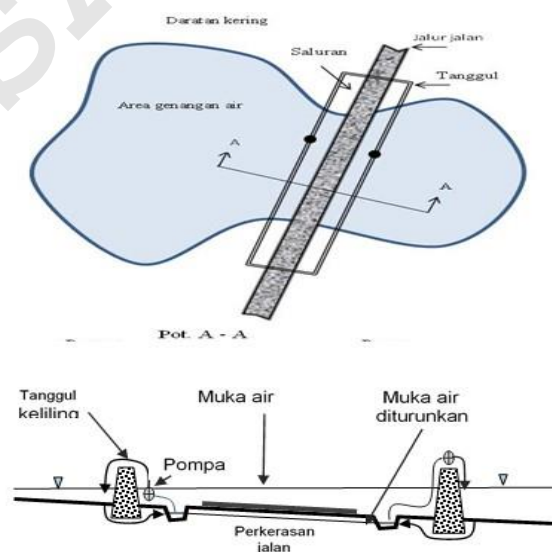
**Gambar 13-4** Kumulatif debit masuk dan keluar serta volume tampungan

- h. Perhitungan banjir dengan metoda Rationat bentuk lengkungan massa hidrograf mendekati huruf S. Lengkungan massa menggambarkan jumlah kumulatif debit air banjir sesuai waktu.

- i. Rincian analisis:
  - 1) Hitung debit puncak banjir yang masuk dan buat hidrograf.
  - 2) Hitung volume kumulatif dengan selang waktu sebesar t menit.
  - 3) Asumsikan bahwa debit yang keluar dari gorong gorong atau kapasitas saluran di hilir gorong gorong konstan.
  - 4) Buat hidrograf serta hitung volume air kumulatif dengan selang waktu t menit, dengan membuat-grafik kurva massa dari volume air yang masuk dan keluar serta membuat garis sejajar dengan garis kumulatif air yang keluar dan bersinggungan di puncak kurva dari garis kumulatif air yang masuk, didapat total volume air yang harus ditampung dalam kolam/saluran.
  - 5) Tentukan luas kolam yang dibutuhkan sesuai yang direncanakan.

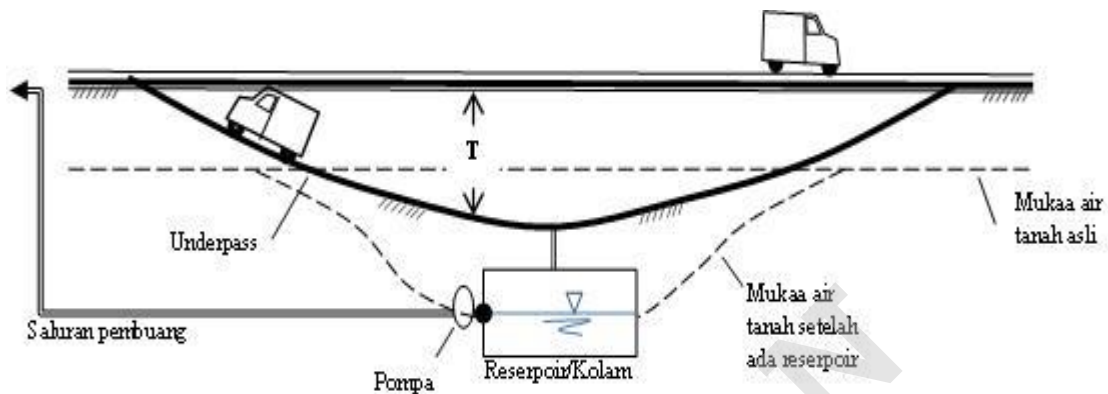
### 13.3 Komponen Desain

- a. Komponen desain polder pada ruang jalan
  - 1) Debit air masuk (inflow)
    - a) Debit air pada sistem polder segmen ruang jalan yang direklamasi, dimana air yang masuk ditampung oleh saluran/parit yang ada di dalam tanggul. Yaitu debit total ( $Q_t$ ), debit tersebut meliputi ;  $Q_1$  adalah air yang merembes,  $Q_2$  adalah air kapiler dari muka air tanah, dan  $Q_3$  adalah air rembesan permukaan dan/atau curah hujan atau  $Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3$ . Penjelasan seperti diilustrasikan pada Gambar 13-5.



**Gambar 13-5** Sistem polder pada ruas jalan

- b) Debit air pada sistem polder persimpangan *underpass* jalan, dimana air yang masuk ditampung oleh reservoir/bak tampungan yang ada di bawan jalan *underpass*. Yaitu debit total ( $Q_t$ ), debit tersebut melingkupi;  $Q_1$  adalah air yang merembes,  $Q_2$  adalah air kapiler dan  $Q_3$  adalah air permukaan tanah.  $Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$ . Penjelasan seperti diilustrasikan pada Gambar 13-6.



**Gambar 13-6** Sistem polder pada perlintasan jalan tak sebidang/*underpass*

- 2) Debit air ke luar (*Outflow*)
  - a) Debit air sistem polder pada segmen ruang jalan, dimana air yang keluar dibuang dengan cara dipompa dari saluran/parit yang ada di dalam tanggul. Yaitu debit pompa ( $Q_p$ ).
  - b) Debit air pada sistem polder persimpangan *underpass* jalan, dimana air yang keluar dibuang dengan cara dipompa dari reservoir/kolam tampungan yang ada di bawan jalan *underpass*. Yaitu debit total ( $Q_p$ ).
- 3) Komponen lain yang terlibat dalam desain drainase sistem polder, seperti;
  - a) Luas kawasan polder, melingkupi area badan jalan, area saluran/parit dan ambang pengaman jalan.
  - b) Sifat-sifat tanah.
  - c) Data klimatologi.
- 4) Stasiun pompa
  - a) Pompa digunakan untuk mengeluarkan air yang sudah terkumpul dalam reserfoir/saluran/kolam.
  - b) Prinsip dasar kerja pompa adalah menghisap air dengan menggunakan sumber tenaga listrik atau generator.
  - c) Air dapat dibuang langsung ke saluran pembawa (kanal/sungai) atau area di luar tanggul.
  - d) Jumlah dan kapasitas pompa yang disediakan di dalam stasiun pompa harus disesuaikan dengan volume layanan air yang harus dikeluarkan.

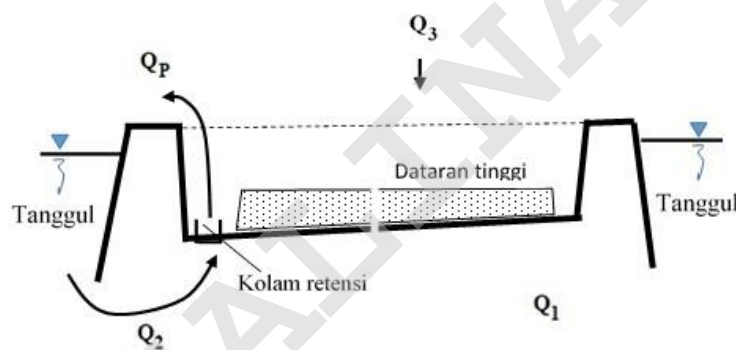
- e) Pompa yang menggunakan tenaga listrik, disebut dengan pompa jenis sentrifugal, sedangkan pompa yang menggunakan tenaga generator dengan bahan bakar solar adalah pompa *submersible*.
- b. Komponen desai polder pada area lahan
- 1) Debit air masuk (*inflow*)
    - a) Dalam perencanaan drainase sistem pompa yang perlu diperlukan tidak hanya debit puncak banjir, tetapi juga hidrograf banjir.
    - b) Kolam penampungan dan/atau kapasitas tampungan seperti ditunjukkan pada Gambar 13.7, dimana hubungan antara aliran masuk dan kapasitas pompa dan/atau aliran keluar, dinyatakan dalam persamaan kontinuitas sebagai berikut:

$$Q_p = Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad 77)$$

Keterangan :

$Q_i$  = Debit aliran masuk ( $m^3/dt$ )

$Q_p$  = Debit aliran keluar atau kapasitas pompa ( $m^3/dt$ )



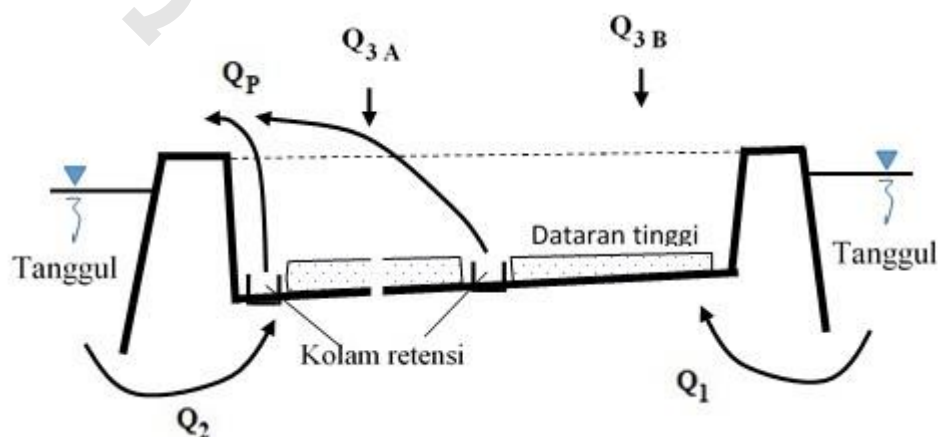
**Gambar 13-7** Aliran air dalam area lahan polder satu kolam tampungan

- 2) Debit air ke luar (*Outflow*)
 

Debit air sistem polder pada area lahan, dimana air yang keluar dibuang dengan cara dipompa dari saluran/parit yang ada di dalam tanggul. Yaitu debit pompa ( $Q_p$ ).
- 3) Ketentuan ketinggian maksimum muka air dan kapasitas pompa:
  - a) Muka air maksimum harus ditentukan berdasarkan elevasi muka air terendah dan tata guna lahan kering/daratan.
  - b) Dalam banyak kasus kita kesulitan mendapatkan lahan yang cukup untuk membuat kolam penampung, sehingga diperlukan kapasitas pompa yang terlalu besar dibanding dengan daerah yang dilayani. Dalam hal ini dapat dipertimbangkan untuk merencanakan muka air maksimum di atas elevasi muka tanah rendah.



- c) Pengaruh Pompa yang ditunjukkan pada penurunan muka air maksimum harus diperkirakan dalam beberapa periode ulang untuk memperkirakan keuntungan stasiun pompa.
- 4) Pola operasi pompa dan pintu air.
  - a) Didasarkan pada muka air pada saluran drainase dan kolam penampung.
  - b) Pada saat muka air pada kolam lebih rendah dari muka air di saluran induk, pintu dibuka dan pompa dioperasikan.
  - c) Sebaliknya pada saat muka air di kolam lebih tinggi dibanding dengan tinggi muka air di saluran induk, operasi pompa dihentikan dan pintu dibuka.
  - d) Debit pintu jauh lebih besar dibanding dengan kapasitas pompa dan operasi pompa selama aliran gravitasi menyebabkan permasalahan mekanis pada pompa.
  - e) Lokasi optimal untuk stasiun pompa adalah pada titik terendah dari area lahan polder, dengan cara ini kemiringan dasar digunakan untuk aliran secara gravitasi dan aliran air yang dalam dihindari sejauh mungkin.
  - f) Ketika tidak ada kemiringan, penempatan yang lebih disukai untuk outlet akan berada di tengah. Namun kompromi merupakan keseimbangan ekonomi antara lokasi outlet polder dan meminimalkan biaya penggalian dengan menggunakan aliran air yang ada dan jalur aliran alami.
  - g) Manakala debit air dalam saluran induk terlalu besar, diperlukan penambahan kolam ritensi dan pompa secara berurutan, seperti ditunjukkan pada Gambar 13.8.



**Gambar 13-8** Aliran air dalam area lahan polder dua kolam retensi

- 5) Komponen lain yang terlibat dalam desain drainase sistem polder pada area lahan, seperti;

- a) Luas area polder, melingkupi area yang dikelilingi oleh tanggul.
- b) Fluktuasi muka air; banjir dan muka air tanah
- c) Sifat-sifat tanah.
- d) Data klimatologi.

## 13.4 Mendesain Polder

### 13.4.1 Tampungan Air

- a. Sistem polder reklamasi badan jalan :
  - 1) Saluran/parit mempunyai fungsi sebagai kolam penyimpanan air yang merembes ke dalam area badan jalan.
  - 2) Saluran ini, bisa menampung air sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan sehingga dapat mengurangi debit air permukaan badan jalan saat hujan puncak (*peak flow*) dan air rembesan permukaan air tanah di luar area badan jalan/polder saat muka air tanahnya tinggi (*over flow*).
  - 3) Elevasi maksimum muka air dalam saluran harus dipertahankan dibawah struktur perkerasan yang diizinkan.
- b. Sistem polder pada persimpangan *underpass* :
  - 1) Reservoir/bak tampungan mempunyai fungsi sebagai bak penyimpanan air dari rembesan air permukaan dan/atau rembesan/daya kapiler air tanah yang ada di bawahnya.
  - 2) Bak tersebut harus dapat menampung air sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan sehingga dapat mengurangi debit rembesan/muka air tanah dan air daya kapiler.
  - 3) Elevasi maksimum muka air dalam bak harus dipertahankan sesuai yang direncanakan.
- c. Dari pola pergerakan air pada system polder tersebut di atas, setelah muka air di area badan jalan ditetapkan dan dipertahankan saat debit air maksimum, yaitu debit rembesan (*inflow*) harus sama dengan debit pemompaan (*outflow*).

### 13.4.2 Kriteria Desain

- a. Konsep desain sistem polder, adalah debit air yang masuk ke area polder haru sama dengan debit air yang keluar dengan cara dipompa ( $Q_{outflow} = Q_{inflow}$ ).
- b. Debit masuk ( $Q_i$ ), merupakan akumulasi rembesan dari berbagai sumber.
- c. Debit keluar ( $Q_{ot}$ ), merupakan kapasitas dari pompa.
- d. Keseimbangan debit air masuk dan yang keluar harus dipertahankan, sehingga muka air di saluran/parit maupun di resevoir bisa dipertahankan elevasi maksimumnya.

- e. Kedalaman muka air tanah akan berfluktuasi sesuai musim penghujan atau kemarau, setiap musim elevasi muka air tanah tersebut dirata-ratakan selama satu tahun. Hasilnya rata-rata permusim diinterpolasi, nilai tersebut sebagai rata-rata muka air tanah.

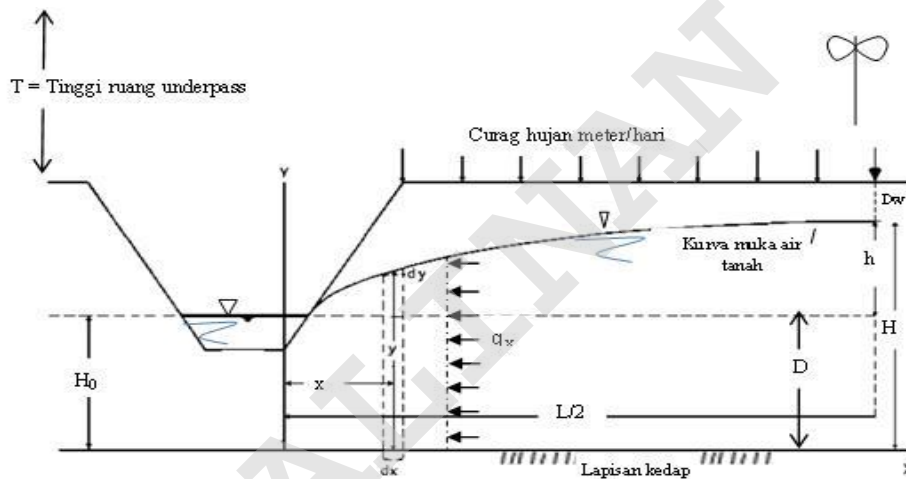
### 13.4.3 Debit dan Geometrik Rembesan Air

- a. Pada jarak  $x$  dari parit debit  $Q$  persatuan lebar tegak lurus terhadap bidang aliran, dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = \left(\frac{1}{2} \cdot L - x\right) \quad (78)$$

Keterangan :

$L$  = sama dengan jarak antara dua parit yang sejajar, seperti diilustrasikan pada Gambar 13-9.



**Gambar 13-9** Kondisi stasioner muka air tanah dengan curah hujan normal (m/d)

- b. Tinggi ruang underpass ( $T$ ) disesuaikan dengan ketentuan tinggi penghalang pada alineimen vertical cekungan (Pedoman desain geometrik jalan).
- c. Menurut Hukum Darcy debitnya adalah:  $k \cdot y \cdot (dy/dx)$ , dengan  $dy/dx$  sebagai kemiringan muka air tanah di tempat  $x$ , dan  $y$  tinggi akuifer per satuan lebar, tegak lurus terhadap bidang aliran.
- d. Dengan asumsi  $H = D + h$  (Hooghoudt). Ini menghasilkan rumus:

$$q = \frac{8 \cdot k \cdot D \cdot h + 4 \cdot k \cdot h^2}{L^2} \quad (79)$$

$$\text{Atau } L = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot D \cdot h + 4 \cdot k \cdot h^2}{q}} \quad (80)$$

Keterangan :

$q$  = curah hujan konstan [m/d]

- k = konduktivitas hidrolik horizontal [m/d]
- D = ketinggian air permukaan di atas akuifer [m]
- L = lebar antara dua parit sejajar [m]
- h = tinggi muka air tanah di atas muka air tanah pada  $\frac{1}{2} L$  [m]

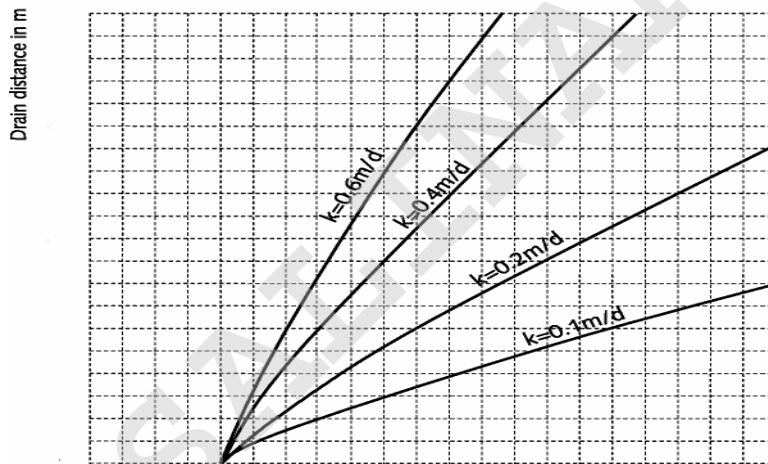
e. Konduktivitas di atas saluran seringkali berbeda dengan yang di bawah saluran, karena retakan dan akar. Rumus tambahan Hooghoudt memperhitungkan hal ini:

$$q = \frac{8 \cdot k_1 \cdot D \cdot h + 4 \cdot k_2 \cdot h^2}{L^2} \quad 81)$$

Keterangan :

- $k_1$  = konduktivitas hidrolik di atas drain [m/d]
- $k_2$  = konduktivitas hidrolik di bawah saluran [m/d]

Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  dari Gambar 13-10 diagram grafik hubungan antara kedalaman saluran dan jarak saluran.



Sumber: Olivier Hoes, March 2015

**Gambar 13-10** Hubungan antara kedalaman saluran dan jarak saluran

f. Kedalaman *ekuivalen* (d), saat ini lebih praktis menggunakan metoda dagan, dengan rumus:

$$d = \frac{\frac{2 \pi L}{8}}{\ln \frac{L}{\pi r_0} + F(x)} \quad 82)$$

dimana :

$$x = \frac{2 \pi D}{L} \quad \text{dan} \quad F(x) = \frac{\pi^2}{4 x} + \ln \left( \frac{x}{2 \pi} \right)$$

Keterangan :

- d = kedalaman ekuivalen [m]
- $r_0$  = radius saluran [m]

- g. Pada jarak  $x$  dari parit debit  $Q = q (1/2L - x)$  per satuan lebar, tegak lurus terhadap bidang aliran.  $L$  sama dengan jarak antara dua parit yang sejajar atau sama dengan lebar badan jalan.
- h. Hukum Darcy debitnya adalah:  $k \cdot y \cdot (dy/dx)$ , dengan  $dy/dx$  sebagai kemiringan muka airtanah di tempat  $x$ , dan  $y$  tinggi akuifer per satuan lebar, tegak lurus terhadap bidang aliran, dengan catatan  $H = D + h$ . Ini menghasilkan rumus Hooghoudt.:

$$q = \frac{8 \cdot k \cdot D \cdot h + 4 \cdot k \cdot h^2}{L^2} \quad 83)$$

Keterangan :

- $q$  = curah hujan konstan [m/d]  
 $k$  = konduktivitas hidrolik horizontal [m/d]  
 $D$  = ketinggian air permukaan di atas akuifer [m]  
 $L$  = lebar plot antara dua parit sejajar [m]  
 $h$  = tinggi muka air tanah di atas muka air tanah pada  $\frac{1}{2} L$  [m]

- i. Kenyataannya, konduktivitas di atas saluran sering kali berbeda dengan yang di bawah saluran, karena retakan dan akar. Rumus tambahan *Hooghoudt* memperhitungkan hal tersebut, maka rumus menjadi :

$$q = \frac{8 \cdot k_1 \cdot D \cdot h + 4 \cdot k_2 \cdot h^2}{L^2} \quad 84)$$

Keterangan :

- $k_1$  = konduktivitas hidrolik di atas drain [m/d]  
 $k_2$  = konduktivitas hidrolik di bawah saluran [m/d]

- j. Hooghoudt 1960 menentukan jarak antar saluran dan ketinggian muka air di atas air permukaan merupakan *head loss* untuk aliran vertikal, aliran *horizontal*, dan aliran radial, rumus yang digunakan:

$$h = h_{vert} + h_{hor} + h_{red} = \frac{q D_{vert}}{k_{vert}} + \frac{q L^2}{8 \sum (k D)_{or}} + \frac{q l}{\pi k_{rad}} \ln \frac{a \cdot D_{rad}}{u} \quad 85)$$

Keterangan :

- $D_{vert}$  = ketebalan lapisan di mana aliran vertikal dianggap (m)  
 $k_{vert}$  = konduktivitas hidrolik vertikal (m/hari)  
 $\sum (k D)_{hor}$  = keterusan lapisan-lapisan tempat air mengalir secara horizontal (m<sup>2</sup>/d)  
 $k_{rad}$  = konduktivitas hidrolik radial (m/hari)  
 $a$  = faktor geometri dari resistansi radial (-)

$D_{rad}$  = ketebalan lapisan di mana aliran radial dianggap (m)

$u$  = parameter masuknya basah dari saluran (m)

k. Untuk mencegah hal ini, ketebalan maksimum lapisan tanah di bawah tingkat drainase tempat aliran dipertimbangkan dibatasi hingga  $1/4 L$ . Dalam tanah berlapis, faktor geometri bergantung pada apakah saluran air berada di lapisan tanah bagian atas atau bawah. Jika saluran air berada di lapisan bawah, maka sekali lagi  $a = 1$ , karena aliran radial diasumsikan terbatas pada lapisan ini. Jika saluran air berada di lapisan atas, maka nilai  $a$  tergantung pada rasio konduktivitas lapisan bawah dan lapisan atas ( $k_{bottom}/k_{top}$ ). Ernst membedakan situasi berikut:

a.  $\frac{k_{bottom}}{k_{top}} < 0,1$  : lapisan bawah dianggap kedap dan  $a = 1$ ;

b.  $0,1 < \frac{k_{bottom}}{k_{top}} < 50$  :  $a$  tergantung pada  $k_{bottom}/k_{top}$  dan  $B_{bottom}/B_{top}$  (Lihat Tabel 13-2 Rasio hubungan  $k_{bottom}/k_{top}$  dan  $B_{bottom}/B_{top}$ ..)

c.  $\frac{k_{bottom}}{k_{top}} > 50$  :  $a = 4$

**Tabel 13-2** Rasio hubungan  $k_{bottom}/k_{top}$  dan  $B_{bottom}/B_{top}$

$K_{bottom} / K_{top}$	$D_{bottom} / D_{top}$					
	1	2	4	8	16	32
1	2.0	3.0	5.0	9.0	15.0	30.0
2	2.4	3.2	4.6	6.2	8.0	10.0
3	2.6	3.3	4.5	5.5	6.8	8.0
5	2.8	3.5	4.4	4.8	5.6	6.2
10	3.2	3.6	4.2	4.5	4.8	5.0
20	3.6	3.7	4.0	4.2	4.4	4.6
50	3.8	4.0	4.0	4.0	4.2	4.6

l. Kapasitas kolam saluran/parit dan/atau reservoir, yang dapat menampung volume air pada saat debit banjir puncak, dihitung dengan Rumus umum seperti di bawah ini :

$$Q = \int_0^t (Q_{in} - Q_{out}) dt \quad 86)$$

Keterangan :

$Q$  = volume kolom saluran atau reservoir

$t$  = waktu awal air masuk ke dalam inlet

$t_0$  = waktu air keluar dari (outflow)

$Q_{in}$  = debit masuk (*inflow*)

$Q_{ou}$  = debit keluar (*outflow*)

- m. Ilustrasi gambar diagram kondisi stasioner muka air tanah, bisa dirancang berapa kebutuhan geometric tinggi badan jalan yang memenuhi keamanan lapisan struktur perkerasan jalan dan kebutuhan tanggul serta elevasi reservoir.

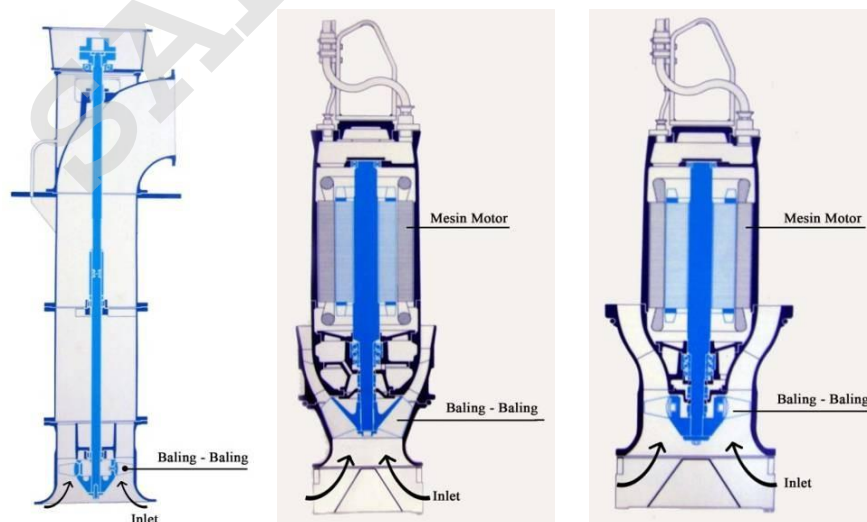
#### 13.4.4 Kapasitas Pompa

- a. Kapasitas pompa disesuaikan dengan debit air masuk ( $Q$  inflow).
- b. Spesifikasi pompa sesuai kebutuhan debit air ke luar ( $Q$  outflow), seperti berikut ini:
- 1) Pompa *Centrifugal* (aliran radial). Dipergunakan untuk memompa air dengan ketinggian yang besar dan aliran sedang.



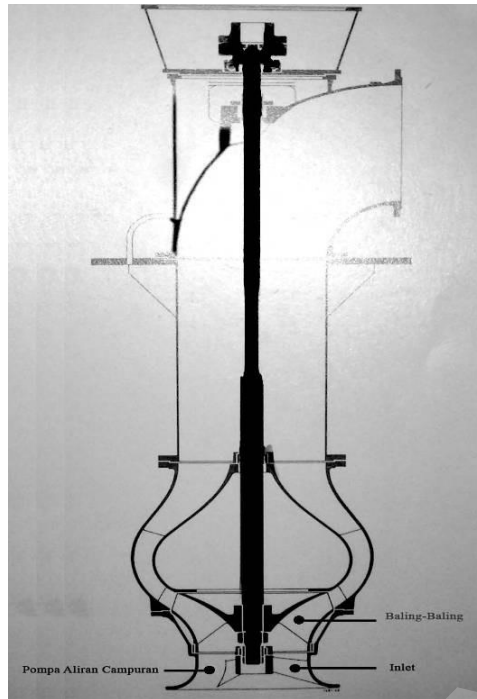
**Gambar 13-11** Pompa *centrifugal*

- 2) Pompa Axial (baling-baling). Dipergunakan untuk memompa air dengan ketinggian yang rendah sampai aliran yang besar.



**Gambar 13-12** Pompa *axial*

- 3) Pompa Aliran campuran. Digunakan dengan karakteristik tengah-tengah antara Pompa Centrifugal dengan Pompa Axial.



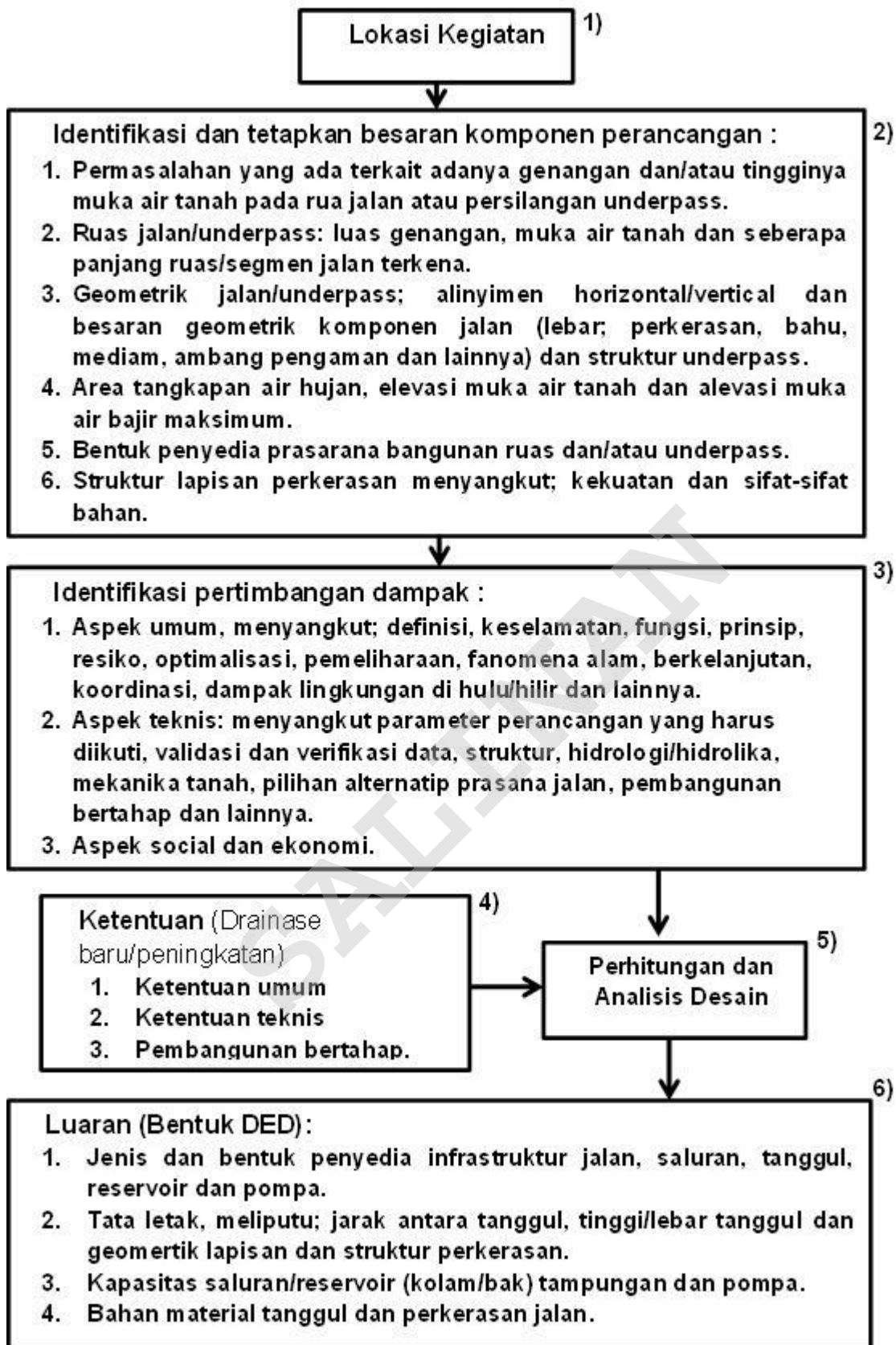
**Gambar 13-13** *Pompa aliran campuran*

## **13.5 Bagan Alir Desain**

### **13.5.1 Bagan Alir Proses Desain**

- a. Berikut adalah Gambar 13-14, merupakan proses tahapan perhitungan dan analisa desain drainase sistem polder dalam bentuk bagan alir.





**Gambar 13-14** Bagan Alir Proses Desain Drainase Sistem Polder

### 13.5.2 Uraian tahapan proses analisa

Langkah desain drainase sistem polder diuraikan sebagai berikut (Gambar 13-14):

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi:
  - 1) No. ruas dan/atau STA jalan.
  - 2) Panjang ruan atau segmen jalan yang akan ditangani.
  - 3) Fungsi dan status jalan.
  - 4) Guna lahan di lingkungan jalan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen desain, meliputi :
  - 1) Area tangkapan air hujan yang akan terkonsentrasi ke area genangan.
  - 2) Elevasi tinggi muka air tanah.
  - 3) Data klimatologis.
  - 4) Geometrik jalan dan/atau underpass, menyangkut; alinemen horisontan jalan, vertical jalan, kemiringan memanjang dan melintang.
  - 5) Tipe/konfigurasi jalan dan/atau underpass dan geometrik lebar; jalur, lajur, bahu jalan dan ambang jalan.
  - 6) Data sifat-sifat tanah.
  - 7) Lokasi pembuangan air dari kolam bertanggul tanggul atau dari underpass.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan dampak hasil pembangunan, meliputi :
  - 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (perencana), sebagai bahan pertimbangan dalam desain , dalam hal dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan, seperti diuraikan dalam sub-bab 5.1 pertimbangan umum dan 5.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Aspek umum, menyangkut definisi, fungsi, prinsip, resiko, optimalisasi, pemeliharaan, fenomena alam, infrastruktur yang berkelanjutan dan lainnya.
  - 3) Aspek teknis : menyangkut; parameter desain yang harus diikuti, data yang valid, verifikasi data, struktur, hidrologi/hidrolika, mekanika tanah, spesifikasi pompa dan lainnya.
  - 4) Pilihan alternatif bentuk penyedia prasarana dibanding bentuk lainnya (Overpass, elevated atau *plyover*) ditinjau secara ekonomi, teknologi dan pemeliharaan.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan teknis yang perlu dipertimbangkan dan diikuti, secara umum dan teknis pada sistem polder ruas jalan dan/atau underpass:
  - 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan dalam bangunan drainase sistem polder.

- 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter desain yang harus diikuti, seperti ; ukuran/geometrik dan bentuk bangunan drainase, karakteristik komponen hidrolika, sifat-sifat air, tanah serta struktur bangunan infrastruktur polder (tanggul, saluran/tampung, reservoir/tampung, perkerasan jalan dan spesifikasi pompa).
  - 3) Pembangunan bertahap diartikan sudah ada persiapan untuk adanya pengembangan bentuk penyedia infrastruktur jalan dan/atau polder dikemudian hari.
  - 4) Optimalisasi diartikan dalam menghadapi kondisi yang mungkin tidak bisa melaksanakan aspek ketentuan teknis. Ini bisa dilakukan dengan seijin penyelenggara jalan.
- e. Langkah No. 5, Analisis, merupakan proses desain sesuai ketentuan secara analitik/rumus dan/atau empiris/grafik, dengan input data pendukung parameter desain tertentu dalam menetapkan desain bentuk, ukuran, kapasitas bangunan polder, pompa dan bangunan pelengkap pendukung lainnya. Langkah-langkah perhitungan saluran bawah permukaan:
- 1) Sistem polder reklamasi badan jalan :
    - a) Identifikasi bentuk konfigurasi dan dimensi jalan, elevasi permukaan perkerasan jalan, struktur lapisan perkerasan jalan, dan sumber rembesan, serta elevasi muka air tanah.
    - b) Tetapkan sifat-sifat tanah yang ada terkait aliran debit rembesan.
    - c) Rencanakan bentuk konfigurasi dan dimensi konfigurasi jalan berikut saluran dan tanggul.
    - d) Rencanakan tata letak pompa dan saluran pembuang/pembawa.
    - e) Perhitungan diasumsikan untuk setengah bagian area polder yang akan direklamasi ( $1/2L$ ).
    - f) Hitung besaran geometrik variable rembesan dengan menggunakan rumus (79 dan 80 ). Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  dari gambar (Gambar 13-10).
    - g) Hitung debit rembesan dan geometriknya, dengan menggunakan rumus (78).
    - h) Tetapkan bentuk dan dimensi serta komponen pendukungnya.
  - 2) Sistem polder pada persimpangan *underpass* :
    - a) Identifikasi bentuk konfigurasi, ruang bebas bagian atas (T) dan dimensi jalan, elevasi permukaan perkerasan jalan, struktur lapisan perkerasan jalan, dan sumber rembesan, serta elevasi muka air tanah.
    - b) Tetapkan sifat-sifat tanah yang ada terkait aliran debit rembesan.

- c) Rencanakan bentuk konfigurasi, ruang bebas bagian atas (T), dimensi konfigurasi jalan berikut saluran reservoir/bak tampungan.
  - d) Rencanakan tata letak pompa dan saluran pembuang/pembawa.
  - e) Debit rembesan  $Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$ .
  - f) Tetapkan debit air rembesan ( $q_i$ ), menggunakan rumus (51) sampai dengan rumus (53), berikutnya tetapkan waktu untuk pengeringan air rembesan (t) dengan rumus (54).
  - g) Tetapkan bentuk dan dimensi serta komponen pendukungnya.
- 3) Menghitung kapasitas kolam saluran/parit dan/atau reservoir/bak, untuk menampung debit air pada saat debit puncak, dihitung dengan rumus (86).
- f. Tetapkan dimensi dan jenis drainase bawah permukaan, seperti ditunjukkan pada gambar (Gambar 13-5 dan Gambar 13-6).
  - g. Langkah No. 7, Luaran : Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain teknis bangunan drainase jalan sistem polder (DED).

## 14. Desain Drainase Berwawasan Lingkungan

### 14.1 Ketentuan Umum

- a. Mengurangi kerusakan lingkungan akibat jalan baik saat pembangunan dan operasi, dalam mengendalikan limpasan air permukaan saat hujan yang terpadu dan berkelanjutan, salah satunya dengan menerapkan konsep *Low Impact Development (LID)*.
- b. Pemilihan konsep LID harus memperhatikan berbagai hal seperti; alinemen jalan, kebutuhan lahan, tanah, kemiringan, muka air tanah, jarak dengan bangunan eksisting, kecepatan infiltrasi tanah asli, kontrol terhadap potensi longsor, efektivitas kinerja (terkait dengan dimensi), kedalaman maksimal dan kemudahan dalam pemeliharaan.
- c. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam LID pada drainase jalan meliputi:
  - 1) Meniru sistem drainase alami dan berada pada ruang jalan.
  - 2) Mencegah limpasan air permukaan akibat hujan dengan fasilitas yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah atau menguap kembali ke udara.
  - 3) Membatasi frekuensi volume limpasan curah hujan ekstrim dengan menerapkan hujan rencana dengan periode ulang yang lebih panjang, misalnya 50-tahunan atau 100-tahunan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan berbagai fitur termasuk kolam, kolam infiltrasi, perkerasan permeabel dan lahan basah.

- 4) Menjaga agar limpasan air hujan tidak mengalami peningkatan antara pra-pembangunan dan pasca-pembangunan jalan (*zero delta q policy*). Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan berbagai fitur termasuk kolam, kolam infiltrasi, perkerasan *permeabel* dan lahan basah.
- d. Penerapan LID pada jalan eksisting pada saat rekonstruksi jalan, perbaikan drainase skala besar dan peningkatan ekspansi perumahan di skema jalan perkotaan dan luar kota.
- e. Konsep bahwa kelembaban akibat rembesan air pada struktur perkerasan jalan dengan sifat bahannya, akan mengurangi kinerja struktur jalan tersebut.
- f. Penempatan LID di lingkungan jalan, jangan sampai merusak struktur perkerasan jalan, jadi jarak dan kedalaman harus diatur sehingga rembesan air tidak mengganggu struktur perkerasan jalan, minimal 1,5 meter dari tepi luar badan jalan.

## 14.2 Ketentuan Teknis

### 14.2.1 Infiltrasi

- a. Infiltrasi adalah peristiwa masuknya air permukaan ke dalam tanah melalui permukaan yang *permeable*.
- b. Bila Intensitas hujan (debit air permukaan) lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi sama dengan intensitas hujan.
- c. Bila intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi, maka terjadilah genangan air dipermukaan tanah. laju infiltrasi sama dengan kapasitas infiltrasi.
- d. Bila ada perbedaan tinggi tempat ( ada kemiringan tanah) maka genangan air di permukaan tanah ini akan menjadi aliran permukaan, yang mengakibatkan erosi.
- e. Faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah;
  - 1) Struktur tanah ukuran pori dan kerapatan pori.
  - 2) Profil tanah kandungan air (kadar lengas/kandungan air dalam pori tanah).
  - 3) Ukuran dan susunan pori-pori besar  $\varnothing > 0,06$  mm (dinamai porositas aerasi).
- f. Profil tanah dan sifat tiap lapisan tanah menentukan cepat tidaknya air dapat masuk ke dalam tanah.
- g. Kapasitas infiltrasi terbesar terjadi pada tanah yang kandungan airnya rendah/kering. Makin tinggi kadar air dalam tanah/makin basah, maka kapasitas infiltrasi semakin menurun hingga mencapai minimum.

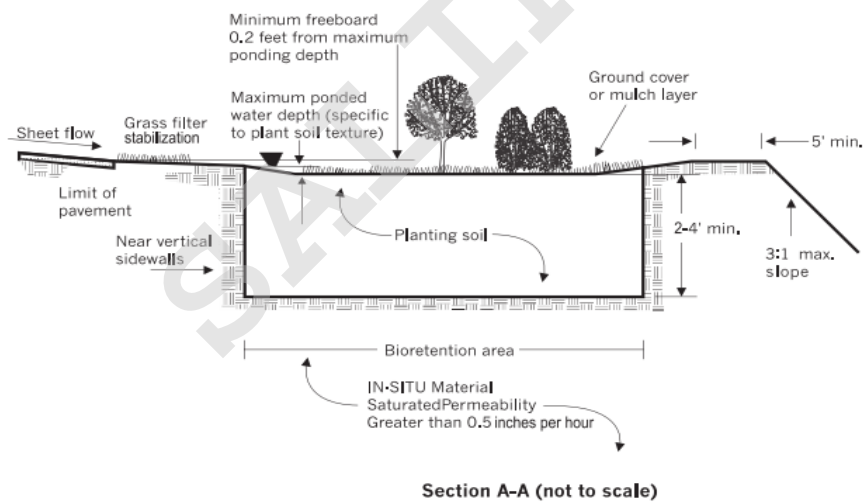
### 14.2.2 Jenis LID di Lingkungan Jalan

- a. Bioretensi (*Bioretention*).
- b. Sumur kering (*Drywell*).

- c. Lahan filter vegetasi (*Filter/ Buffer Strip*).
- d. Sengkedan bervegetasi (*Vegetative Swale*).
- e. Saluran rumput (*Grassed Swales*).
- f. Parit/saluran resapan (*Infiltration Trench*).
- g. Sengkedan resapan (*Infiltration Swale*).
- h. Sengkedan basah (*Wet Swale*).
- i. Perkerasan jalan *permeable*.

### 14.2.3 Bioretensi (*Bioretention*)

- a. Bioretensi menangkap aliran air hujan untuk difilter oleh media tanah yang telah disiapkan. Ketika kapasitas rongga pori dari media tanah dicapai, aliran air hujan mulai menggenang di permukaan tanah tempat penanaman tumbuhan.
- b. Bioretensi terdiri dari struktur pengatur aliran yang memproses aliran melewati daerah berumput sebagai penutup tanah (dataran rendah tertutup tanaman atau mulsa organik), tanah yang mendukung berbagai jenis tanaman, dan lapisan bawah tanah yang porous.
- c. Masing-masing fitur memiliki peran tertentu dalam penyisihan polutan limpasan air hujan, seperti diilustrasikan pada Gambar 14-14-1.



**Gambar 14-14** Penampang Melintang Konstruksi Bioretensi

**Tabel 14-1** Karakteristik Bioretensi

No.	Karakteristik Teknik	Keterangan
1.	Luas Lahan	Luas Permukaan Min : 1524 – 6096 cm <sup>2</sup> Lebar Min : 152,4 – 304,8 cm Panjang min : 304,8 – 609,6 cm

	Dalam min : 60,96 – 121,92 cm
2. Material yang dibutuhkan	Humus dengan ketebalan 91,44 cm
	Kecepatan infiltrasi tanah permeabel > 8,2296 cm/jam
	Rekomendasi jagaan dari atas : 60,96 – 121,92 cm
3. Kesulitan Konstruksi	Minimum : 304,8 cm dari muka air/pondasi bangunan
	Kedalaman tanah maks : 60,96 – 121,92 cm, tergantung jenis tanah
4. Tingkat Layanan	Melayani > 9.290.304 cm <sup>2</sup> daerah kedap air atau > 3035,14 m <sup>2</sup>

#### 14.2.4 Sumur Kering (*Drywell*)

- Sumur resapan merupakan lubang galian kecil yang diisi kembali dengan agregat, biasanya dengan kerikil atau batuan. Fungsi dari sumur resapan adalah sebagai sistem infiltrasi yang digunakan untuk pengendalian aliran permukaan dari atap bangunan.
- Sumur kering dilengkapi pipa berlubang dalam tanah yang dikelilingi dengan kerikil yang menampung limpasan air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah. Limpasan dari atap, tempat parkir, dan permukaan kedap lainnya mengalir melalui pipa inlet yang bermuara ke *drywell*, seperti diilustrasikan pada (Gambar 14-).
- Drywells* terbuat dari beton atau plastik dalam berbagai ukuran diameter dan kedalaman. *Drywells* adalah sistem pembuangan saja dan biasanya dikombinasikan dengan fasilitas *pretreatment* (Tabel 14-2).



**Gambar 14-2** Konstruksi *Drywell* dari Buis Beton

**Tabel 14-2** Karakteristik *drywell*

No.	Karakteristik Teknik	Keterangan
1.	Luas Lahan	Luas Permukaan Min : 243 – 609,6 cm <sup>2</sup> Lebar Min : 60,96 – 121,92 cm Panjang min : 121,92 – 243,84 cm Dalam min : 121,92 – 243,84cm
2.	Material yang dibutuhkan	Ukuran agregat > 3,81 cm, < 7,62 cm
3.	Kesulitan Konstruksi	Kecepatan infiltrasi tanah permeabel >0,6858 cm/jam Rekomendasi jagaan dari atas : 60,96 – 121,92 cm Minimum : 304,8 cm dari muka air/pondasi bangunan Kedalaman tanah maks : 182,88 – 304,8 cm, tergantung jenis tanah Kedalaman sumur : 91,44 – 365,76 cm
4.	Tingkat Layanan	-

#### 14.2.5 Lahan Filter Vegetasi (*Filter/ Buffer Strip*)

- Lahan filter ini berfungsi sebagai alat pengolahan awal untuk aliran sebelum masuk bioretensi.
- Buffer strip* adalah lahan dengan vegetasi permanen yang dirancang untuk mencegat limpasan air hujan dan meminimalkan erosi tanah.

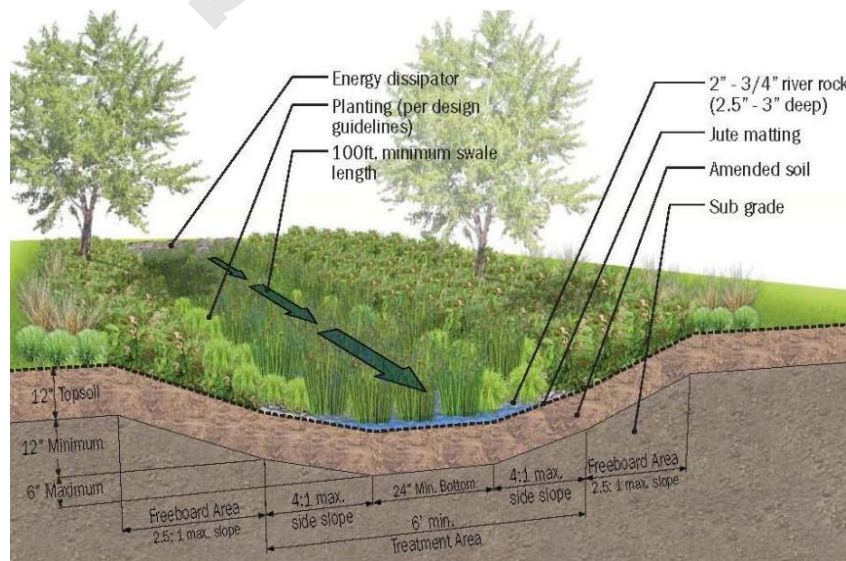


**Tabel 14-3** Karakteristik *filter/ buffer strip*

No.	Karakteristik Teknik	Keterangan
1.	Luas Lahan	Panjang min : 457,2 – 609,6 cm
2.	Material yang dibutuhkan	-
3.	Kesulitan Konstruksi	Minimum : 304,8 cm dari muka air/pondasi bangunan Daerah drainase maksimum sampai <i>filter strips</i> dibatasi dengan batas aliran overland : 4572 cm untuk tanah permeabel dan 2286 cm untuk tanah kedap air Debit masuk maks : 106,68 cm/kubik perdetik
4.	Tingkat Layanan	-

#### 14.2.6 Sengkedan Bervegetasi (*Vegetative Swale*)

- Sengkedan bervegetasi (*vegetative swale*) adalah saluran yang telah bervegetasi baik tebing maupun dasarnya. Vegetasi ini mengumpulkan air, dan menyaring sedimentasi sebelum mengalir ke debit badan air.
- Sengkedan bervegetasi dapat berfungsi sebagai bagian dari sistem drainase air hujan dan dapat menggantikan trotoar, saluran dan sistem saluran pembuangan badai (*National Cooperative Highway Research Program, 2002*). adanya check dam dapat meningkatkan efektivitas sengkedan (Gambar 14-).



**Gambar 14-3** Konstruksi *vegetative Swale*

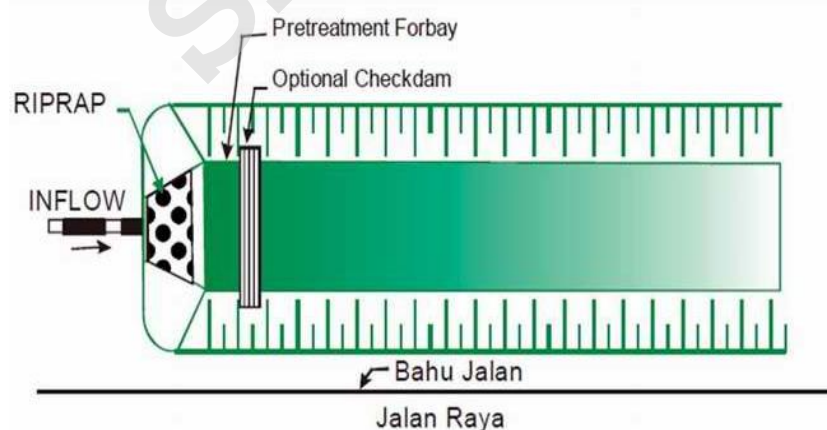
### 14.2.7 Saluran Rumpuk (*Grassed Swales*)

- a. Ada dua macam tipe saluran rumput yang digunakan untuk tujuan ini, pertama saluran kering yang menyediakan baik itu kuantitas dan menjaga kualitas dengan memfasilitasi infiltrasi aliran air hujan dan saluran basah yang menggunakan waktu tinggal dan pertumbuhan natural untuk mengurangi puncak limpasan dan menyediakan pengolahan kualitas air sebelum melimpas ke lokasi hilir.

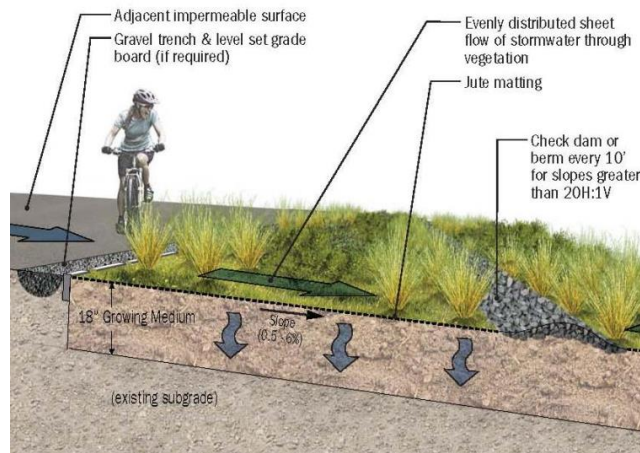


**Gambar 14-4** Konstruksi *vegetative Swale*

- b. Saluran rumput dapat dimanfaatkan sebagai saluran pembawa air hujan pada berbagai lokasi dan kondisi, fleksibel dan relative murah (NCHRP, 2002). Umumnya saluran terbuka rumput sangat cocok sebagai saluran pematuan daerah tangkapan air yang kecil dengan kemiringan yang landai (*Center for Watershed Protection, 1998*).



**Gambar 14-5** Denah *grassed swales*



**Gambar 14-6** Potongan melintang *grassed swales*

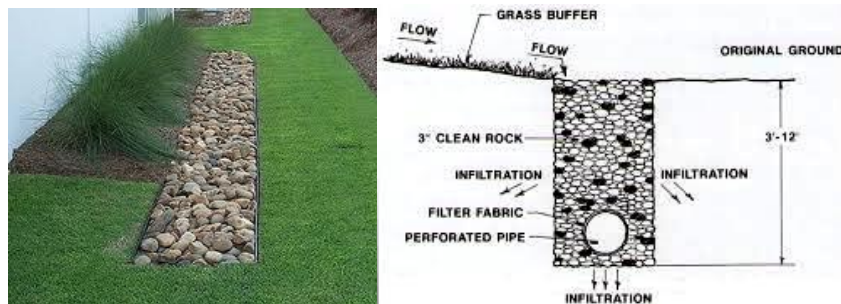
**Tabel 14-4** Karakteristik saluran rumput (*Grassed Swales*)

No.	Karakteristik Teknik	Keterangan
1.	Luas Lahan	Panjang min : 304,8 – 609,6 cm
2.	Material yang dibutuhkan	-
3.	Kesulitan Konstruksi	Tingkat infiltrasi ditentukan oleh jenis <i>swale</i> basah atau kering yang dipakai Infiltrasi <i>swale</i> kering = 0,6858 – 1,27 cm/jam Kedalamam Minimum : 60,96 cm ; maksimum 182,88 cm Kecepatan aliran harus 30,48 cm/detik untuk perlakuan mutu air Kecepatan aliran harus 152,4 cm/detik untuk hujan 2 tahunan Kecepatan aliran harus 304,8 cm/detik untuk hujan 10 tahunan
4.	Tingkat Layanan	Tingkat layanan tidak lebih dari 40000 m <sup>2</sup>

#### 14.2.8 Parit Resapan (*Infiltration Trench*)

- Parit infiltrasi adalah galian parit yang kemudian diisi kembali dengan batu untuk membentuk bak dibawah permukaan.
- Aliran air hujan dibelokan ke dalam parit dan disimpan sampai air dapat diinfiltrasi ke dalam tanah, biasanya lebih dari beberapa hari.
- Hal yang harus diperhatikan adalah menjaga parit supaya tidak tersumbat, oleh karena itu air yang masuk harus diolah dulu baik itu dengan saluran rumput atau

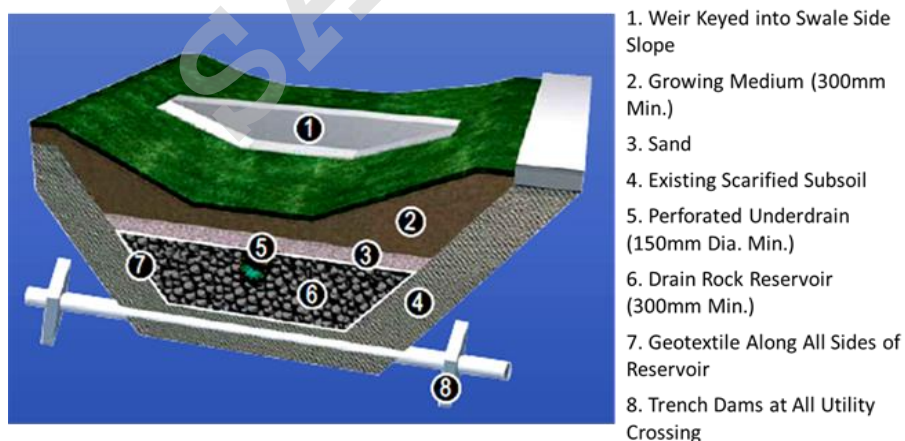
juga dengan lahan filter vegetasi. Sebuah parit resapan adalah fasilitas pengelolaan air hujan berbentuk memanjang dan sempit, lihat (Gambar 14-).



**Gambar 14-7** Konstruksi parit resapan (*infiltration Trench*)

#### 14.2.9 Sengkedan Resapan (*Infiltration Swale*)

- a. Sengkedan resapan adalah saluran berumput atau bervegetasi dangkal yang dirancang untuk menangkap, menahan dan mengelola air hujan dan membawa aliran yang lebih besar.
- b. Sengkedan Resapan menampung aliran permukaan dari permukaan beraspal yang berdekatan, menahan air di belakang bendung, dan memungkinkan untuk meresapkan ke dalam tanah melalui tanah dasar (Gambar 14-).
- c. Sengkedan dan struktur bendung menyediakan fasilitas untuk mengakomodasi kejadian debit yang lebih besar untuk mengalir ke sistem drainase. Variasi pada desain termasuk batuan dasar, dengan atau tanpa pipa drainase di dalamnya.

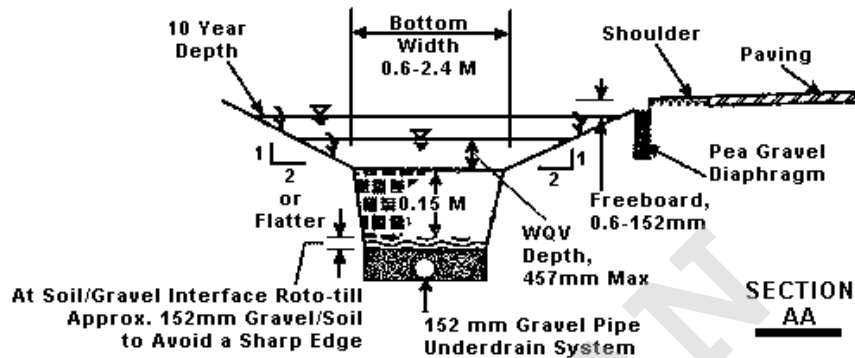


**Gambar 14-8** Konstruksi *infiltration Swale*

#### 14.2.10 Sengkedan Basah (*Wet Swale*)

- a. Sengkedan basah dibedakan dari drainase sederhana/*channel grassed* dengan fitur desain yang mempertahankan kondisi jenuh dalam tanah di bawah sengkedan (
- b. Gambar 14-).

- c. Tujuan dari sengkedan basah adalah untuk menciptakan sebuah sistem pengolahan lahan basah memanjang yang memperlakukan air hujan melalui tindakan fisik dan biologis.
- d. Tidak seperti sengkedan kering, infiltrasi air hujan adalah kondisi yang tidak diinginkan dalam sengkedan basah karena kemungkinan akan menghasilkan kondisi yang merugikan untuk mempertahankan tanah jenuh untuk mendukung vegetasi lahan basah.



Gambar 14-9 Konstruksi *wet swale*

#### 14.2.11 Perkerasan permeabel porous

- a. Jenis perkerasan permeable porous adalah perkerasan yang didesain dengan bahan material yang mampu merembeskan aliran air ke dalam lapisan tanah di bawah nya.
- b. Perkerasan permeable porous cocok digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah, tempat parkir, jalur sepeda, trotoar, taman bermain, dan jalan lain yang menahan beban yang tidak terlalu besar.
- c. Pada perkerasan ini, terdapat rongga untuk aliran air dan udara, menyebabkan air permukaan akibat hujan dapat masuk ke dalam perkerasan dan meresap ke dalam tanah.
- d. Jenis perkerasan permeabel porous salah satunya seperti diilustrasikan pada Gambar 14-10



**Gambar 14-10** Jenis perkerasan jalan permeabel

### 14.2.12 Ketentuan Penerapan

Kriteria dalam penerapan teknologi LID , dilingkup Pada Tabel 14-5.

**Tabel 14-5** Batasan dalam penerapan LID

Kriteria		Bioretensi	Sumur Kering	Jalur Penyangga ( <i>Buffer/filter strip</i> )	Swale: berumput, infiltrasi, basah	Tangki air ( <i>cistern</i> )	Parit infiltrasi
Kebutuhan Lahan	Luas permukaan minimum	4,7 – 18,6 m <sup>2</sup>	0,7-1,9 m <sup>2</sup>	--	--	Tidak ditentukan	0,7 – 1,9 m <sup>2</sup>
	Lebar minimum	1,5 – 3,0 m	0,6 – 1,2m	4,6 – 6,0 m	Bagian dasar: 0,6 – 1,8m		0,6 – 1,2 m
	Panjang minimum	3-6 m	1,2 – 2,4 m	-	-		1,2 – 2,4 m
	Kedalaman minimum	0,6 – 1,2 m	1,2 – 2,4 m	-	-		-
Tanah	Jenis tanah	Tanah/ permeabel	Tanah/ permeabel	Lebih baik bila diletakkan pada tanah permeabel	Lebih baik bila diletakkan pada tanah permeabel. Pemilihan Jenis swale	Tidak ditentukan	Tanah kedap/permeabel
	Kecepatan infiltrasi	>7 mm/jam	>7 mm/jam	diletakkan pada tanah permeabel		Tidak ditentukan	>13 mm/jam

Kriteria	Bioretensi	Sumur Kering	Jalur Penyangga ( <i>Buffer/filter strip</i> )	Swale: berumput, infiltrasi, basah	Tangki air ( <i>cistern</i> )	Parit infiltrasi
				ditentukan jenis tanahnya		
Kemiringan	Ditentukan berdasarkan kriteria desain	Ditentukan berdasarkan kriteria desain. Harus diletakkan di bawah gedung dan pondasi	Ditentukan berdasarkan kriteria desain	Sisi = 3:1 atau lebih datar lagi; kemiringan memanjang: Minimum 10%, maksimum kecepatan yang diperkenankan	Tidak ditentukan	Biasanya tidak ditentukan, tapi harus diletakkan di bawah gedung dan pondasi
Muka air tanah/ lapisan tanah keras	0,6 – 1,2 m dari permukaan	0,6 – 1,2 m dari permukaan	Umumnya tidak ada batasan	Umumnya tidak ada batasan	-	0,6 – 1,2 m dari permukaan
Jarak dengan fondasi bangunan	3 m dari bawah gedung dan pondasi	3m dari bawah gedung dan pondasi	3m dari bawah gedung dan pondasi	3m dari bawah gedung dan pondasi	-	3m dari bawah gedung dan pondasi
Kedalaman maksimal	0,6 – 1,2 m dari permukaan	1,8 – 3m bergantung pada jenis tanah	-	-	-	1,8 – 3m bergantung pada jenis tanah
Pemeliharaan	Sederhana, dapat dirawat sendiri oleh pemilik	Sederhana	Sederhana, perawatan lansekap bisa	Sederhana, perawatan lansekap bisa	-	Cukup rumit hingga sangat rumit

(Sumber: Adaptasi dari Prince Goerge County, 1999).

### 14.2.13 Efisiensi sistem LID dalam mereduksi polutan

Sistem LID mampu mereduksi berbagai polutan sampai 100%, seperti diperlihatkan dalam Tabel 14-6 (Davis, Shokouhian, Sharma, & Minami, 2001).

**Tabel 14-6** Efisiensi berbagai sistem LID mereduksi polutan

<i>Sistem</i>	<i>Total Suspende d Solids (TSS)</i>	<i>Total Phosphor us (P)</i>	<i>Total Nitroge n (N)</i>	<i>Zinc</i>	<i>Lead</i>
<i>Bioretention</i>	-	81	43	99	99
<i>Dry Well</i>	80–100	40–60	40–60	80–100	80–100
<i>Infiltration Trench</i>	80–100	40–60	40–60	80–100	80–100
<i>Filter/Buffer Strip</i>	20–100	0–60	0–60	20–200	20–200
<i>Vegetated Swale</i>	30-65	10–25	0–15	20–50	20–50
<i>Infiltration Swale</i>	90	65	50	80–90	80–90
<i>Wet Swale</i>	80	20	40	40–70	40-70

(Sumber: (Davis, Shokouhian, Sharma, & Minami, 2001))

### 14.3 Komponen Desain

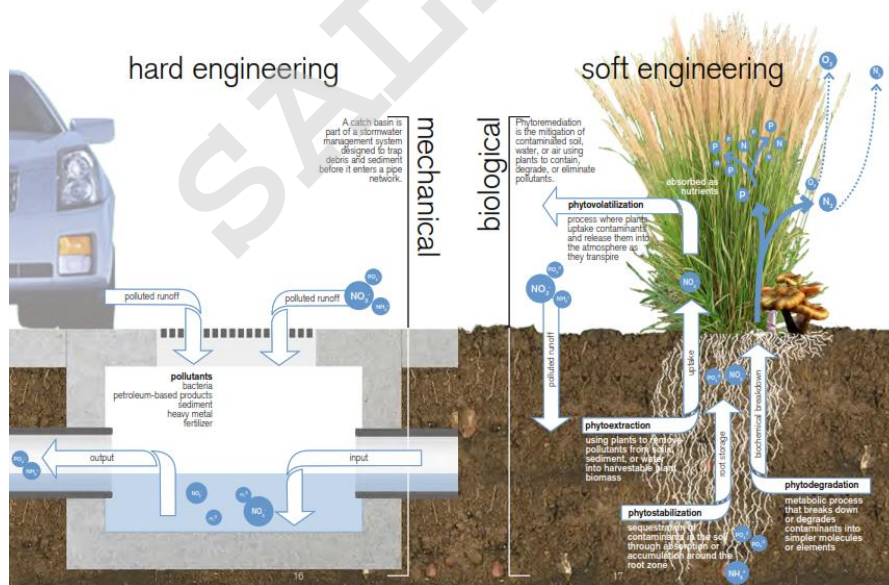
- Identifikasi dan tetapkan tipe/konfigurasi jalan.
- Identifikasi dan tetapkan luas jalur bagian badan jalan yang tidak diperkeras, (diluar perkerasan jalan dan trotoar), jalur tersebut bisa dimanfaatkan sebagai jalur untuk peresapan air permukaan akibat hujan. Sub-bab 5.2.12.
- Tetapkan alinemen vertical dan horizontal jalan dan kemiringan melintang.
- Identifikasi dan tetapkan bentuk dan luas pulau jalan bisa dimanfaatkan sebagai area untuk peresapan air permukaan akibat hujan.
- Sifat dan jenis tanah.
- Kecepatan infiltrasi air.
- Muka air tanah/ lapisan tanah keras.
- Identifikasi dan inventarisasi utilitas yang ada di bawah jalan.



## 14.4 Mendesain Teknologi LID Jalan

### 14.4.1 Strategi Desain

- a. Strategi desain ditujukan untuk desain jalan dengan rencana pengendalian air permukaan akibat hujan.
- b. Beberapa strategi desain LID bidang jalan yang diatur dalam Peraturan Menteri PU tersebut:
  - 1) Mengarahkan air permukaan ke atau melalui area vegetasi untuk menyaring aliran dan menambah masukan untuk air tanah.
  - 2) Mengurangi lebar jalan pada jalan lingkungan
  - 3) Menghilangkan tanggul dan saluran dari jalan-jalan, dan pulau-pulau parkir akan membuat aliran air mengalir ke area vegetasi
  - 4) Mengatur kemiringan dan memperpanjang alur aliran
  - 5) Meningkatkan waktu perjalanan air sehingga meresap menjadi lebih besar.
  - 6) Area tidak tembus air diputus oleh sistem jaringan drainase dan pembagian drainase alami harus dikontrol.
  - 7) Menggunakan proses biokimia tanaman secara alami yang ditempatkan dikotak filter pohon, air atau box tanaman.
- c. Ilustrasi pentingnya modifikasi infrastruktur diperkeras dan infrastruktur alami dalam menangani limpasan air hujan dapat dilihat pada Gambar 14-14-11.

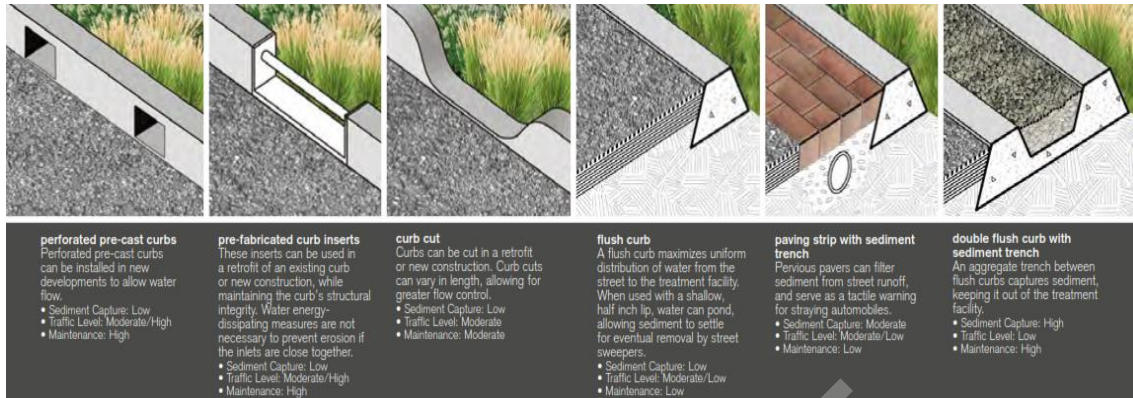


**Gambar 14-11** Infrastruktur diperkeras dan infrastruktur alami

### 14.4.2 Penggunaan Alternatif Kereb atau Kanstin

- a. Kanstin atau kereb material beton pabrikan yang bisa digunakan sebagai trotoar, pembatas bahu jalan, taman dan lain sebagainya.

- b. Fungsi kanstin adalah memisahkan jalan dengan trotoar atau jalur untuk pejalan kaki, mencegah pengemudi memarkirkan kendaraan di tepi jalan atau berkendara di tepi jalan, struktur penahan untuk sisi tepi perkuatan jalan, aspek estetika dan mempercantik jalan serta sebagai saluran untuk mengalirkan air hujan.

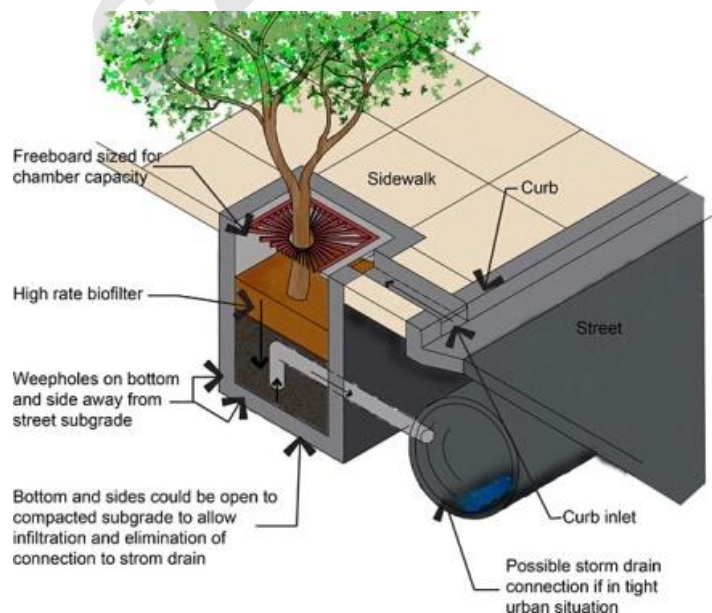


**Gambar 14-12** Fitur kereb berlubang

- c. Penggunaan kereb berlubang atau potongan kereb dapat dikombinasikan dengan bioretensi atau resapan rumput pada jalur hijau jalan untuk mengalirkan limpasan air hujan.

#### 14.4.3 Filter Bak Pohon

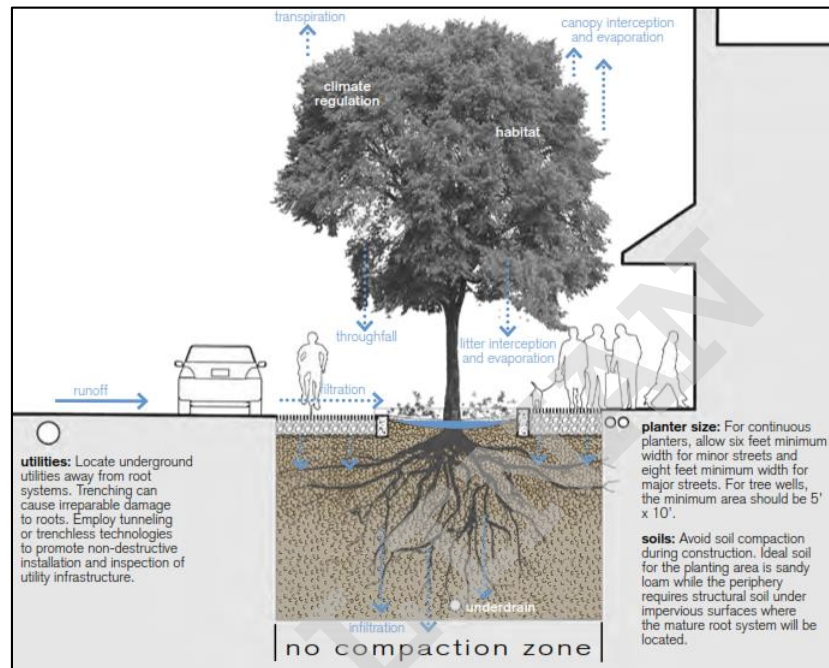
Filter bak pohon (*tree box filter*) adalah sistem penyaringan air limpasan hujan berfungsi sebagai bioretensi mini pra-cetak yang dipasang pada bagian rumija yang ditanami untuk menangkap dan menyaring air limpasan hujan (Ardiyana, Bisri, & Sumiadi, 2016).



**Gambar 14-13** Desain filter bak pohon

#### 14.4.4 Penataan Pohon pada Badan Jalan

- Pohon mempengaruhi siklus hidrologi melalui pengaruhnya terhadap air hujan yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi, ke tanah dan batuan yang dibawahnya.
- Bagian vegetasi yang berada di atas permukaan tanah, seperti daun dan batang menyerap energi perusak hujan, sehingga mengurangi dampaknya terhadap tanah, sedangkan bagian vegetasi yang ada dalam tanah, yang terdiri dari sistem perakaran, meningkatkan kekuatan mekanik tanah (Arsyad, 2006).

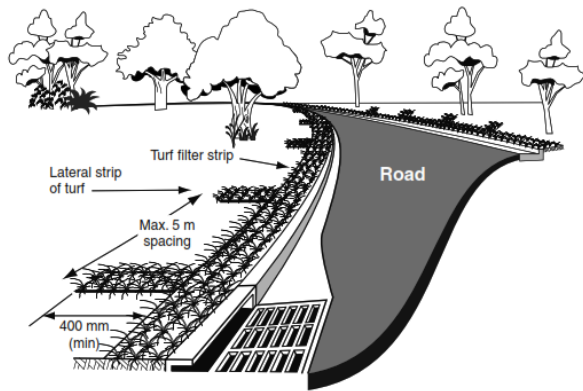


Gambar 14-14 Desain penataan pohon pada jalan

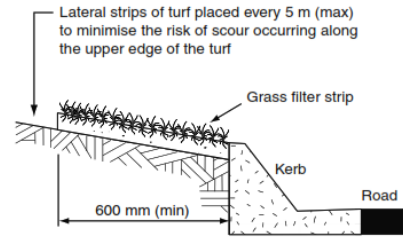
- Keuntungan permukaan tanah tidak mendapat hampasan yang keras, Proses air mencapai tanah sedikit lebih lama sehingga proses penyerapan air lebih maksimal, dan air larian akan berkurang

#### 14.4.5 Jalur Filter Rumput

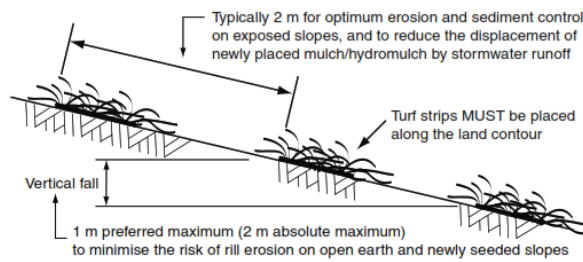
- Jalur filter rumput (*grass filter strips*) adalah tipe LID berupa area jalur tanaman rumput yang berfungsi mengurangi laju aliran limpasan air, menyaring sedimen dan polutan serta menampung air permukaan yang bila sudah jenuh akan menjadi media pengantar ke sistem *bioretention cell* dibawahnya atau area resapan didekatnya.
- Digunakan untuk tepian area perkerasan (jalan atau area parkir), pulau-pulau pada area parkir, ruang terbuka, atau disekitar bangunan, lihat (Gambar 14-).



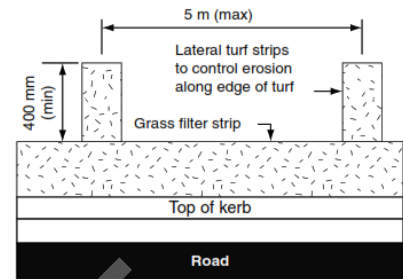
(a) Placement of grass filter strips along road kerb



(b) Placement of grass filter strips along edge of impervious surface



(c) Placement of grass filter strips along the contour of a slope



(d) Placement of grass filter strips along edge of impervious surface

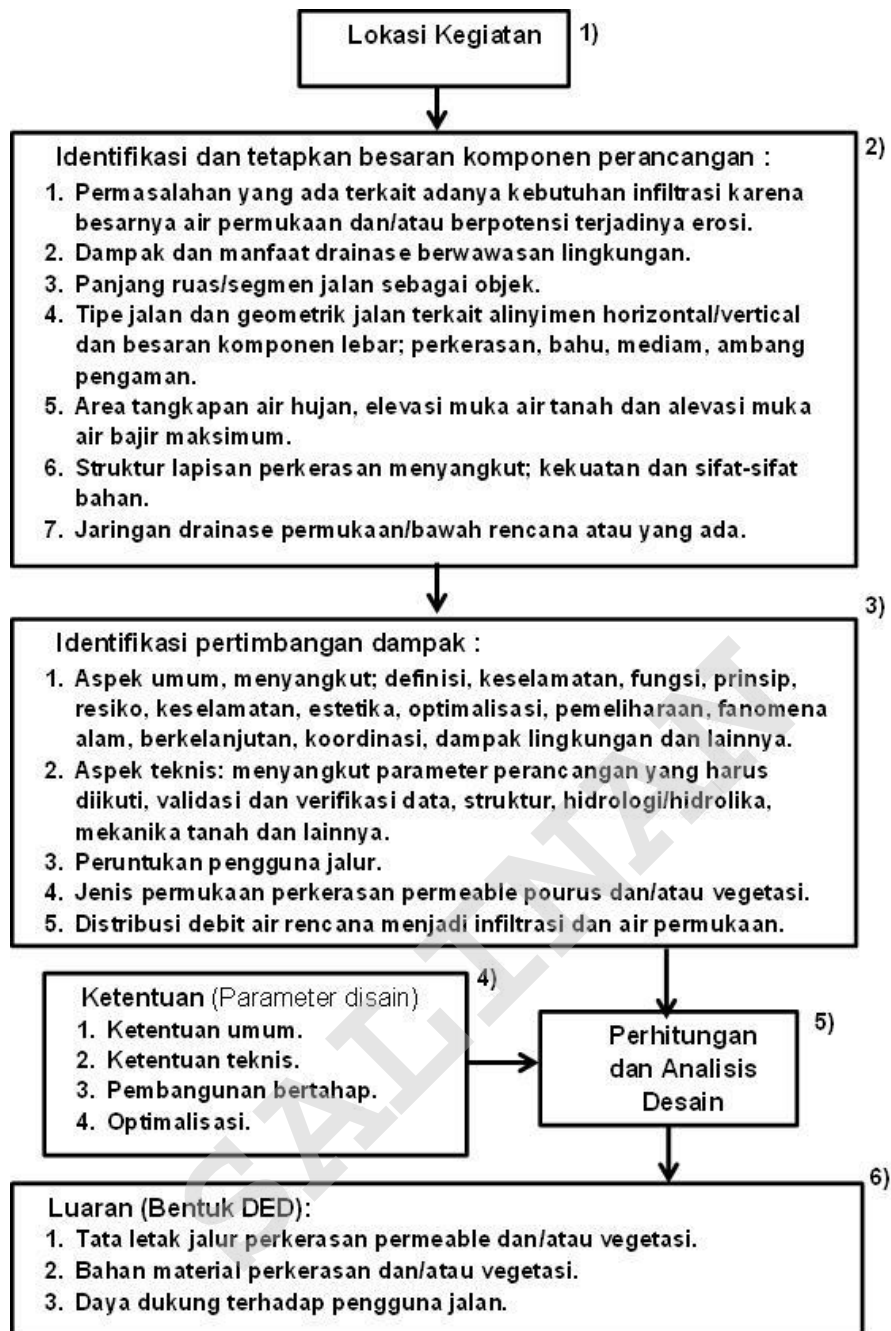
Drawn:	Date:		
GMW	Dec-09	Grass Filter Strips	GF

Gambar 14-15 Desain jalur filter rumput

## 14.5 Bagan Alir Desain

### 14.5.1 Bagai Alir Proses Desain

- Berikut pada Gambar merupakan proses tahapan perhitungan dan analisa desain drainase berwawasan lingkungan dalam bentuk bagan alir.



**Gambar 14-16** Bagan Alir Proses Desain Drainase Berwawasan Lingkungan

### 14.5.2 Uraian Tahapan Proses Analisa

- a. Langkah No. 1, Lokasi proyek yang akan dirancang, meliputi:
  - 1) No. ruas dan/atau STA jalan.
  - 2) Panjang ruas atau segmen jalan yang akan ditangani.
  - 3) Fungsi, status jalan, tipe jalan dan geometrik jalan.
  - 4) Guna lahan lingkungan jalan.
- b. Langkah No. 2, Identifikasi komponen pedesain, meliputi :
  - 1) Area tangkapan air hujan yang akan terkonsentrasi ke area genangan.
  - 2) Elevasi tinggi muka air tanah.

- 3) Data klimatologis dan sifat-sifat tanah.
  - 4) Geometrik jalan, menyangkut; alinyemen horisontan jalan, vertical jalan, kemiringan memanjang dan melintang.
  - 5) Tipe/konfigurasi jalan dan geometrik lebar; jalur, lajur, bahu jalan dan ambang jalan.
  - 6) Tata letak bangunan perlengkapan jalan dan jalur rencana untuk area perkerasan permeable dan/atau vegetasi..
  - 7) Lokasi pembuangan air resapan pada saluran bawah permukaan atau kolam retensi.
- c. Langkah No. 3, Identifikasi pertimbangan dampak hasil pembangunan, meliputi :
- 1) Langkah ini merupakan informasi bagi pemberi kerja maupun penyedia jasa (desainer), sebagai bahan pertimbangan dalam pedesain, dalam hal dampak-dampak yang mungkin terjadi dengan adanya pembangunan, seperti diuraikan dalam sub-bab 14.1 pertimbangan umum dan 14.2 pertimbangan teknis.
  - 2) Aspek umum, menyangkut definisi, fungsi, prinsip, keselamatan, estetika, resiko, optimalisasi, pemeliharaan, fenomena alam, infrastruktur yang berkelanjutan dan lainnya.
  - 3) Aspek teknis : menyangkut; parameter pedesain yang harus diikuti, data yang valid, verifikasi data, struktur, hidrologi/hidrolika, mekanika tanah, pelaksanaan dan pemeliharaan dan lainnya.
  - 4) Pilihan alternatif bentuk penyedia, jenis bahan permeable porous ditinjau secara ekonomi, teknologi dan pemeliharaan.
- d. Langkah No. 4, Ketentuan teknis yang perlu dipertimbangkan dan diikuti, secara umum dan teknis pada desain drainase permeabel:
- 1) Ketentuan umum, merupakan ketentuan teknis yang dijelaskan secara diskriptif yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan dalam mendesain bangunan drainase berwawasan lingkungan.
  - 2) Ketentuan teknik, menetapkan nilai parameter pedesain yang harus diikuti, seperti sesuai peruntukan lahan yang akan digunakan; menyangkut jenis permukaan dan spesifikasi bahan permeable.
  - 3) Pembangunan bertahap diartikan sudah ada persiapan untuk adanya pengembangan bentuk penyedia infrastruktur jalan dan/atau lahan dikemudian hari.
  - 4) Optimalisasi diartikan dalam menghadapi kondisi yang mungkin tidak bisa melaksanakan aspek ketentuan teknis. Ini bisa dilakukan dengan seijin penyelenggara jalan.

- e. Langkah No. 5, Analisis, merupakan proses pedesain sesuai ketentuan secara analitik/rumus dan/atau empiris/grafik, dengan input data pendukung parameter desain tertentu dalam menetapkan desain bentuk, ukuran, fungsi jalur drainase permeable dan bangunan pelengkap pendukung lainnya. Dalam perhitungan dapat mengacu pada Bab 7 (saluran terbuka) dengan memperhatikan aspek kemampuan serapan/infiltrasi.
- f. Langkah No. 6, Luara : Merupakan luaran dari proses analisis berupa desain tekni bangunan drainase permeable jalan (DED).

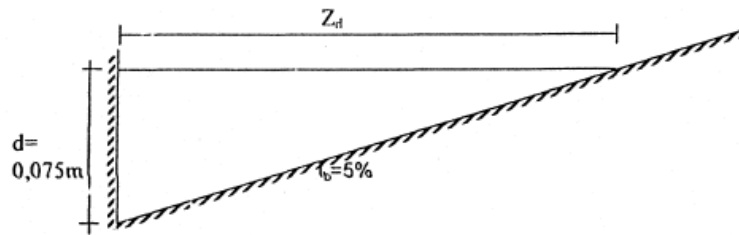
SALINAN

## Lampiran A. Penerapan desain bangunan drainase

### A.1 Pedesain saluran permukaan perkerasan jalan

#### A.1.1. Contoh 1: Perhitungan saluran talang/tali air

Dari tepi permukaan perkerasan jalan (talang air), terbentuk segitiga dengan ukuran sebagai berikut :



Hitung debit saluran talang tersebut (Q)

Jawaban :

- a) Kemiringan memanjang ( $i_j$ ) = 3% = 0,03 m/m
  - b) Kemiringan melintang bahu ( $i_b$ ) = 5% = 0,05 m/m, maka  $Z_i = 1/0,05 = 20$
  - c) Koefisien kekasarafi manning = 0,02, maka  $Z_i/n = 20/0,02 = 1000$
  - d) Kedalaman air (d) = 0,075 m
  - e) Gunakan debit aliran dalam bentuk segitiga
- Maka didapatkan  $Q = 0,065 \text{ m}^3/\text{detik}$   
(FHWA 2009).

#### A.1.2 Contoh 2: Perhitungan Infiltrasi/rembesan

Metode rasio infiltrasi; diilustrasikan oleh contoh masalah seperti berikut:

Diketahui intensitas curah hujan (R), Intensitas curah hujan (R) sebesar 1,2 inci / jam, dan rasio Infiltrasi (C) = 0,5, tentukan infiltrasi/rembesan pada perkerasan jalan ( $q_i$ ).

Jawaban:

$R = 1,2 \text{ inci / jam}$  dan  $C = 0,5$ .

Rumus rasio infiltrasi (Rumus no. nn):  $q_i = 2 C R =$

$q_i = 2 \times 0,5 \times 1,2 = 1,2 \text{ cu ft / hari / sq ft}$

$q_i = 1.2 \text{ ft / hari / ft}^2$

Jadi, jika perkerasan lebar 15 kaki, aliran drainase yang diperlukan per kaki linier perkerasan adalah (1,2 kaki persegi / hari / kaki persegi) x (15 kaki) = 18 kaki persegi / hari / kaki. Jumlah air ini perlu dibawa oleh dasar permeabel dan aliran tepi.

(FHWA 2009).



### A.1.3 Contoh 3: Perhitungan debit

Tentukan debit (Q) aliran dan kedalaman (d) aliran jika penyebaran dibatasi Zt hingga 9 kaki. Menggunakan Rumus debit aliran dihitung berikut.

$$Q = 0,375 \frac{Z_i}{n} i_j^{1/2} d^{8/3}$$

$$Z_i = \frac{1}{i_m} = \frac{1}{i_b}$$

$$Q = \frac{0.56}{n} S_x^{5/3} S_0^{1/2} T^{8/3} \quad Y = Z_T S_x$$

$$Q = \frac{0.56}{n \cdot 0.016} 0,02^{5/3} 0.01^{1/2} 9^{8/3} \quad Q = 1.81 \text{ cfs} \quad d = 9.0 \cdot 0.2 = 0.18 \text{ ft}$$

Perhatikan bahwa kedalaman aliran yang dihitung kurang dari tinggi trotoar 6 inci (0,5 kaki). Jika tidak, penyebaran dan laju aliran perlu dikurangi.

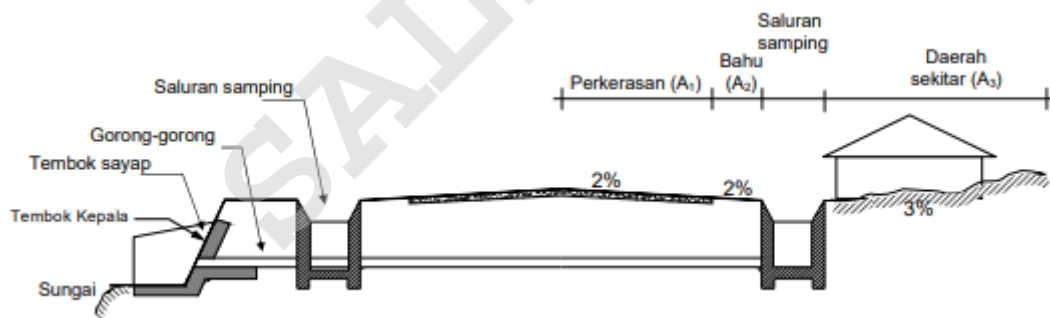
(FHWA 2009).

## A.2 Pedesain saluran terbuka

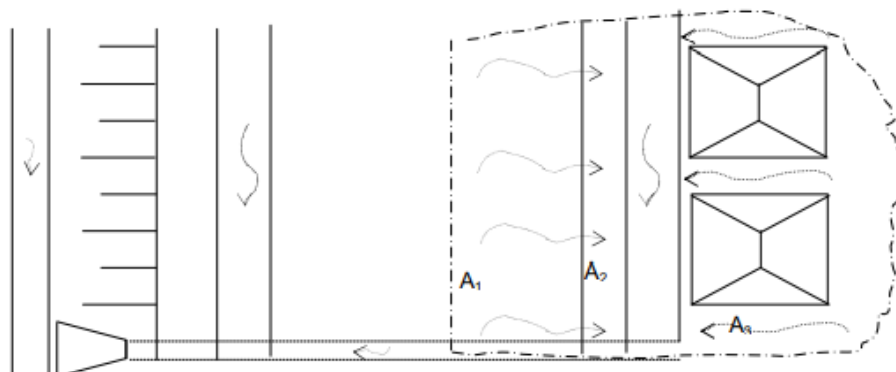
### A.2.1 Contoh 1: Perhitungan saluran terbuka dan kebutuhan dimensi gorong gorong g

Drainase permukaan dengan saluran terbuka samping jalan : Contoh Perhitungan saluran terbuka samping jalan dan tidak memiliki air bawah permukaan. Di daerah tersebut terdapat sungai yang akan dijadikan sebagai tempat pembuang air hujan.

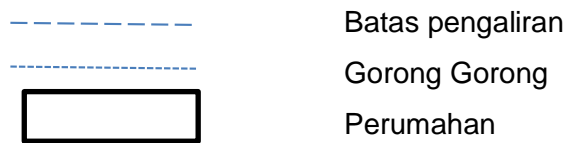
a. Data Kondisi



Gambar A.2.1 Potongan Melintang

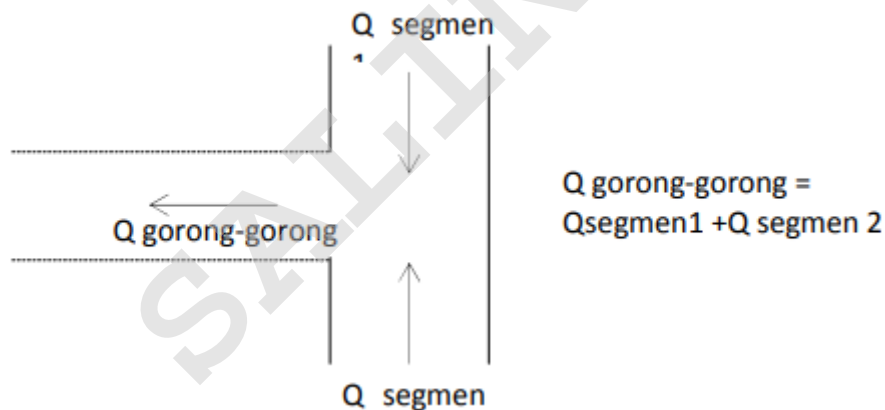


Gambar A.2.2 Tampak Atas



b. Penentuan daerah layanan

- 1) Plot rute jalan di peta topografi.
- 2) Panjang segmen 1 saluran ( $L$ ) = 200 m ditentukan dari rute jalan yang telah diplot di peta topografi dan topografi daerah tersebut memungkinkan adanya pembuangan ke sungai di ujung segmen.
- 3) Dianggap segmen saluran ini adalah awal dari sistem drainase sehingga tidak ada debit masuk ( $Q$  masuk) selain dari  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ .
- 4) Gorong-gorong merupakan pipa terbuat dari beton
- 5) Direncanakan di ujung segmen aliran air akan dibuang ke sungai melalui gorong-gorong melintang badan jalan.
- 6) Pedesain gorong-gorong, menampung debit air dari segmen yang ditinjau dan segmen sesudah itu



**Gambar A.2.3 Pertemuan saluran dengan Gorong-Gorong**

c. Kondisi eksisting permukaan jalan

- Panjang Saluran drainase = 200 meter
- $l_1$  = perkerasan jalan (aspal) = 5 meter
- $l_2$  = bahu jalan = 2 meter
- $l_3$  = bagian luar jalan (perumahan) = 10 meter

d. Selanjutnya tentukan besarnya koefisien  $C$ :

- 1) Aspal :  $l_1$  koefisien  $C_1$  = 0,70
- 2) Bahu Jalan :  $l_2$  koefisien  $C_2$  = 0,65
- 3) Perumahan :  $l_3$  Koefisien  $C_3$  = 0,60

e. Kemudian tentukan luas daerah pengaliran diambil per meter panjang:

- 1) Aspal  $A_1 = 5,00 \times 200 \text{ m}^2 = 1000 \text{ m}^2$
- 2) Bahu Jalan  $A_2 = 2,00 \times 200 \text{ m}^2 = 400 \text{ m}^2$
- 3) Perumahan  $A_3 = 10,00 \times 200 \text{ m}^2 = 2000 \text{ m}^2$
- 4)  $f_k$  perumahan padat = 2,0
- 5) Koefisien pengaliran rata-rata

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 f_k}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$= \frac{0,70 \cdot 1000 + 0,65 \cdot 400 + 0,60 \cdot 2000 \cdot 2,0}{1000 + 400 + 2000}$$

$$= 0,988$$

f. Hitung waktu konsentrasi

Untuk menentukan waktu konsentrasi ( $T_c$ ) digunakan rumus :

- Waktu Konsentrasi ( $T_c$ )

$$t_1 = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times I_0 \times \frac{nd}{\sqrt{t_s}} \right)^{0,167}$$

$$t_2 = \frac{L}{60 \times V}$$

- Menghitung debit aliran air (Q):

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A$$

$$t_{aspal} = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times 5,0 \times \frac{0,013}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} = 1,00 \text{ menit}$$

$$t_{bahu} = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times 2,0 \times \frac{0,013}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} = 0,86 \text{ menit}$$

$$t_{perumahan} = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times 10,0 \times \frac{0,01}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} = 1,04 \text{ menit}$$

$$t_2 = \frac{200}{60 \times 1,5} = 2,2 \text{ menit}$$

$$T_c = t_1 + t_2 = 4,06 \text{ menit}$$

g. Data curah hujan

Data curah hujan dari pos pengamatan adalah sebagai berikut:

Tahun	Data Curah hujan Maksimum Rata-rata Tahun (mm)
1993	176,3
1994	100,0
1995	37,6
1996	157,0

1997	89,0
1998	127,7
1999	149,6
2000	92,5
2001	107,5
2002	128,0

h. Hitung dan gambar lengkung intensitas curah hujan

Dilakukan sesuai SNI 03-2415-1991, Metode perhitungan Debit Banjir pada beberapa periode ulang 5, 10, 15 tahunan.

i. Tentukan intensitas curah hujan maksimum

Menentukan intensitas curah hujan maksimum (mm/jam) dengan cara memplotkan harga  $T_c = 4,06$  menit, kemudian tarik garis ke atas sampai memotong lengkung intensitas hujan rencana pada periode ulang 5 tahun didapat:  $I = 190$  mm/jam.

j. Hitung besarnya debit

$$A = (1000 + 400 + 2000) = 3400 \text{ m}^2 = 0,0034 \text{ Km}^2$$

$$C = 0,988$$

$$I = 190 \text{ mm/jam}$$

$$Q = 1/3,6 \times C.I.A$$

$$= 1/3,6 \times 0,988 \times 190 \times 0,0034$$

$$= 0,177 \text{ m}^3/\text{detik}$$

k. Penentuan Dimensi saluran

Penentuan dimensi diawali dengan penentuan bahan

a) Saluran direncanakan dibuat dari beton dengan kecepatan aliran yang diijinkan 1,50 m/detik.

b) Bentuk penampang : segi empat

c) Kemiringan saluran yang diijinkan : sampai dengan 7,5%.

d) Angka kekasaran permukaan saluran Manning (n) (dari Tabel Manning) = 0,013

l. Tentukan kecepatan saluran < kecepatan ijin, kemiringan saluran ( $i_s$ )

a)  $V = 1,3$  m/detik

b)  $i_s = 3\%$  (d disesuaikan dengan kemiringan memanjang jalan ,  $i_s$ ).

1)  $V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times i_s^{1/2}$  , dimensi:  $h = 0,5$  m (ditentukan dari Rumus tersebut

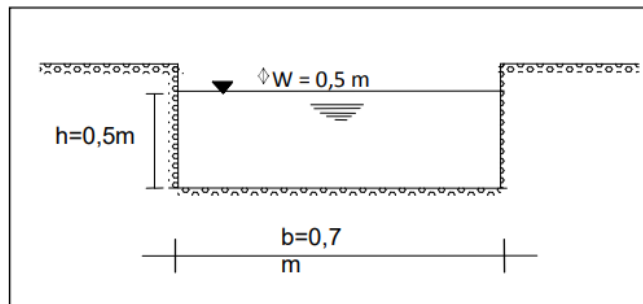
maka:

$$1,3 = \frac{1}{0,013} \times \left(\frac{0,5b}{1+b}\right)^{2/3} \times 3\%^{1/2} \text{ , maka lebar saluran (b) = } 0,7 \text{ m}$$

m. Tentukan tinggi jagaan

$$W = \sqrt{0,5 h} = 5 (0,5 \times 0,5) = 0,5 \text{ m}$$

Jadi gambar dimensi saluran drainase



n. Hitung dimensi gorong-gorong ke sungai

1) Direncanakan gorong gorong dari jenis portland cement (PC)

2) Gorong gorong menampung aliran debit dari segmen sebelum dan sesudahnya

$$\text{atau rumus } W = \sqrt{0,5 \times h}$$

3) Perhitungan debit yang masuk

$$\text{Debit segmen 1} = Q = F \times V = 0,35 \times 1,3 = 0,455 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Debit segmen 2} = 0,400 \text{ m}^3/\text{detik (diasumsikan)}$$

4) Gorong-gorong dianggap saluran terbuka

5) Digunakan PC dengan  $D = 0,8 \text{ m}$ ,  $n = 0,012$  (angka kekasaran Manning)

$$6) h = 0,8D = 0,64 \text{ m}$$

$$7) Q \text{ gorong-gorong} = 0,455 + 0,545 = 1,0 \text{ m}^3/\text{detik}$$

8) Hitung sudut dengan rumus

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{h-0,5D}{0,5D} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{0,64-0,5 \times 0,8}{0,5 \times 0,8} \right) = 53,13$$

9) Luas Basah dengan rumus

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \left( 1 - \frac{\theta}{180} \right) + (h - 0,5D)^2 \tan \theta = \frac{\pi 0,8^2}{4} \left( 1 - \frac{53,13}{180} \right) + (0,64 - 0,5 \times 0,8)^2 \tan 53,13 = 0,338 \text{ m}^2$$

10) Keliling basah dengan rumus

$$P = \pi D \left( 1 - \frac{\theta}{180} \right) = \pi \times 0,8 \times \left( 1 - \frac{53,13}{180} \right) = 1,77 \text{ m}$$

$$11) \text{ Jari-jari hidrolis } R = F/P = 0,338/1,77 = 0,19$$

12) Kecepatan aliran pada gorong gorong:

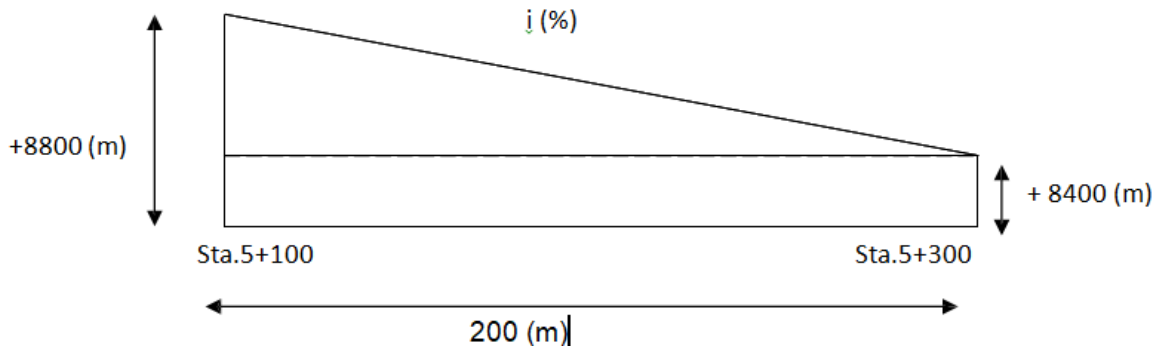
$$13) V = Q \text{ gorong gorong}/F = 1,0/0,338 = 2,958 \text{ m/detik}$$

14) Kemiringan gorong-gorong, rumus

$$i_s = \left( \frac{V \times n}{R^{2/3}} \right)^2 = \left( \frac{2,958 \times 0,012}{0,19^{2/3}} \right)^2 = 0,01154 = 1,1 \%$$

(masih dalam rentang kemiringan 0,5% - 2% yang diijinkan).

o. Periksa kemiringan tanah eksisting penempatan saluran di lapangan



$$\text{Sta : } 5 + 100 = \text{elev}_1 = 8.800 \text{ meter}$$

$$\text{Sta : } 5 + 300 = \text{elev}_2 = 8.400 \text{ meter}$$

$$i_s \text{ lapangan} = \frac{\text{elev}_1 - \text{elev}_2}{L}$$

$$i_s \text{ lapangan} = \frac{8,800 - 8,400}{200} \times 100\% = 0,20\%$$

$i_s$  digunakan (0,3%)  $\leq$   $i_s$  dilapangan (0,20%) maka tidak diperlukan saluran pematah arus.

### A.2.2 Contoh 2: Jarak inlet

Perhitungan Jarak Antara Lubang Inlet (Lubang Saluran Masuk). Jarak Antara Inlet (Jika Aliran Air hanya berasal dari Setengah Lebar Jalan)

Diketahui :

Diminta menentukan jarak inlet yang diperlukan untuk mengalirkan pembuangan air (hujan) dari permukaan jalan, yang berasal dari wilayah tangkapan air setengah badan jalan. Jalan tersebut merupakan jalan aspal yang dilengkapi dengan concrete curb and gutter (kerb dan selokan beton).

Data yang tersedia adalah sebagai berikut:

$$t_c = 5 \text{ menit}$$

$$\text{Intensitas curah hujan, } ^5I_5 = 300 \text{ mm/jam}$$

$$\text{Lebar separuh jalan} = 9 \text{ m}$$

$$\text{Kelandaian memanjang jalan} = 0.5 \%$$

$$\text{Kemiringan melintang jalan} = 3\%$$

$$\text{Desain sistem terkecil} = 5 \text{ tahun ARI (Average Recurrence Interval)}$$

Jalur terluar adalah melalui sebuah jalur,  $W < 1.5\text{m}$ ,  $W$  = lebar aliran pada jalan dari dasar kerb selokan.

Penyelesaian :

a. Dengan menggunakan rumus rasional :

$$Q_{\text{jalan}} = (C \times ^5I_5 \times A)/360$$

$$= 0,000683 \text{ L1}$$

Dimana  $L_1$  merupakan panjang aliran selokan pada sub-penampungan dialiran hulu.

- b. Hitung batas yang diijinkan pada aliran selokan . Dengan menggunakan prosedur pada dan  $W = 1,5 \text{ m}$

$$Q = 0.016 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

= 16 L/s, dengan kecepatan aliran x luas penampang basah berada dalam batas kecepatan aliran yang diijinkan yaitu sebesar 0,4 m/detik.

Sehingga, penentuan jarak bagi saluran masuk pertama adalah:

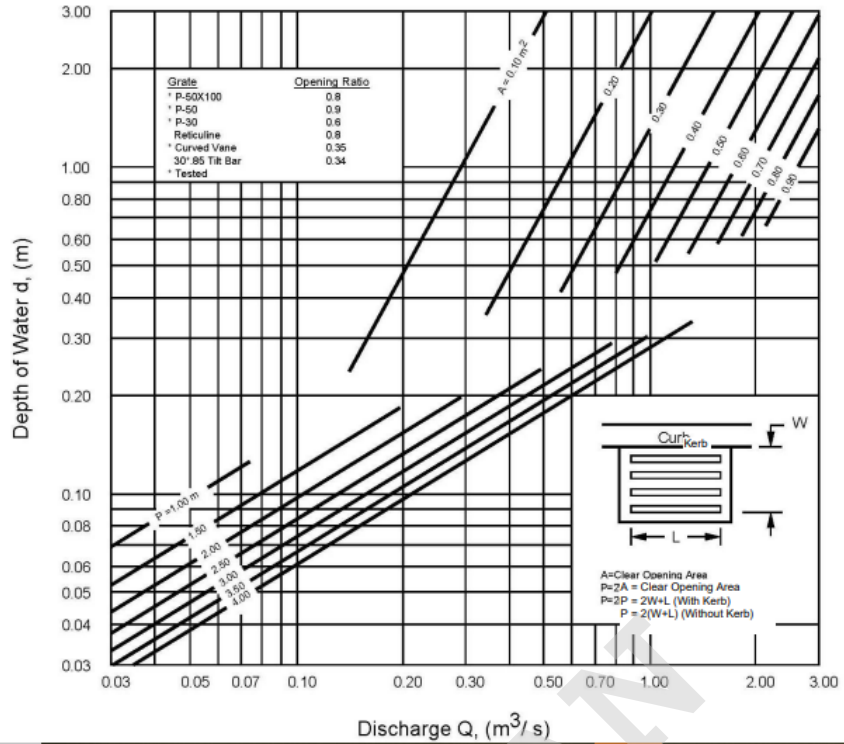
$$L_1 = 0,016/0,000683$$

$$= 23,4 \text{ m atau } 23 \text{ m}$$

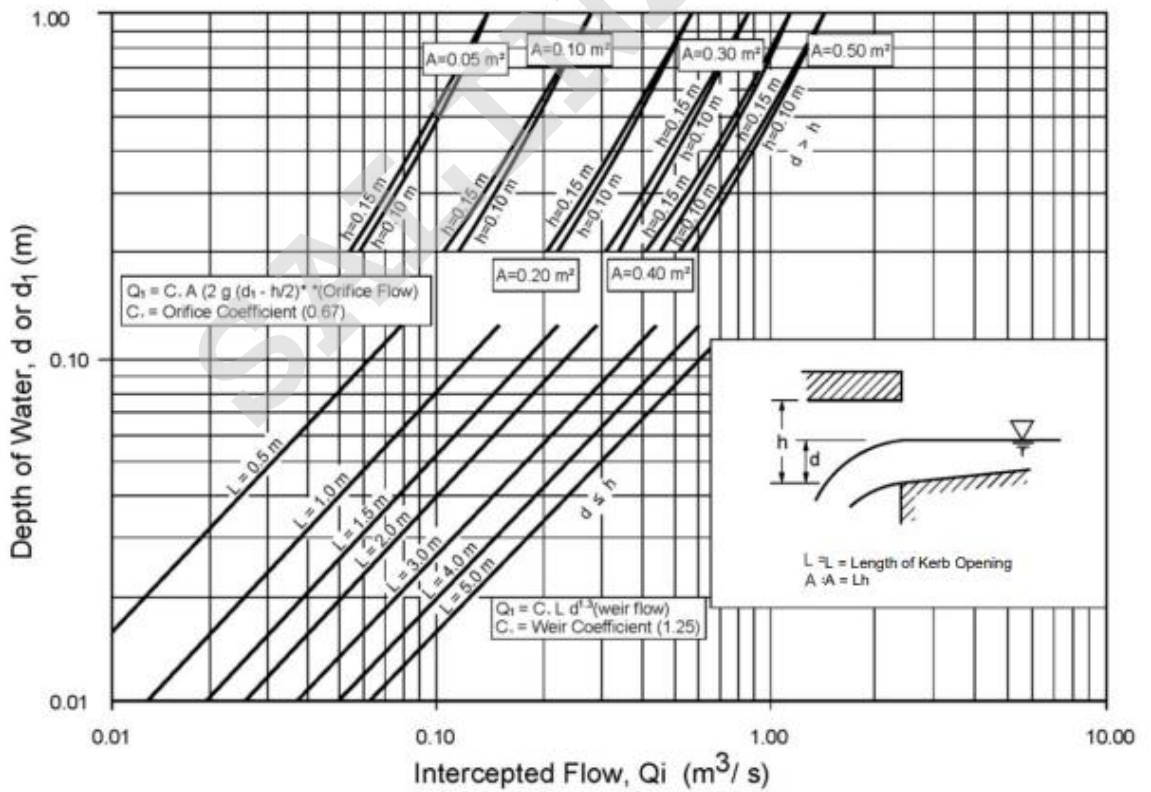
- c. Gunakan sebuah Lubang Saluran Masuk Samping (lihat Gambar A.2.2.). Lihat pada Bagian (Gambar A.2.3 ) untuk kurva lubang saluran masuk. Dengan sebuah selokan dengan aliran mendekati 16 L/s, dalam tangkapan saluran masuk adalah 16 L/s yang memberikan sebuah efisiensi tangkapan sebesar 100 %. Sehingga, aliran selokan pintas adalah nol dan jarak saluran masuk yang disesuaikan adalah 24 m.



**Gambar A.2.2** inlet masuk samping  
Kurva Lubang Saluran Masuk

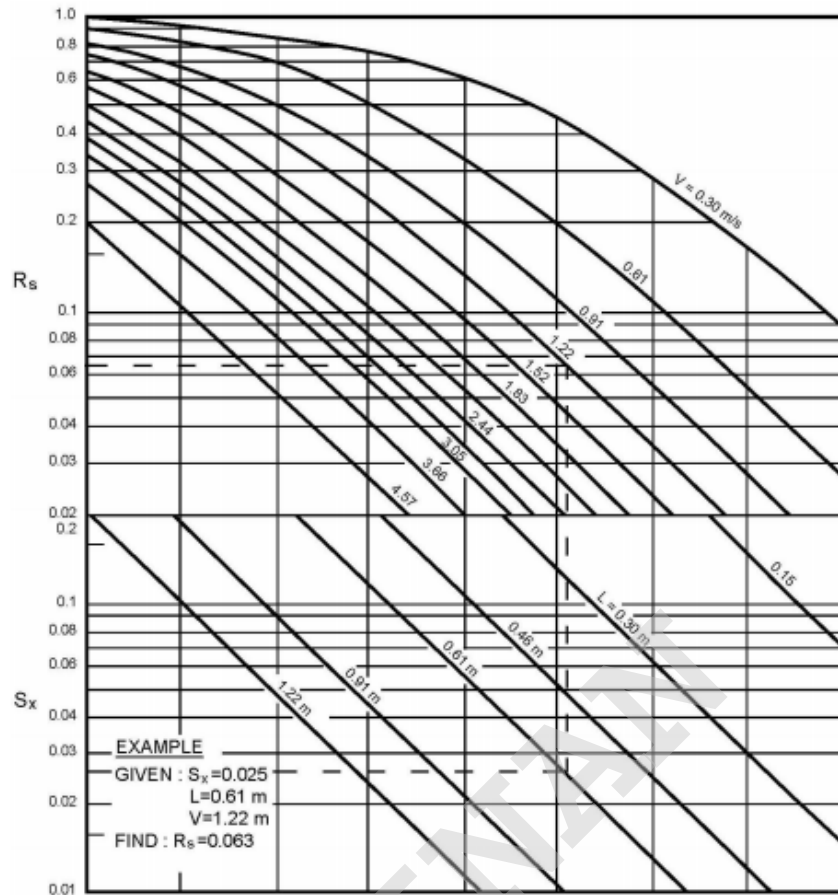


Gambar A.2.3 Grate Inlet pada Titik Rendah (FHWA, 2001)



Gambar A.2.4. Side Opening Inlet pada Bagian yang rendah (FHWA, 2001)





**Gambar A.2.5** Effisiensi Tangkapan Aliran Air Melalui Grate Inlet (lubang masuk berjerji) (FHWA, 2001)

### A.2.3 Contoh 3: Jarak Antara Inlet

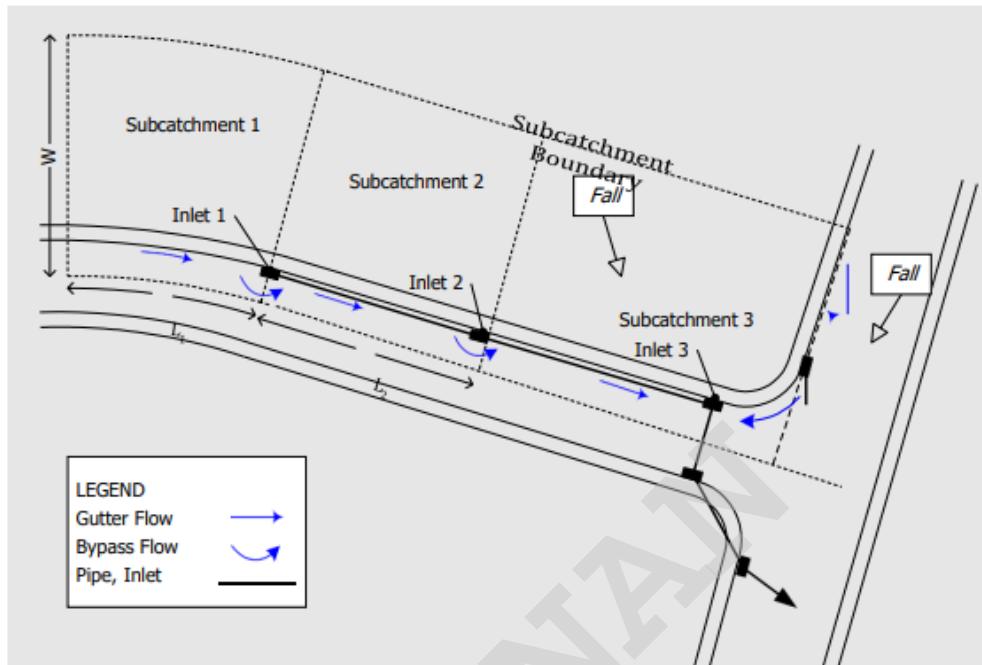
Jarak Antara Inlet (Jika Aliran Air Berasal dari Kombinasi Wilayah Tangkapan di Luar Badan Jalan dan Setengah Lebar Jalan)

Diketahui:

Gambar A.2.5 menunjukkan sebuah wilayah tangkapan air yang ideal dan sistem jalan minor di Jakarta. Dalam hal ini tangkapan permukaan mengalirkan air ke dalam sebuah selokan dengan kelandaian longitudinal yang seragam sebesar 2%. Tentukan jarak maksimum antara lubang- lubang inlet yang diperbolehkan dari tangkapan campuran jalan / perumahan dengan lebar 45 m (lebar separuh jalan adalah 6 m). Waktu konsentrasi 15 menit dan koefisien limpasan terpusat untuk tangkapan campuran adalah 0,85. Manning n untuk perkerasan,  $n_p = 0.015$  (perkerasan aspal hot-mix), dan untuk selokan,  $n_g = 0.013$  (trotoar dan selokan beton). Kemiringan melintang jalan adalah 3%.

Jawab:

Keadaan curah hujan ringan ditetapkan menjadi 5 tahun ARI (Average Recurrence Interval). Setiap wilayah sub-tangkapan hampir berbentuk persegi panjang sehingga volume,  $A = W \times L$ . Waktu konsentrasi diasumsikan sebesar 15 menit.



**Gambar A.2.5** Contoh untuk Wilayah Tangkapan air dan Drainase jalan

Jawaban:

- a. Terapkan  $I = 175 \text{ mm/jam}$ , sehingga
- $$Q_{\text{campuran}} = C.I.A / 360$$
- $$= 0,85 \times 175 \times (45 \times L_1 \times 10^{-4}) / 360$$
- $$= 0,001859 L_1 \text{ dimana } L_1 \text{ adalah panjang dari aliran selokan pada sub-tangkapan aliran hulu pertama.}$$

- b. Hitung batas yang diijinkan untuk aliran selokan.

Untuk suatu jalan minor, lebar aliran air yang diijinkan adalah 2.5 meter (Tabel A.1 ). Perhatikan bahwa penampang melintang jalan mempunyai cross fall 3% dan kedalaman limpasan pada selokan yaitu  $d_g$  ditentukan  $= 0.03 \times 2.5 = 0.075 \text{ m}$ . Jadi, aliran air tidak akan melebihi tinggi dari kerb jalan.

$Q = 170 \text{ liter per detik}$

$= 0.17 \text{ m}^3/\text{detik}$ , dengan kecepatan aliran  $\times$  luas penampang basah berada dalam batas kecepatan aliran yang diijinkan yaitu sebesar  $0.4 \text{ m/detik}$ .

atau  $0.001859 L_1 = 0.17$

Sehingga,  $L_1 = 0.17 / 0.001859 = 91 \text{ m}$

**Tabel A.1** Kriteria aliran permukaan untuk badan jalan (diambil dari QRDM, 2010 dan merujuk pada Pedoman Perencanaan Sistem Drainase Jalan, No Pd T-02-2006-B butir

5.5.4.6

Kriteria	Batasan Aliran Permukaan
<i>Ditentukan Aliran ARI (Average Recurrence Interval atau periode ulang hujan) untuk Jalan Kolektor = 7 tahun, sedangkan untuk Jalan Lokal = 5 tahun</i>	
a. Dua lajur searah	Satu lajur penuh bebas genangan + lebar minimum 2,5 m bebas genangan di lajur lainnya
b. Satu lajur plus lajur parkir	Satu lajur penuh bebas genangan
c. Satu lajur Pada median	Minimal 3,5 m lebar bebas genangan di dalam lajur Minimal 2,5 m lebar bebas genangan di dalam lajur lalu lintas
d. Pada lajur putaran	Minimal 3,0 m lebar bebas genangan di dalam lajur
e. Pada kerb di perputaran persimpangan	Lebar belokan bebas genangan = 3,0 m
<i>Ditentukan Aliran ARI = 10 tahun untuk Jalan Arteri</i>	
Rute lalu lintas utama	Satu lajur penuh bebas genangan
<i>Ditentukan Aliran ARI = 50 tahun untuk Jalan Arteri, Kolektor, dan Lokal</i>	
Semua Jalan Arteri, Kolektor dan Lokal	$D \leq 50 \text{ mm}$ di atas muka kerb
Keselamatan pejalan kaki (a) tanpa bahaya nyata (b) bahaya nyata	$V.D < 0,6 \text{ m}^2/\text{detik}$ $V.D < 0,4 \text{ m}^2/\text{detik}$
Keselamatan kendaraan	$V.D < 0,6 \text{ m}^2/\text{detik}$

- c. Efisiensi Tangkapan Aliran Air Melalui Grate Inlet (Lubang Masuk Berjeruji)  
Dengan suatu pendekatan aliran air pada selokan sebesar 170 L/dtk, pengaliran air pada inlet adalah 125 L/dtk dengan nilai efisiensi tangkapan berkisar 73%.

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, aliran bypass pada selokan} &= 170 - 125 \\ &= 45 \text{ L/dtk} \\ &= 0.045 \text{ m}^3/\text{detik.} \end{aligned}$$

- d. Aliran bypass pada selokan ini akan mereduksi kapasitas inlet berikutnya dan selanjutnya untuk menerima aliran air dari masing-masing sub tangkapan. Jarak antara inlet-inlet selanjutnya diberikan mengikuti rumus berikut:

$$\begin{aligned} L_1 &= (0.170 - 0.045) / 0.001859 \\ &= 67 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk keperluan desain, terapkan jarak maksimum inlet sebesar 70 m.

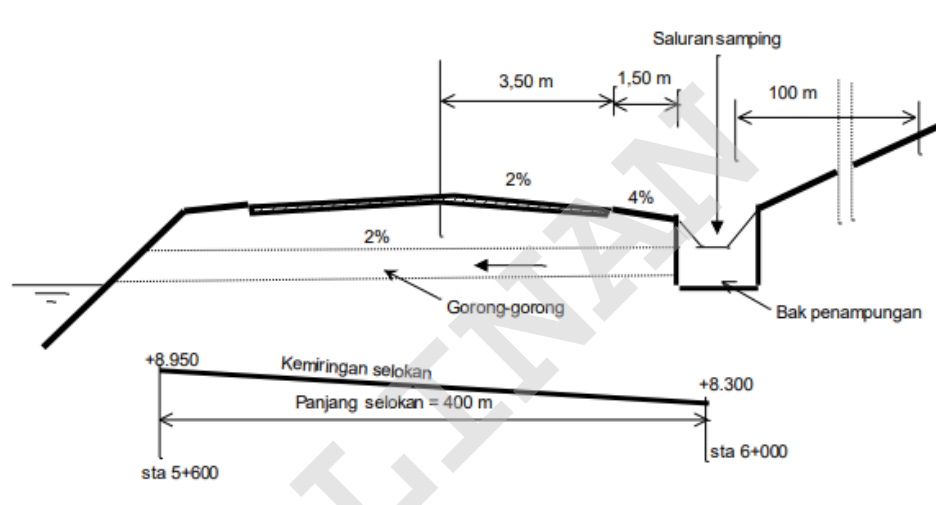
**Catatan:** Contoh ini mengabaikan fakta bahwa langit-langit drainase secara umum akan terhubung secara langsung dengan sistem pemipaan drainase, oleh karena itu hasilnya cenderung bersifat konservatif.

#### A.2.4. Contoh 4 : Dimensi satu ruas saluran

Berikut ini diberikan contoh perhitungan mendimensi satu ruas saluran dengan menggunakan rumus intensitas dari Van Breen dan dari Mononobe dan suatu jaringan drainase saluran samping.

a. Data-data

a) Data kondisi jalan



**Gambar A.2.6** Potongan melintang jalan dan kemiringan saluran

- Potongan Melintang Jalan dan Kemiringan Saluran - Bagian luar jalan terdiri dari perkebunan dengan kemiringan 15%
- Saluran dari lempung padat

b) Data Curah Hujan dari 2 Buah Pos Pengamatan, lihat Tabel A.2

**Tabel A.2** Data Curah Hujan Pos 223 B dan 223 C

Tahun	Jumlah terbesar curah hujan (mm)	
	Pos 223 B	Pos 223 C
1958	122	116
1959	163	119
1960	144	170
1961	78	96
1962	125	97

Tahun	Jumlah terbesar curah hujan (mm)	
	Pos 223 B	Pos 223 C
1963	50	45
1964	136	123
1965	151	137
1966	114	103
1967	103	93
1968	105	190
1969	132	173
1970	104	114
1971	88	80
1972	192	174

b. Analisa

a) Menghitung intensitas curah hujan (I)

Perhitungan analisa data curah hujan untuk menentukan besarnya curah hujan periode ulang T tahun (XT).

**Tabel A.3** Perhitungan intensitas curah hujan pos 223 B

Tahun	Hujan Harian Maks (mm) $X_1$	Deviasi $X_1 - \bar{X}$	$(X_1 - \bar{X})^2$
	Pos 223 B		
1972	192	71,53	5116,54
1959	163	42,53	1808,80
1965	151	30,53	932,08
1960	144	23,53	553,66
1964	136	15,53	241,18
1969	132	11,53	132,94
1962	125	4,53	20,52
1958	122	1,53	2,34
1966	114	-6,47	41,86
1968	105	-15,47	239,32
1970	104	-16,47	271,26
1967	103	-17,47	305,20
1971	88	-32,47	1054,30

Tahun	Hujan Harian Mak (mm) $X_1$	Deviasi $X_1 - X$	$(X_1 - X)^2$
1961	78	-42,47	1803,70
1963	50	-70,47	4966,02

$$\bar{X} = \frac{1807}{15} = 120,47$$

$$S_x = \sqrt{\frac{17489,72}{15}} = 34,15$$

**Tabel A.4** Perhitungan curah hujan Pos 223 C

Tahun	Hujan Harian MaK (mm) $X_1$	Deviasi $X_1 - X$	$(X_1 - X)^2$
	Pos 223 B		
1968	190	68	2624
1972	174	52	2904
1969	173	51	2601
1960	170	48	2304
1965	137	15	225
1964	123	1	1
1959	119	-3	9
1958	116	-6	36
1970	114	-8	64
1966	103	-19	361
1962	97	-25	625
1961	96	-26	675
1967	93	-29	841
1971	80	-72	1764
1963	45	-77	5929
N = 15	X = 1830	$(X - X)^2 =$ 33764	

$$\bar{X} = \frac{1830}{15} = 122$$

$$S_x = \sqrt{\frac{22764}{15}} = 38,96$$

$$X_T = \bar{X} + \frac{S_x}{S_n}(Y_T - Y_n)$$

Periode ulang (T) = 5 tahun

n = 15 tahun

Lihat Tabel A.5 untuk mendapatkan nilai Yt

**Tabel A.5** Variasi Yt

Periode ulang (Tahun)	Variasi yang berkurang
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

Dari Tabel A.5  $\delta Y_T = 1,4999$

Tabel A.6  $\delta Y_n = 0,5128$

Tabel A.7  $\delta S_n = 1,0206$

**Tabel A.6** Nilai Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5555	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5585	0,5586
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

Sumber : "Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, SNI-03-3424-1994

Tabel A.7 Nilai Sn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1265	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1436	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
60	1,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1859	1,1863	1,1863	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1934	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060

Sumber : "Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan, SNI-03-3424-1994

Untuk Pos 223 B

$$XT = 120,47 + \frac{34,15}{1,0206} (1,4999 - 0,5128) = 153,50mm$$

Untuk Pos 223 C

$$XT = 120,47 + \frac{34,98}{1,0206} (1,4999 - 0,5128) = 153,15mm$$

Bila curah hujan efektif, dianggap mempunyai penyebaran seragam 4 jam.

$$I(223b) = \frac{90\% \times 153,50}{4} = 34,5 \text{ mm/jam}$$

$$I(223c) = \frac{90\% \times 158,15}{4} = 35,58 \text{ mm/jam}$$

$$I(\text{gabungan}) = \frac{34,54 + 35,58}{2} = 35,06 \text{ mm/jam}$$

Intensitas Curah Hujan (I) = 35,06 mm/jam

Harga I = 35,06 mm/jam diplotkan pada waktu intensitas t = 240 menit di kurva basis dan tarik garis lengkung searah dengan garis lengkung / kurva basis. Kurva ini merupakan garis lengkung intensitas hujan rencana.

c. Hitung waktu konsentrasi (Tc)

Waktu konsentrasi (Tc) dihitung dengan rumus :



$$T_c = t_1 + t_2$$

$$t_1 = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times l_o \frac{Nd}{\sqrt{S}} \right)^{0,167}$$

$$t_2 = \frac{L}{60V}$$

Keterangan :

$T_c$  = waktu konsentrasi (menit)

$t_1$  = waktu inlet (menit)

$t_2$  = waktu aliran (menit)

$L_o$  = jarak dari titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

$L$  = panjang saluran (m)

$N_d$  = koefisien hambatan (Tabel C-5)

$S$  = kemiringan daerah pengaliran

$V$  = kecepatan air rata-rata diselokan (m/dt)

$$t_{\text{aspal}} = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times 3,50 \times \frac{0,013}{\sqrt{0,02}} \right)^{0,167} = 0,94 \text{ menit}$$

$$t_{\text{bahu}} = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times 1,5 \times \frac{0,10}{\sqrt{0,04}} \right)^{0,167} = 1,09 \text{ menit}$$

$$t_{\text{tanah}} = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times 100 \times \frac{0,2}{\sqrt{0,15}} \right)^{0,167} = 2,20 \text{ menit}$$

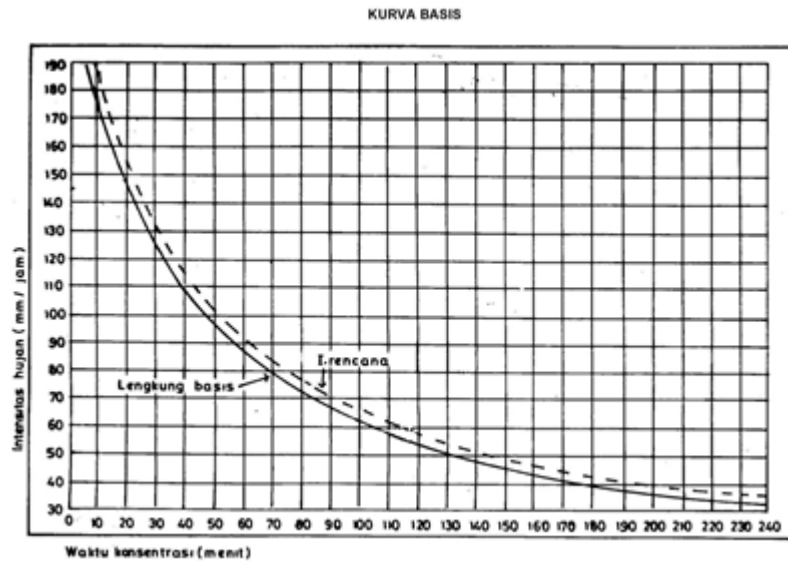
$$t_1 = 4,23 \text{ menit}$$

$$t_2 = \frac{400}{60 \times 1,10} = 6,06 \text{ menit}$$

$$T_c = t_1 + t_2 = 4,23 + 6,06 = 10,29 \text{ menit}$$

Tentukan intensitas hujan maksimum (mm/jam) dengan cara memplotkan harga  $T_c = 10,29$  menit, kemudian tarik garis ke atas sampai memotong intensitas hujan kurva rencana dan intensitas hujan maksimum dapat ditentukan :

$I_{\text{maks.}} = 188 \text{ mm/jam}$



Gambar A.2.7 Diagram(4.1) Kurva Basis

d. Menghitung koefisien C

Keadaan kondisi permukaan seperti pada gambar terdiri atas :

- Panjang saluran drainase 400 meter
- L1 = Permukaan jalan aspal, lebar 3,50 m
- L2 = Bahu jalan 1,5 m tanah berbutir kasar
- L3 = Bagian luar jalan, tanaman dan kebun = 100 m

e. Menentukan besarnya koefisien C

- (1) Permukaan jalan beraspal L<sub>1</sub> : Koefisien C = 0,70
- (2) Bahu jalan tanah berbutir L<sub>2</sub> : Koefisien C = 0,65
- (3) Bagian luar jalan L<sub>3</sub> : Koefisien C = 0,40

- Menentukan luas daerah pengairan diambil per meter panjang

- (1) Jalan aspal A<sub>1</sub> : 3,50 x 400 m<sup>2</sup> = 1.400 m<sup>2</sup>
- (2) Bahu jalan A<sub>2</sub> : 1,50 x 400 m<sup>2</sup> = 600 m<sup>2</sup>
- (3) Bagian luar jalan A<sub>3</sub> : 100 x 400 m<sup>2</sup> = 40.000 m<sup>2</sup>

$$C = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$= \frac{0,70 \cdot 1400 + 0,65 \cdot 600 + 0,40 \cdot 40.000}{1400 + 600 + 40.000} = 0,41$$

f. Menghitung besarnya debit (Q)

$$A = (1400 + 600 + 40.000) = 42.000\text{m}^2 = 0.042 \text{ km}^2$$

$$C = 0,41$$

$$I = 188 \text{ mm/jam}$$

$$Q = 1/3,6 \cdot CIA$$

$$Q = 1/3,6 \cdot 0,41 \cdot 188 \times 0,042 = 0,90 \text{ m}^3/\text{detik}$$

g. Penentuan Ukuran / Dimensi Drainase

1) Saluran direncanakan terdiri dari lempung padat dengan kecepatan diizinkan 1,10 m/detik.

2) Penampang basah saluran samping dihitung menggunakan rumus :

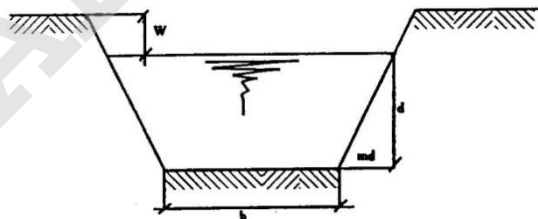
$$Fd = \frac{Q}{V}; \quad Q = 0,90 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$V = 1,10 \text{ m/detik}$$

$$Fd = \frac{0,90}{1,10} = 0,82 \text{ m}^2$$

h. Menghitung dimensi saluran samping dan gorong-gorong

1) Saluran samping bentuk trapesium;



Gambar A.2.8 Saluran Trapesium

$$\frac{b + 2md}{2} = d\sqrt{m^2 + 1}$$

$$R = \frac{d}{2}$$

$$W = \sqrt{0,5d}$$

Keterangan :

b = Lebar saluran (m)

d = Dalamnya saluran yang tergenang air (m)

m = Perbandingan kemiringan talud

R = Jari-jari hidrolis (m)

Fe = Luas penampang ekonomis (m<sup>2</sup>)

W = Tinggi jagaan saluran samping, trapesium, setengah lingkaran, segi empat (m)

Kemiringan talud tergantung dari besarnya debit (lihat Tabel C-10) Q = m/detik, maka Kemiringan Talud 1:1

Syarat : Fe = Fd dimana Fe = Penampang basah ekonomis

Sehingga mendapatkan tinggi selokan/gorong-gorong = d (m)

Lebar dasar selokan/gorong-gorong = b (m)

Hitung tinggi jagaan (W) selokan samping dengan rumus :

$$W = \sqrt{0,5 d} \text{ (m)}$$

$$\frac{b + 2 d}{2} = d \sqrt{m^2 + 1}$$

$$\frac{b + 2 d}{2} = d \sqrt{1^2 + 1}$$

$$b = 0,828 d$$

$$F = d (b + md) = d (0,828 d + d)$$

$$F = 1,828 d^2$$

$$Fe = 1,828 d^2$$

$$Fd = 0,82 m^2$$

$$Fe = Fd$$

$$1,828 d^2 = 0,82 m^2$$

$$d = 0,67 \text{ m}$$

$$b = 0,67 \times 0,828 = 0,56 \text{ m}$$

$$W = \sqrt{0,5 d}$$

$$W = \sqrt{0,5 \times 0,67} = 0,58 \text{ m}$$

## 2) Ukuran saluran samping

Menghitung kemiringan saluran yang diizinkan dengan menggunakan rumus :

Saluran dari tanah lurus teratur dalam kondisi baik, dari Tabel C-8 harga n = 0,020 dan kecepatan air = 1,10 m/detik.

$$R = \frac{F_d}{P}$$

$$Fd = 0,82 \text{ m}$$

$$P = b + 2 d \sqrt{m^2 + 1}$$

$$P = 0,46 + 2 \cdot 0,52 \sqrt{1^2 + 1} = 0,56 + 2 \times 0,67 \sqrt{1^2 + 1} = 2,46$$

$$R = \frac{0,82}{2,46} = 0,33$$

$$i = \left( \frac{V \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2$$

$$i = \left( \frac{1,10 \times 0,020}{0,33^{2/3}} \right)^2 = 0,00212$$

Kemiringan yang diizinkan  $\delta i = 0,00212 \approx 0,21\%$

Periksa kemiringan tanah di lapangan (i lapangan)

$$\text{Sta} : 5 + 600 ; t_1 = 8,950$$

$$\text{Sta} : 6 + 000 ; t_2 = 8,300$$

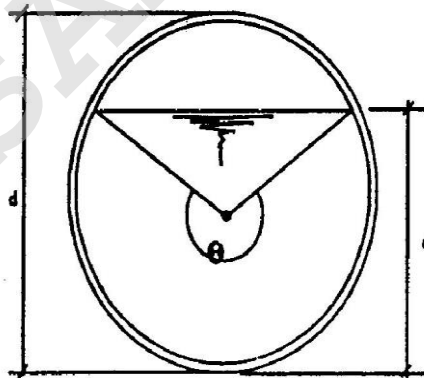
$$i \text{ lapangan} = \frac{t_1 + t_2}{L}$$

$$i \text{ lapangan} = \frac{8,950 - 8,300}{400} \times 100\% = 0,1625 = 17\%$$

i diizinkan = 0,21% > i lapangan = 0,17%

Tidak diperlukan bangunan pemecah arus (Lihat Tabel C-9).

3) Menghitung gorong-gorong untuk membuang air dari saluran samping



Gambar: A.2.9 Skema Ukuran Gorong-gorong

Syarat :

$$d = 0,80 \text{ D}$$

$$F = 1/8 (\emptyset - \sin \emptyset) D^2$$

$$\emptyset = 4,5 \text{ radial}$$

$$F = 1/8 (4,5 - \sin 4,5) D^2$$

$$F_e = 0,685 D^2$$

$$F_d = 0,82 \text{ M}^2$$

$$F_e = F_d$$

$$0,685 D^2 = 0,82 \text{ M}^2$$

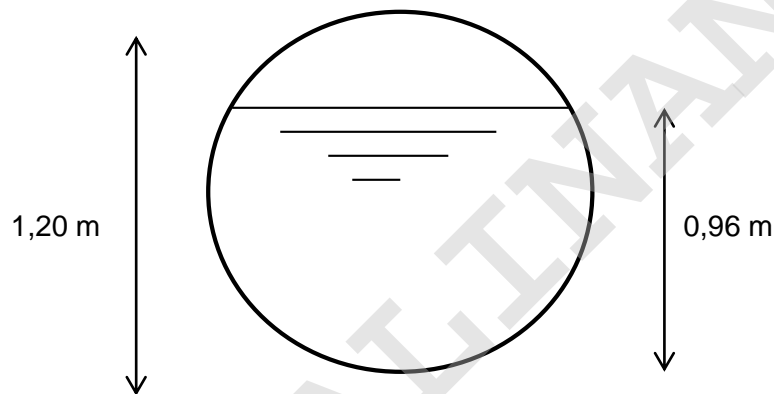
$$D = \sqrt{1,197}$$

$$D = 1,09 \text{ m dipakai } D = 120 \text{ cm}$$

$$d = 0,8 D ; d = 0,8 \times 120 = 96 \text{ cm}$$

$$d = 0,96 \text{ meter.}$$

Ukuran Gorong-gorong



Gambar:A.2.10 Ukuran Gorong-gorong

4) Perhitungan kemiringan gorong-gorong untuk membuang air :

$$P = 2 r \phi$$

$$P = 2 \cdot 0,50 \cdot 4,5$$

$$= 4,5 \text{ meter}$$

$$R = F/P = 0,62/4,5 = 0,14 \text{ meter}$$

$$i = \left( \frac{V \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2$$

(1) Gorong-gorong dari beton  $n = 0,014$  (Tabel C-8)

(2) Kecepatan diizinkan  $V = 1,50$  meter/detik (Tabel C-7)

$$i = \left( \frac{1,50 \times 0,014 \cdot n}{0,14^{2/3}} \right)^2 = 0,006 = 0,6\%$$

kemiringan gorong-gorong memenuhi syarat kemiringan yang diizinkan 0,5 – 2%. (Tabel D-18)

Data curah hujan

Data curah hujan harian maksimum tahunan diperoleh dari 2 buah pos pengamatan, seperti dalam Tabel A.8.

Tabel A.8 Data Curah Hujan Pos 223 B dan 223 C

TAHUN	Jumlah Terbesar Curah Hujan (mm)	
	Pos 223 b	Pos 223 C
1958	122	116
1959	163	119
1960	144	170
1961	78	96
1962	125	97
1963	50	45
1964	136	123
1965	151	137
1966	114	103
1967	103	93
1968	105	190
1969	132	173
1970	104	114
1971	88	80
1972	192	174

5) Perhitungan debit rencana

Untuk perhitungan debit rencana untuk menghitung debit rencana, maka perlu mengolah data curah hujan menjadi kala ulang dan intensitas curah hujan. Kala hujan dihitung dengan rumus Gumbel, waktu konsentrasi

dihitung dengan rumus Kirpich dan intensitas hujan dihitung dengan rumus Mononobe.

Menghitung curah hujan rata-rata dari data curah hujan seperti dalam Tabel D-18 diperlihatkan dalam Tabel A.9.

Tabel D-19 : Perhitungan Data Curah Hujan Rata-Rata Dari Pos 223 B dan Pos 223 C..

Tabel A.9 Perhitungan Dara curah Hujan Rata-rata dari Pos 223 B dan 223 C

TAHUN	Jumlah Terbesar Curah Hujan (mm)		Xi	(Xi - X)	(Xi - X) <sup>2</sup>
	Pos 223 b	Pos 223c			
1958	122	116	119	-2.23	4.9729
1959	163	119	141	19.77	390.8529
1960	144	170	157	35.77	1279.493
1961	78	96	87	-34.23	1171.693
1962	125	97	111	-10.23	104.6529
1963	50	45	47.5	-73.73	5436.113
1964	136	123	129.5	8.27	68.3929
1965	151	137	144	22.77	518.4729
1966	114	103	108.5	-12.73	162.0529
1967	103	93	98	-23.23	539.6329
1968	105	190	147.5	26.27	690.1129
1969	132	173	152.5	31.27	977.8129
1970	104	114	109	-12.23	149.5729
1971	88	80	84	-37.23	1386.073
1972	192	174	183	61.77	3815.533
Xrata-Rata = 1818.5/15 = 121.23			1818.5	0.05	16695.43

Untuk n = 15, maka Sn = 1.0206 dan Yn = 0.5128, untuk kala ulang 5 tahun Yt = 1.4999 dan untuk kala ulang 10 tahun Yt = 2.2502. Besarnya simpangan baku dari sample sebanyak n = 15 tersebut yaitu :

$$S_x = \sqrt{\frac{16695,43}{14}} = 34,53$$



Menurut rumus Gumbel besarnya  $X_t = X + S_x K$ , menurut kala ulang 5 tahun besarnya  $K = (Y_t - Y_n) / S_n = (1.499 - 0.5129) / 1.0206 = 154.63$  mm/hari dan untuk kala ulang 10 tahun besarnya  $K = (2.2502 - 0.5129) / 1.0206 = 180.01$  mm/hari.  
Kesimpulan :

Untuk kala ulang 5 tahun, besarnya curah hujan  $R_5 = 154.63$  mm/hari

Untuk kala ulang 10 tahunan besarnya curah hujan  $R_{10} = 180.01$  mm/hari.

Besarnya intensitas curah hujan untuk kala ulang 5 dan 10 tahun yang dihitung berdasarkan rumus Mononobe diperlihatkan dalam Tabel A.10.

**Tabel A.10 : Intensitas Curah Hujan Untuk Kala Ulang 5 dan 10 Tahun**

No.	Durasi (Jam)	Kala Ulang	
		Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	
		R5 = 154.63	R10 = 180.01
1	2	3	4
1	0.05	394.98	459.81
2	0.1	248.82	289.66
3	0.15	189.89	221.05
4	0.2	156.75	182.48
5	0.25	135.08	157.25
6	0.3	119.62	139.26
7	0.35	107.94	125.66
<b>8</b>	<b>0.38</b>	<b>102.18</b>	<b>118.95</b>
9	0.4	98.75	114.95
10	0.45	91.29	106.27
11	0.5	85.10	99.06
12	0.55	79.86	92.96
13	0.6	75.36	87.73
14	0.7	68.00	79.16
15	0.8	62.21	72.42
16	0.9	57.51	66.95
17	1	53.61	62.41
18	1.2	47.47	55.26
19	1.3	45.01	52.39

Telah diperoleh koefisien pengaliran ekivalent ( $C_{eq}$ ) = 0,41, waktu konsentrasi dihitung dengan rumus Kirpich, dengan panjang saluran  $L = 400$  m dan kemiringan muka tanah asli  $S = 0,17\%$  atau  $S = 0.0017$ , maka diperoleh  $T_c = 22.90$  menit = 0. 38 jam.

Dari Tabel di atas, maka untuk  $T_c = 0.38$  jam, intensitas untuk kala ulang 5 tahun dan untuk kala ulang 10 tahun, menjadi  $I_5 = 102.18$  mm/jam dan  $I_{10} =$

118.95 mm/jam. Besarnya debit dihitung dengan rumus rational method, maka untuk kala ulang 5 tahun dan 10 tahun :

$$Q_5 = 0.00278 \times 0.41 \times 102.18 \times 4.2 = 0.49 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q_{10} = 0.00278 \times 0.41 \times 118.95 \times 4.2 = 0.57 \text{ m}^3/\text{dt}.$$

6) Menghitung dimensi saluran

Penampang ekonomis untuk trapesium  $A = V^3 \cdot y^2$ ,  $P = 2yV^3$ ,  $R = \frac{1}{2} y$  dan  $T = \frac{4}{5} yV^3$ , apabila kecepatan air ditentukan  $V = 1.10 \text{ m}/\text{dt}$ , maka  $F_d = 0.49/1.1 = 0.45 \text{ m}^2 = F_e = A = V^3 \cdot y^2$ . Maka dalamnya air  $y = d = 0.51 \text{ m}$  dan  $b = 0.828 \times 0.51 = 0.42 \text{ m}$ , lebar dasar dibulatkan  $b = 0.50 \text{ m}$  dan tinggi air  $d = 0.60 \text{ m}$  dengan syarat  $m = 1$ .

Kontrol kecepatan air dan kemiringan dasar saluran:

$$A = (b+md)d = (0.50+1 \times 0.60) \times 0.60 = 0.66 \text{ m}^2$$

$$P = b+2dV(1+m^2) = 2.20 \text{ m}$$

$$R = A/P = 0.30 \text{ m}$$

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} = 0.92 \text{ m}/\text{dt} \text{ dibulatkan } V = 1 \text{ m}/\text{dt}$$

Kontrol kemiringan dasar  $S$  :

$$S = (n \times V / R^{2/3})^2 = 0.00199 > 0.0017, \text{ saluran samping tidak memerlukan pematah arus.}$$

7) Menghitung dimensi gorong-gorong

Debit gorong-gorong untuk kala ulang 10 tahun  $Q_{10} = 0.57 \text{ m}^3/\text{dt}$ , kecepatan air di dalam gorong-gorong  $V = 1,5 \text{ m}/\text{dt}$ , jadi  $F_d = 0,38 \text{ m}^2$ . Profil ekonomis  $F_e = 0.685 D^2$ , sehingga  $F_e = F_d = 0.38 = 0.685 D^2$ . Dari hasil perhitungan diperoleh  $D = 0.74 \text{ m}$  dibulatkan  $D = 0.80 \text{ m}$ , kedalaman air  $d = 0.8 \times 0.80 = 0.64 \text{ m}$ .

### A.3 Pedesain saluran tertutup

#### A.3.1 Contoh 1 : Perhitungan outlet (Menentukan Apron)

Contoh berikut menunjukkan prosedur untuk menentukan dimensi apron batuan yang diperlukan untuk memberikan perlindungan outlet terhadap kecepatan outlet yang lebih tinggi daripada yang dapat diterima. Untuk kecepatan lebih dari 5 m / s, penggunaan dissipator energi harus dipertimbangkan dan saran spesialis harus diperoleh.

Contoh ini akan menunjukkan desain ukuran kontrol erosi untuk RCP berdiameter 1200 mm (kontrol saluran masuk) yang telah dirancang untuk menghasilkan debit total 2,25 m<sup>3</sup> / dtk. Kecepatan aliran maksimum yang diijinkan untuk saluran adalah 2,0 m / s. Kedalaman dan kecepatan di outlet masing-masing adalah 64% dari kedalaman aliran penuh dan 2,97 m/s (per sel).

Jawaban:

Langkah 1

pertama-tama tentukan jenis ukuran kontrol yang sesuai dengan menghitung Rumus Froude nomor 11:

$$F_r = V / \sqrt{g (A/B)}$$

untuk menghitung angka froude, perlu untuk menghitung luas aliran pada saluran keluar (A0) dan lebar aliran atas (B)

$$A_0 = Q/V_0$$

$$A_0 = 2.25/2.97$$

$$A_0 = 0.76 \text{ m}^2$$

menggunakan Rumus :

$$B = 2 \sqrt{y (d - y)}$$

Keterangan:

$$y = 64\% \text{ kedalaman aliran penuh} = 0.4 \times 1.2 = 0,77 \text{ m}$$

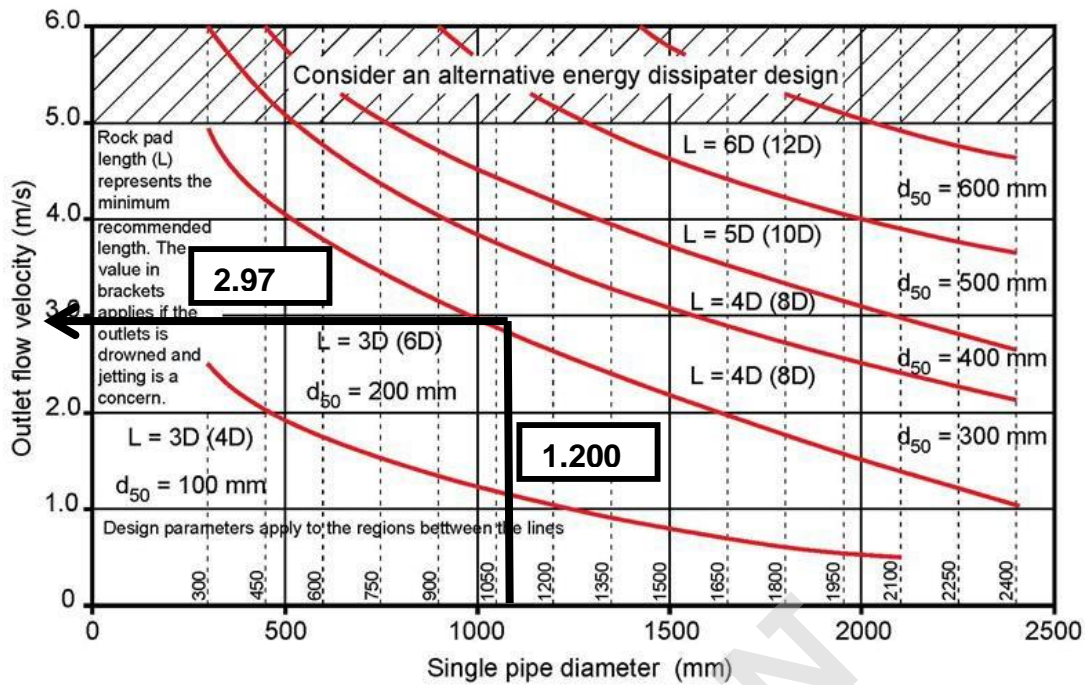
$$B = 2 \sqrt{0.77 (1.2 - 0.77)} = 1.15 \text{ m}$$

$$F_r = 2.97 / \sqrt{9.81 (0.76/1.15)} = 1.16$$

Apabila  $F_r < 1.7$  batu akan cocok/sesuai

Langkah 2

Tentukan ukuran batu dan panjang perlindungan dari gambar seperti yang ditunjukkan di bawah ini



Dari gambar di atas

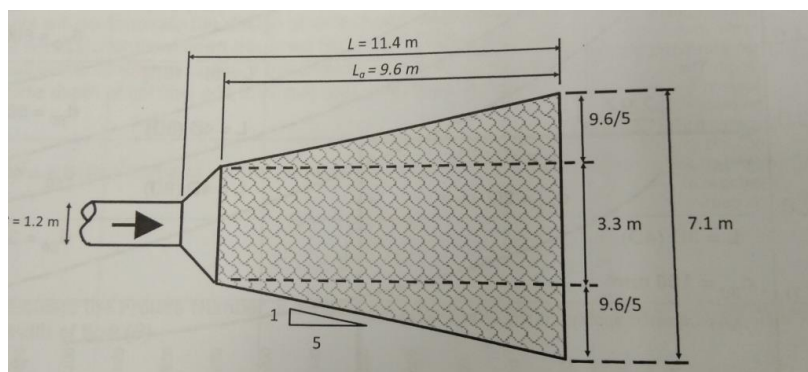
Panjang =  $4D = 4 \times 1.2 = 4.8$ . jika tailwater berada di antara  $D/2$  dan  $D$ , panjangnya harus dua kali lipat. oleh karena itu, panjang yang disarankan =  $4,8 \times 2 = 9,5$  m. (diadopsi untuk contoh ini).

juga dari gambar diatas, ukuran batu yang dibutuhkan,  $d_{50} = 300$  mm

Langkah 3

Tentukan dimensi apron batuan berdasarkan rasio ekspansi 5: 1. lihat gambar 3.8. ujung luar apron beton normal akan memanjang 1,8 m di luar outlet dengan sayap sayap 300. Oleh karena itu lebar keseluruhan antara sayap sayap =  $1,2 + 2 (1,8 \times \text{tang } 300) = 3,3$  m.

lebar apron batu pada ujung downstream-nya, pada rasio ekspansi 5: 1 karenanya =  $3,3 + 2 (9,6 / 5)$ . lihat gambar dibawah.



Gambar 3.8 Solusi sebagai contoh untuk perlindungan outlet gorong-gorong

### A.3.2. Contoh 2: Tipe aliran menurut viskositas cairan

Angka Reynolds dapat menunjukkan tipe suatu aliran, apakah laminar atau turbulen. Aliran laminar apabila angka Reynolds,  $Re \leq 500$  dan aliran turbulen angka Reynolds,  $Re \geq 2000$ . Apabila aliran terjadi di antara kedua angka tersebut disebut aliran batas atau aliran transisi,  $500 < Re < 2000$ .

- Angka Reynolds,  $Re = \frac{V D}{\nu}$ , untuk Pipa
- Angka Reynolds,  $Re = \frac{V R}{\nu}$ , untuk saluran terbuka

Bila:

$Re$  = Angka Reynolds, Reynolds number

$V$  = Kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

$D$  = diameter pipa (m)

$\nu$  = Kekentalan kinematik (m<sup>2</sup> /dt)

$R$  = jari-jari hidrolis (m)

Diketahui:

Air mengalir melalui pipa berdiameter 150 mm dan kecepatan 5,5 m/dt. Kekentalan kinematik air,  $\nu = 1,3 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup> /dt.

Pertanyaannya :

Selidiki tipe aliran !

Jawaban:

- Diameter pipa,  $D = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$ ;
- Kekentalan kinematik air,  $\nu = 1,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{dt}$ ;
- Kecepatan aliran,  $V = 5,5 \text{ m/dt}$ ;
- Tipe aliran dapat diketahui dari angka Reynolds :

$Re = \frac{V D}{\nu} = Re = \frac{5,5 \times 0,15}{1,3 \times 10^{-6}} = 6,35 \times 10^5$  karena  $Re > 2000$  berarti aliran adalah turbulen

### A.3.3 Contoh 3 :Perhitungan dimensi gorong-gorong (culvert)

Perpindahan pengaliran air dari sungai kecil kedalam gorong gorong (culvert) akan memerlukan bangunan transisi dari tanah atau beton disisi inlet (hulu) dan disisi outlet (hilir). Fungsi dari bangunan transisi adalah mengatur perubahan kecepatan secara berangsur-angsur sehingga tidak terlalu banyak terjadi "head loss".

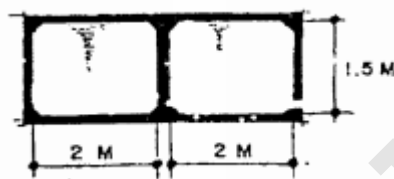
Kecepatan aliran didalam culvert dibatasi oleh jenis bangunan transisi yang dipilih agar tidak terjadi erosi pada bangunan transisi. Apabila bangunan transisi dibuat

dari tanah, maka kecepatan aliran yang diijinkan di dalam culvert ialah 1 m/sec, sedangkan kalau dipilih bangunan transisi pasangan batu atau beton, maka kecepatan aliran yang diijinkan di dalam culvert ialah 1,5 m/sec.

Pada permasalahan diatas dipilih bangunan transisi dari pasangan batu, maka V yang diijinkan = 1,5 m/sec. Sedangkan aliran di dalam culvert direncanakan sebagai aliran bebas (free surface flow). Debit puncak banjir  $Q_p = 8,12 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

Jawaban:

Dengan mempertimbangkan bentuk penampang melintang alur sungai yang ada, maka dipilih tipe gorong-gorong "double box culvert" dengan sketsa penampang sebagai berikut:



L = panjang "box culvert" direncanakan = 10 m

A perlu =  $Q/v = 8,12/1,5 \text{ m}^2 = 5,41 \text{ m}^2$

A disediakan =  $4 \times 1,5 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2 > A \text{ perlu}$

P disediakan =  $(2 \times 4) + (1,5 \times 4) = 14 \text{ m}$

V yang ada =  $Q/A = 8,12/6 \text{ m/sec} = 1,353 \text{ m/sec} < 1,5 \text{ m/sec}$

Kemiringan box culvert dihitung berdasarkan rumus untuk "free surface flow"

$$V = A \sqrt{\frac{2 g \cdot S \cdot L}{1,5 + \frac{2 \cdot g \cdot L}{K_x^2 R^{4/3}}}}$$

$$(1,353)^2 = \frac{2 \times 9,81 \times S \times 10}{1,5 + \frac{2 \times 9,81 \times 10}{70^2 \times 0,4286^{4/3}}}$$

$$196,20 S = 1,8306 (1,5 + 0,0715)$$

$$S = 2,8768/196,20 = 0,0147$$

Jadi kemiringan box culvert = 1,47%

#### A.4 Pedesain saluran bawah permukaan

##### A.4.1 Contoh 1: Infiltrasi ke dalam perkerasan

Metode rembesan retak; dari suatu jalan bertipe dua lajur dua arah dengan lebar 12 kaki, dari perkerasan PCC dengan bahu AC 10-ft di kedua sisinya, atau kemiringan silang tanpa mahkota yang seragam, dengan lebar alas permeabel yang sama dengan perkerasan PCC. Jarak sambungan transversal adalah 20 kaki. Tentukan infiltrasi ke dalam perkerasan ini.

Diketahui:

Tingkat infiltrasi retak ( $I_C$ ) = 2,4 cu ft / hari / ft retak

Jumlah jalur kontribusi ( $N_C$ ) = 2

Panjang sambungan atau retakan yang melintang ( $W_C$ ) = 24 ft

Jarak sambungan atau retakan melintang ( $C_s$ ) = 20 ft

Lebar alas permeabel ( $W_C$ ) = 24 ft

Permeabilitas perkerasan ( $K_P$ ) = 0

Sumber: (LRRB. 2017)

Jawaban :

Tentukan jumlah retakan yang berkontribusi:  $N_C = N + 1 = (2 + 1) = 3$

Dengan mensubstitusikan rumus ...  $q_i = I_C \left[ \frac{N_C}{W} + \frac{W_C}{W C_s} \right] + K_P$

$$q_i = 2.4 \left[ \frac{3}{24} + \frac{24}{24 \times 20} \right] + 0$$

$$q_i = 2,4 (0,125 + 0,05) = 2,4 \times 0,175 = 0,42 \text{ cu kaki / hari / kaki persegi}$$

$$q_i = 0,42 \text{ ft}^3 / \text{hari per ft}^2 \text{ lapisan drainase.}$$

Debit permeabel kemudian ditentukan menggunakan rumus:  $q_d = q_i \cdot L_R$

Keterangan :

$q_d$  = Debit pembuangan permeabel, cu ft / hari / ft dari dasar.

$q_i$  = Infiltrasi perkerasan, kaki kubik / hari / kaki persegi

$L_R$  = Panjang resultan dari alas, ft

Debit ini,  $q_d$ , merepresentasikan aliran dari kaki garis dasar jalan yang permeabel ke dalam sistem edgedrain.

#### A.4.2 Contoh 2 : Infiltrasi melalui permukaan perkerasan yang tidak retak.

Metoda rembesan retak; dari perkerasan beton semen baru memiliki dua lajur lalu lintas, lebar 12 kaki dengan bahu beton aspal padat 10 kaki. Mengingat sambungan perkerasan melintang ditempatkan pada interval 20 kaki, berapakah infiltrasi melalui permukaan perkerasan yang tidak retak.

Permeabilitas perkerasan diasumsikan tidak signifikan ( $K_p$ ) = 0, Kemudian, dengan asumsi  $l_c$  2.4 cfd / f,  $N_C = (N + 1) = 3$ ,  $C_S = 20$  ';  $W_C = 44$ 'ft dan  $W = 24$ ft

$$q_i = 2.4 \left[ \frac{3}{24} + \frac{44}{24 \times 20} \right] + 0$$

$$q_i = 0,52 \text{ ft}^3 / \text{hari per ft}^2 \text{ lapisan drainase.}$$

#### A.4.3 Contoh 3: Infiltrasi ke dalam perkerasan

Metoda rembesan retak; dari perkerasan beton aspal baru untuk 4 lajur dua jalur terbagi. Jika jalan memiliki lajur dengan lebar 12 kaki, dengan bahu dalam 4 kaki dan bahu luar 10 kaki. Kemudian, dengan asumsi cracking "normal";  $N_C = 3$ ,  $C_S = 40$ ,  $W_C = 38$ , dan  $W = 24$ . Jika  $l_c = 2.4$ , dengan asumsi  $K_p = 0$ . maka infiltrasi ( $q_i$ ) ke dalam perkerasan jalan dapat dievaluasi sebagai:

$$q_i = 2.4 \left[ \frac{3}{24} + \frac{38}{24 \times 40} \right] + 0$$

$$q_i = 0,4 \text{ ft}^3 / \text{hari per ft}^2 \text{ lapisan drainase.}$$

Sumber: (LRRB. 2017)

#### A.4.4 Contoh 4: Penentuan aliran air tanah

Aliran gravitasi air tanah; pertimbangkan jalan yang dijelaskan dalam Contoh no. 2. Basis permeabel diasumsikan sama dengan perkerasan jalan plus bahu jalan. Tentukan aliran air tanah.

Diketahui:

Lebar jalan ( $W$ ) = 44 ft

Kedalaman batas kedap air ( $H_0$ ) = 5 ft

Elevasi muka air dengan drawdown ( $H$ ) = 15 ft

Konduktivitas hidrolik tanah ( $K$ ) = 3 ft / hari

Jawaban:

Panjang pengaruh ( $L_i$ ) diperkirakan dari rumus ...  $L_i = 3,8 (H - H_0)$

menjadi  $L_i = 3,8 (15 - 5) = 38$  ft

ini memberikan rasio  $\frac{W}{H_0} = \frac{44}{10} = 4,4$  dan  $\frac{L_i + 0,5 W}{H_0} = \left( \frac{38 + 22}{5} \right) = 12$



Dari Gambar 4.7 memasuki absis dengan rasio 12, secara vertikal ke rasio 4,4, menghasilkan nilai perkiraan  $\left(K \frac{(H-H_0)}{2 q_2}\right) = 5,5$ .

$$\text{Nilai } q_2 = \left(K \frac{(H-H_0)}{2 (5,5)}\right) = 3.0 \frac{(15-5)}{2 (5,5)} = 4.09 \text{ cu.ft / day / lineal foot.}$$

Nilai  $q_2$  ini digunakan untuk mendesain saluran dan ketebalan dasar permeabel.

$$\text{Nilai } q_g = \left(\frac{q_2}{0,5 W}\right) = \left(\frac{4,09}{22}\right) = 0.18 \text{ cu.ft / day / sq.ft.}$$

Aliran lateral air tanah langsung ke saluran pembuangan adalah  $q_1$  yang dihitung

$$\text{dari } q_1 = K \frac{(H-H_0)^2}{2 \cdot L_i} = \frac{(3.0)(15-5)^2}{2 (38)} = 3.96 \text{ cu.ft / day / lineal foot.}$$

Porsi debit aliran ini tidak melewati basis permeabel, tetapi mengalir langsung ke saluran pembuangan.

Sumber: (LRRB. 2017)

#### A.4.5 Contoh 5 : Aliran air ke atas ke base course

Aliran air tanah artesis; dari jalan yang diberikan dalam Contoh 2. Akuifer tertekan terletak pada kedalaman 20 kaki di bawah batas ketentuan dasar, dan sumur di dekatnya di akuifer memiliki ketinggian permukaan air statis 962 kaki. Ketinggian dasar kursus dasar di lokasi tersebut adalah 957 kaki.

Diketahui:

Ketinggian air statis pada akuifer artesis relatif terhadap elevasi ketentuan dasar ( $H_a$ ) = 962 ft - 957 ft = 5 ft. Konduktivitas hidrolis lapisan tanah yang membatasi akuifer ( $K$ ) = 0,1 ft / hari.

Jawaban:

Aliran air ke atas ke base course dihitung dari rumus . . .  $q_a = K \frac{H_a}{D}$

$$q_a = K \frac{H_a}{D} = (0,1) \left(\frac{5,0}{20}\right) = 0,025 \text{ cu.ft / day / lineal foot.}$$

#### A.4.6 Contoh 6 : Kemiringan, panjang, dan jalur aliran resultan untuk perkerasan

Orientasi kelandaian perkerasan jalan; kondisi perkerasan dengan dengan kemiringan longitudinal ( $S$ ) = 0,02 ft/ft (%), kemiringan melintang ( $S_x$ ) = 0,02 ft/ft (%), dan lebar dasar permeabel ( $W$ ) = 24 ft.

Berapakah orientasi kemiringan, panjang, dan jalur aliran resultan untuk perkerasan tersebut.

Jawaban :

Mengganti ke rumus 4.1 untuk kemiringan resultan:

$$S_R = (S^2 + S_x^2)^{1/2} = (0,02^2 + 0,02^2)^{1/2} = 0,02828 \text{ ft/ft}$$

$$SR = 0,02828 \%$$

Masukan ke rumus ... untuk mendapatkan panjang resultan:

$$L_x = W \left[ 1 + \left( \frac{S}{S_x} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$L_R = 24 + \left[ 1 + \left( \frac{0,02}{0,02} \right)^2 \right]^{1/2} = 33,94$$

$$LR = 33,94 \text{ ft}$$

$$\text{Masukan ke rumus Tangen A} = \dots A \tan \frac{S}{S_x} = \frac{0,02}{0,02} = 1$$

Sudut A adalah 450

Jalur aliran akan berada pada garis 450 derajat dari garis tegak lurus dengan garis tengah jalan.

Sumber: (LRRB. 2017)

#### A.4.7 Contoh 7 : Waktu pengaliran; dari elemen geometri Jalan

Perhitungan waktu pengaliran; dari elemen geometri Jalan memiliki dimensi sebagai berikut:

Kemiringan resultan (SR) = 0,02 ft / ft, Panjang resultan (LR) = 24 ft, Tebal alas (H) = 0,5 ft, Sifat bahan dasar permeabel, Porositas efektif (Ne) = 0,25, dan Konduktivitas hidrolik (K) = 2000 ft/hari.

Waktu untuk mengalirkan (t) untuk 50% drainase dari dasar permeabel.

Jawaban:

$$\text{Hitung faktor kemiringan dihitung, } S_1 = \frac{L_R \cdot S_R}{B} = \frac{24 \cdot 0,02}{B} = 0,96$$

Dari Gambar 4.13 dengan faktor kemiringan, pilih faktor waktu (T50) yaitu 0,245.

$$\text{Hitung faktor "m": } m = \frac{N_e \cdot L_R^2}{K \cdot B} = \frac{0,25 \cdot (24)^2}{2000 \cdot 0,5} = 0,144 \text{ Hari}$$

$$\text{Hitung waktu untuk menguras (t): } t = T50 \cdot m \cdot 24 = T50 \cdot 0,144 \cdot 24 = 0,85 \text{ Jam.}$$

Waktu yang dibutuhkan untuk menguras 50% drainase dibutuhkan waktu 0,85 jam.

Perhatikan bahwa laju aliran masuk ke perkerasan jalan tidak dimasukkan ke dalam perhitungan desain. Ini karena, secara teoritis, waktu pengurasan tidak dimulai sampai hujan desain berhenti.

Sumber: (LRRB. 2017)

#### A.4.8 Contoh 8 : Debit rencana perkerasan jalan

Pada segmen perkerasan jalan PCC, dirancang dengan drainase dasar permeabel dengan lebar 24 kaki.

Menentukan tingkat debit rencana perkerasan yang diperlukan untuk dihilangkan oleh drainase tepi menggunakan metode laju debit infiltrasi perkerasan jalan.

Jawaban :

Tingkat infiltrasi perkerasan 0,4 ft<sup>3</sup>/hari/ft<sup>2</sup> dipilih untuk perkerasan PCC. Laju pelepasan perkerasan jalan dihitung sebagai berikut:

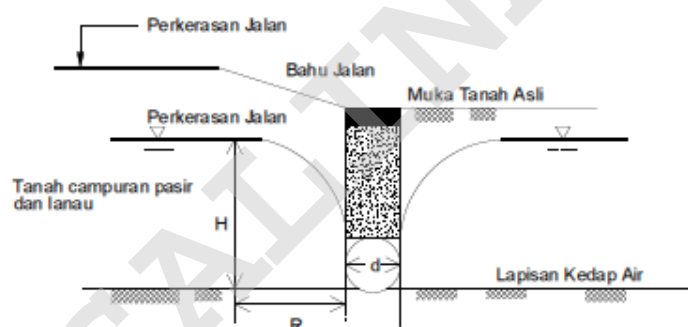
$$q_d = q_1 \cdot W = (0.4 \text{ ft}^3/\text{day}/\text{ft}^2) (24 \text{ ft}) = 9.6 \text{ ft}^3/\text{day}/\text{ft}$$

$$\text{Debit rencana perkerasan jalan } (q_d) = 9,6 \text{ ft}^3/\text{day}/\text{ft}.$$

Sumber: (LRRB. 2017)

#### A.4.9 Contoh 9 : Ukuran Pipa

Dari segmen jalan dengan air tanah cukup tinggi, mempunyai data-data sebagai berikut:



- Tinggi muka air tanah (H) = 3 meter.
- Tanah dasar terdiri atas campuran pasir dan lanau, dimana nilai  $k = 10^{-5}$  m/det.
- Diameter pipa berlubang (d) = 0.2 meter.
- Panjang pipa (L) = 200 meter.
- Dari percobaan lapangan diketahui gradient hidrolis ( $i_{at}$ ) = 0,01.

Debit air rembesan yang mengalir ke dalam pipa :

$$R_k = \frac{H^2 - h^2}{2 i_{at} H} = \frac{3^2 - (0,2)^2}{2,0 \cdot 0,01 \cdot 3} = 149,33 \text{ meter}$$

$$Q = \frac{k \cdot L \cdot (H^2 - h^2)}{R_k} = \frac{10^{-5} \cdot 200 (3^2 - 0,2^2)}{149,33} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{total} = Q \cdot L = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik} \times 200 \text{ m} = 0,024 \text{ m}^3/\text{det}.$$

Diameter pipa dengan rumus  $Q = A \cdot V$

$$0,024 \text{ m}^3/\text{det.} = \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \frac{1}{0,02} \cdot \left( \frac{1}{4} d \right)^{2/3} \cdot (0,01)^{1/2} =$$

$$0,024 = \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot 0,25 \left( \frac{1}{4} d \right)^{2/3} = 0,049 d^{8/3}$$

$$d = 0,24 \text{ m}$$

Pipa yang digunakan pipa berlubang dengan diameter 0,25 meter.

Sumber: (LRRB. 2017)

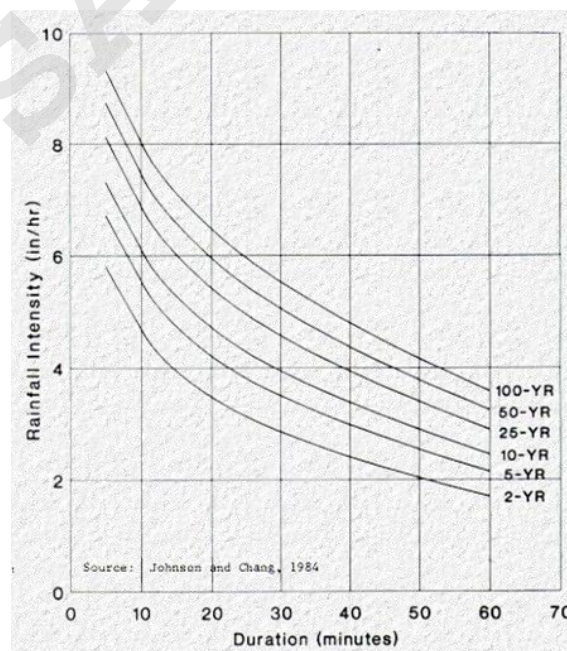
## A.5 Pedesain drainase jembatan

### A.5.1 Contoh 1 : Jembatan tidak memerlukan inlet

#### Langkah 1 ; Pengumpulan data

Informasi umum :

- Panjang jembatan,  $L = 150 \text{ m}$
- Lebar area,  $W_p = 5 \text{ m}$  (diukur dari sumbu crown ke tepi selokan)
- Kemiringan memanjang dek,  $S = 0,03 \text{ m/m}$
- Kemiringan melintang dek,  $S_x = 0,02 \text{ m/m}$
- Koefisien kekasaran Manning,  $n = 0,016$
- Koefisien limpasan,  $C = 0,9$
- Sebaran desain,  $T = 3 \text{ m}$
- Frekuensi = 10 tahun periode ulang
- Jembatan memiliki siar muai kedap air
- Kurva IDF di Wilayah A



Gambar A.1-Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF)

Langkah 2 ; Asumsikan dimensi inlet dan jenis jeruji inlet

Asumsi awal :

- Lebar inlet,  $W = 0,3$  m
- Panjang inlet,  $L_g = 0,5$  m
- Jenis jeruji = *curved vane grate* (aman untuk pengendara sepeda)

Langkah 3 : Tentukan intensitas curah hujan,  $i$

- a. Nilai  $t_{c\_trial-1}$  dipilih durasi 5 menit (periode ulang 10 tahun sesuai informasi umum).

Berdasarkan Gambar A.1 didapatkan nilai  $i_{trial-1} = 185$  mm/jam.

- b. Waktu konsentrasi limpasan permukaan,  $t_0$ , berdasarkan Rumus (1) dengan menggunakan nilai  $i$  pada Langkah 1a.

$$\begin{aligned} t_0 &= 6,92 \cdot \frac{(n \cdot W_p)^{0,6}}{(C \cdot i)^{0,4} (S_x)^{0,3}} \quad (1) \\ &= 6,92 \cdot \frac{(0,016 \cdot 5,486)^{0,6}}{(0,9 \cdot 185,42)^{0,4} (0,02)^{0,3}} = 0,67 \text{ menit} \end{aligned}$$

- c. Waktu konsentrasi aliran selokan,  $t_g$ , berdasarkan Rumus (2) dengan menggunakan nilai  $i$  pada Langkah 1a.

$$\begin{aligned} t_g &= 40334 \cdot \frac{S_x \cdot T^2}{C \cdot i \cdot W_p} \quad (2) \\ &= 40331 \cdot \frac{0,02 \cdot 3,048^2}{0,9 \cdot 185,42 \cdot 5,486} \\ &= 8,19 \text{ menit} \end{aligned}$$

- d. Waktu konsentrasi,  $t_c$ , berdasarkan Rumus (3).

$$\begin{aligned} t_c &= t_0 + t_g \quad (3) \\ &= 0,67 + 8,19 \\ &= 8,86 \text{ menit} \quad \neq \quad t_{c\_trial-1} = 5 \text{ menit} \end{aligned}$$

- e. Ulangi langkah 1a sampai 1d untuk nilai  $t_{c\_trial-2} = 11$  menit.

Berdasarkan Gambar B.1 didapatkan nilai  $i_{trial-2} = 152,4$  mm/jam.

Proses berulang tersebut menghasilkan nilai  $t_c = 10,6$  menit  $\approx t_{c\_trial-2} = 11$  menit.

Maka gunakan nilai  $i = 152,4$  mm/jam.

Langkah 5: Tentukan debit air,  $Q$

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{0,38}{n} \cdot S^{0,5} \cdot S_x^{1,67} \cdot T^{2,67} \\
 &= \frac{0,38}{0,016} \cdot 0,03^{0,5} \cdot 0,02^{1,67} \cdot 3,048^{2,67} \\
 &= 0,117 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Langkah 6: Tentukan jarak inlet pertama,  $L_0$

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \frac{3608631 \cdot Q}{C \cdot i \cdot W_p} \\
 &= \frac{3608631 \cdot 0,116}{0,9 \cdot 152,4 \cdot 5,486} \\
 &= 560 \text{ m} > L = 152,4 \text{ m} \quad \text{inlet tidak diperlukan}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

\*lanjut ke Langkah 10

Langkah 10: Rancang drainase bagian ujung jembatan

a. Jika batas kerb dan kemiringan melintang berlanjut hingga daerah di luar jembatan, maka *inlet* dipasang sejauh 560 m dari ujung tertinggi jembatan. *Inlet* harus dapat menerima debit air sebesar :

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{C \cdot i \cdot W_p \cdot L_0}{3608631} \\
 &= \frac{0,9 \cdot 152,4 \cdot 5,486 \cdot 560}{3608631} \\
 &= 0,117 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

b. Jika keadaan di ujung jembatan berubah dan posisi drainase di sisi luar jalan, maka waktu konsentrasi berkurang menjadi :

$$\begin{aligned}
 t_{c\_end} &= \frac{L_0}{L} \cdot t_c \\
 &= \frac{152,4}{560} \cdot 11 \\
 &= 3 \text{ menit}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

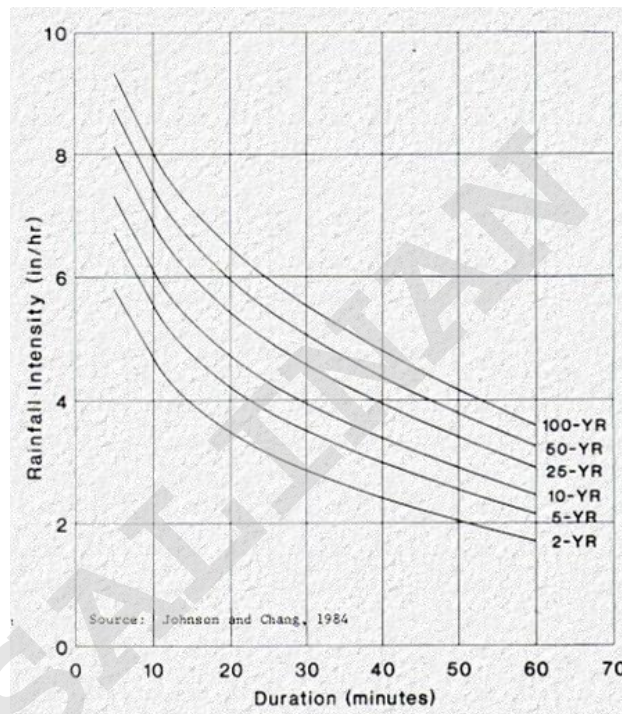
### A.5.2 Contoh 2 : Jembatan memerlukan inlet

Langkah 1 ; Pengumpulan data

Informasi umum :

- Panjang jembatan,  $L = 610 \text{ m}$
- Lebar area,  $W_p = 10 \text{ m}$  (diukur dari sumbu *crown* ke tepi selokan)

- Kemiringan memanjang dek,  $S = 0,01 \text{ m/m}$
- Kemiringan melintang dek,  $S_x = 0,02 \text{ m/m}$
- Koefisien kekasaran *Manning*,  $n = 0,016$
- Koefisien limpasan,  $C = 0,9$
- Sebaran desain,  $T = 3 \text{ m}$
- Frekuensi = 10 tahun periode ulang
- Jembatan memiliki siar muai kedap air
- Kurva IDF di Wilayah B



**Gambar B.1- Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF)**

Langkah 2 ; Asumsikan dimensi *inlet* dan jenis jeruji *inlet*

Asumsi awal :

- Lebar *inlet*,  $W = 0,3 \text{ m}$
- Panjang *inlet*,  $L_g = 0.45 \text{ m}$
- Jenis jeruji = *curved vane grate* (aman untuk pengendara sepeda)

Langkah 3 : Tentukan intensitas curah hujan,  $i$

- Nilai  $t_{c_{trial-1}}$  dipilih durasi 5 menit (periode ulang 10 tahun sesuai informasi umum).

Berdasarkan Gambar B.1 didapatkan nilai  $i_{trial-1} = 185 \text{ mm/jam}$ .

- b. Waktu konsentrasi limpasan permukaan,  $t_0$ , gunakan Rumus (1) dengan menggunakan nilai  $i$  pada Langkah 3 a.

$$t_0 = 6,92 \cdot \frac{(n \cdot W_p)^{0,6}}{(C \cdot i)^{0,4}(S_x)^{0,3}} \quad (1)$$

$$= 6,92 \cdot \frac{(0,016 \cdot 10)^{0,6}}{(0,9 \cdot 185)^{0,4}(0,02)^{0,3}}$$

$$= 0,96 \text{ menit}$$

- c. Waktu konsentrasi aliran selokan,  $t_g$ , gunakan Rumus (2) dengan menggunakan nilai  $i$  pada Langkah 3 a.

$$t_g = 40334 \cdot \frac{S_x \cdot T^2}{C \cdot i \cdot W_p} \quad (2)$$

$$= 40334 \cdot \frac{0,02 \cdot 3^2}{0,9 \cdot 185 \cdot 10}$$

$$= 4,36 \text{ menit}$$

- d. Waktu konsentrasi,  $t_c$ , berdasarkan Rumus (3).

$$t_c = t_0 + t_g \quad (3)$$

$$= 0,96 + 4,36$$

$$= 5,32 \text{ menit} \approx t_{c\_trial-1} = 5 \text{ menit}$$

- e. Maka gunakan nilai  $i = 185 \text{ mm/jam}$ .

Langkah 5 : Tentukan debit air,  $Q$

$$Q = \frac{0,38}{n} \cdot S^{0,5} \cdot S_x^{1,67} \cdot T^{2,67} \quad (5)$$

$$= \frac{0,38}{0,016} \cdot 0,01^{0,5} \cdot 0,02^{1,67} \cdot 3^{2,67}$$

$$= 0,065 \text{ m}^3/\text{s}$$



Langkah 6 : Tentukan jarak *inlet* pertama,  $L_0$

$$\begin{aligned}
 L_0 &= \frac{3608631 \cdot Q}{C \cdot i \cdot W_p} & (6) \\
 &= \frac{3608631 \cdot 0,065}{0,9 \cdot 185 \cdot 10} \\
 &= 141 \text{ m} < L = 610 \text{ m} & \text{inlet diperlukan}
 \end{aligned}$$

Langkah 7 : Tentukan kecepatan selokan,  $V$

Kecepatan aliran selokan dihitung sesuai dengan Rumus (7).

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{0,757}{n} \cdot S^{0,5} \cdot S_x^{0,67} \cdot T^{0,67} & (7) \\
 &= \frac{0,757}{0,016} \cdot 0,01^{0,5} \cdot 0,02^{0,67} \cdot 3^{0,67} \\
 &= 0,718 \text{ m/s} (2,38 \text{ ft/s})
 \end{aligned}$$

Langkah 8 : Tentukan efisiensi *inlet*,  $E$

Efisiensi *inlet* dihitung menggunakan Rumus (8) dan rasio aliran frontal terhadap aliran selokan dihitung menggunakan Rumus (9).

$$\begin{aligned}
 E_0 &= 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2,67} & (9) \\
 &= 1 - \left(1 - \frac{0,3}{3}\right)^{2,67} \\
 &= 0,25
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 4, *inlet* dengan  $L_g = 0,45 \text{ m}$  ( $1,5 \text{ ft}$ ) dan jenis jeruji *curved vane* memiliki nilai  $V_0 = 4,2 \text{ ft} > V = 2,38 \text{ ft/s}$ . Maka gunakan nilai  $R_f = 1$ .

$$\begin{aligned}
 E &= E_0 \cdot R_f & (8) \\
 &= 0,25 \cdot 1 \\
 &= 0,25
 \end{aligned}$$

Langkah 9 : Tentukan jarak antar *inlet*,  $L_c$

Jarak antar *inlet* dihitung sesuai dengan Rumus (10).

$$\begin{aligned}
 L_c &= L_0 \cdot E & (10) \\
 &= 141 \cdot 0,25 \\
 &= 35,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Misal jarak antar pilar 30 m, gunakan  $L_0 = 120$  m dan  $L_c = 30$  m. Jumlah *inlet* per sisi jembatan menjadi  $(610 - 120)/30 = 16$  buah.

Langkah 10 : Rancang drainase bagian ujung jembatan

Perhitungan laju alir,  $Q$ , dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu :

- Rintangan 0%, artinya seluruh *inlet* jembatan dianggap berfungsi 100% sehingga laju alir pada selokan dianggap sama dengan laju alir pada jembatan dengan sebaran 3 meter,  $Q = 0,065 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Rintangan 50%, artinya seluruh *inlet* jembatan dianggap hanya berfungsi 50% akibat pengaruh sumbatan debu atau sampah lainnya. Kondisi *inlet* yang hanya menerima setengah dari limpasan menyebabkan waktu konsentrasi harus dihitung kembali.

- Proses *trial-and-error* dilakukan kembali untuk mendapatkan waktu konsentrasi yang sesuai.

Waktu konsentrasi limpasan permukaan  $t_0$ , telah dihitung pada Langkah 1(b), yaitu sebesar 0,96 menit.

Trial-1:

$$t_{c\_trial-2} = 9 \text{ menit} ; i_{trial-2} = 160,02 \text{ mm/jam} ; T_{trial-1} = 3,81 \text{ meter}$$

$$t_g = 40334 \cdot \frac{S_x \cdot T^2}{C \cdot i \cdot W_p} = 40334 \cdot \frac{0,02 \cdot 3,81^2}{0,9 \cdot 160,02 \cdot 10,363} = 7,85 \text{ menit}$$

$$t_c = t_0 + t_g = 1,05 + 7,85 = 8,83 \text{ menit}$$

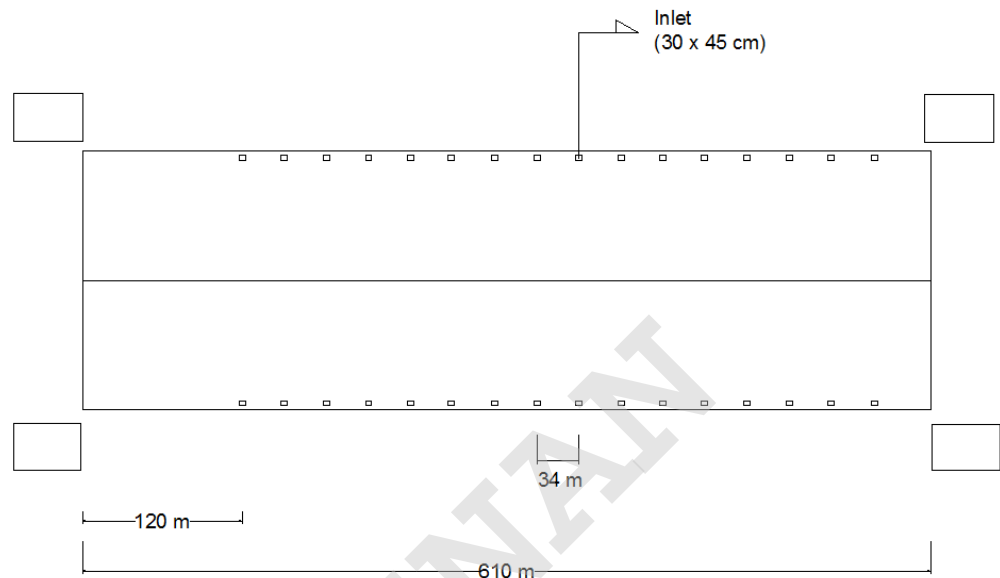
- Hitung kembali laju alir,  $Q$ , untuk bagian ujung jembatan (gunakan  $Q$  dari rumus (6) dikurangi  $Q$  yang sudah melewati *inlet* pada jembatan).

$$L_0 = \frac{3608631 \cdot Q}{C \cdot i \cdot W_p} \quad (6)$$

$$Q = \frac{0,9 \cdot 160,02 \cdot 10 \cdot 610}{3608631} - 50\% \cdot 16 \cdot 0,25 \cdot 0,065 = 0,113 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Dengan pendekatan ini dianggap 50% *inlet* dalam keadaan tersumbat, laju alir  $Q = 0,113 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan sebaran pada ujung jembatan adalah sebesar  $T = 3,89 \text{ m}$  (berdasarkan pemeriksaan ulang terhadap rumus 5 dan hal ini menunjukkan nilai  $T_{trial-1} = 3,81 \text{ m}$  cukup mendekati).

- Hitung kembali laju alir (Rumus 6) dan sebaran (gunakan Rumus 5) yang terjadi pada *inlet* pertama untuk  $i = 160,02 \text{ mm/jam}$ . Didapat  $Q = 0,048 \text{ m}^3/\text{s}$  dan nilai  $T = 2,82 \text{ m}$ . Sehingga diketahui bahwa sebaran pada *inlet* jembatan sebesar 2,82 m hingga 3,89 m.

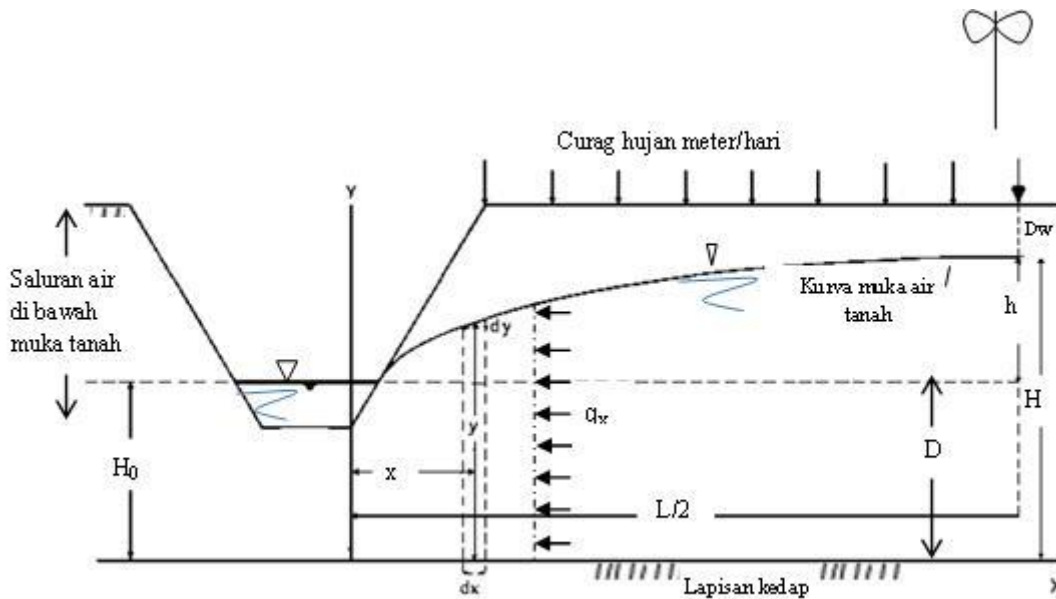


**Gambar B.2- Tampak atas lokasi *inlet* pada jembatan**

## A.6 Pedesain drainase polder

### A.6.1 Contoh 1: Perhitungan lebar badan jalan

Tentukan jarak antara dua saluran atau lebar badan jalan, sehingga muka airtanah tetap 40cm di bawah permukaan dengan debit 7mm / hari. Konduktivitas adalah 1m / hari, lapisan D adalah 5m, dan radius pembuangan 0,04m. Saluran air terletak 1 m di bawah permukaan tanah.



Olivier Hoes, March 2015

Jawaban :

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot D \cdot h + 4 \cdot k \cdot h}{q}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 1 \cdot d \cdot (1-4) + 4 \cdot (1-0,4)}{\frac{7}{1000}}} = \sqrt{686 \cdot d + 343}$$

Rumus ini hanya dapat diselesaikan secara iteratif karena kedalaman ekuivalen  $d$  bergantung pada jarak  $L$ .

Asumsi pertama  $L = 50$  m

$$x = \frac{2 \pi D}{L} = \frac{10 \cdot \pi}{50} = 0,63$$

$$F(x) = \frac{\pi^2}{4 \cdot x} + \ln\left(\frac{x}{2 \pi}\right) = \frac{\pi^2}{4 \cdot 0,63} \ln\left(\frac{0,63}{2 \cdot \pi}\right) = 1,62$$

$$d = \frac{\frac{\pi L}{8}}{\ln\left(\frac{L}{\pi r_0}\right) + F(x)} = \frac{\frac{\pi 50}{8}}{\ln\left(\frac{50}{\pi 0,04}\right) + 1,2} = 2,58 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{685 \cdot 2,58 + 343} = 46 \text{ m}$$

Asumsi pertama  $L = 46$  m

$$x = \frac{2 \pi D}{L} = \frac{10 \cdot \pi}{45} = 0,70$$

$$F(x) = \frac{\pi^2}{4 \cdot x} + \ln\left(\frac{x}{2 \pi}\right) = \frac{\pi^2}{4 \cdot 0,63} \ln\left(\frac{0,70}{2 \cdot \pi}\right) = 1,35$$

$$d = \frac{\frac{\pi L}{8}}{\ln\left(\frac{L}{\pi r_0}\right) + F(x)} = \frac{\frac{\pi 50}{8}}{\ln\left(\frac{50}{\pi 0,04}\right) + 1,35} = 2,45 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{685 \cdot 2,45 + 343} = 45 \text{ m}$$

Denga  $L = 45 \text{ m}$ , atau lebar badan jalan tersebut bisa diterima, karena adanya ketidakpastian dalam penetapan nilai  $k$  dan  $D$ .

### A.6.2 Contoh 2: Perhitungan lebar badan jalan

Formula Ernst.

Asumsikan profil dua lapis dengan drainase di lapisan atas. Tentukan jarak antara dua saluran air, sehingga tinggi muka air tanah tetap 40 cm di bawah permukaan dengan debit ( $Q$ ) = 7mm/hari. Saluran air terletak 1,5 m di bawah permukaan tanah.  $K_t$  konduktivitas 0,5 m/hari, lapisan atas  $D$  adalah 2 m.  $K_b$  bawah konduktivitas adalah 2 m/hari, lapisan bawah  $D$  adalah 4 m, garis keliling basah adalah 0,3 m.

Jawaban :

$$\frac{k_{\text{bawah}}}{k_{\text{atas}}} = \frac{2}{0,5} = 4 \quad \text{dan} \quad \frac{D_{\text{bawah}}}{D_{\text{atas}}} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow a = 3,4$$

$$D1 = D0 + 0,5 \text{ m} = (2 - 1,5) + 0,5 (1,5 - 0,4) = 1,05 \text{ m}$$

$$\sum (k D)_{\text{hor}} = k1 D1 + k2 D2 = 0,5 \cdot 1,5 + 2 \cdot 4 = 8,52 \text{ m}^2 / \text{d}$$

$$h = h_{\text{vert}} + h_{\text{hor}} + h_{\text{red}} = \frac{q D_{\text{vert}}}{k_{\text{vert}}} + \frac{q L^2}{8 \sum (k D)_{\text{or}}} + \frac{q l}{\pi k_{\text{rad}}} \ln \frac{a \cdot D_{\text{rad}}}{u}$$

$$\frac{h}{q} = \frac{1,1}{0,007} = \frac{1,1}{0,5} + \frac{L^2}{8 \cdot 8,5} + \frac{L}{\pi \cdot 0,5} \ln \frac{3,4 \cdot 0,5}{0,3}$$

$$157 = 2,2 + 0,015 \cdot L^2 + 1,1 \cdot L \rightarrow L = \frac{-1,1 + \sqrt{1,1^2 - 4 \cdot 0,015 \cdot -155}}{2 \cdot 0,015} = 72 \text{ m}$$

### A.6.3 Contoh 3: Perhitungan Debit Banjir Hidrograf Satuan Sintetis

Penentuan debit banjir rencana akan dilakukan dengan empat metoda yaitu HSS Cara ITB-1 dan ITB-2, SCS, Nakayasu dan Gama-1. Penggunaan keempat metoda tersebut akan ditujukan melalui sejumlah contoh perhitungan sebagai berikut.

- 1) Perhitungan hidrograph banjir untuk DAS berukuran besar
- 2) Perhitungan hidrograph banjir untuk DAS berukuran sedang
- 3) Perhitungan hidrograph banjir untuk DAS berukuran kecil

Data untuk perhitungan 1) diambil dari literatur sedangkan contoh 2 s/d 3) diambil dari Buku Manual Hidrolika Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan No:01-4/BM/2005.

#### 1) Hasil Perhitungan Hidrograph Banjir Untuk DAS Berukuran Besar

Sebagai contoh hidrograph banjir DAS berukuran besar, akan dilakukan perhitungan hidrograph banjir DAS Ciliwung Hulu di Bendung Katulampa keempat metoda diatas. Sungai Ciliwung di lokasi ini mempunyai luas DAS 149.230 km<sup>2</sup> dan panjang sungai diperkirakan 24.460 km. Tutupan lahan dianggap memiliki

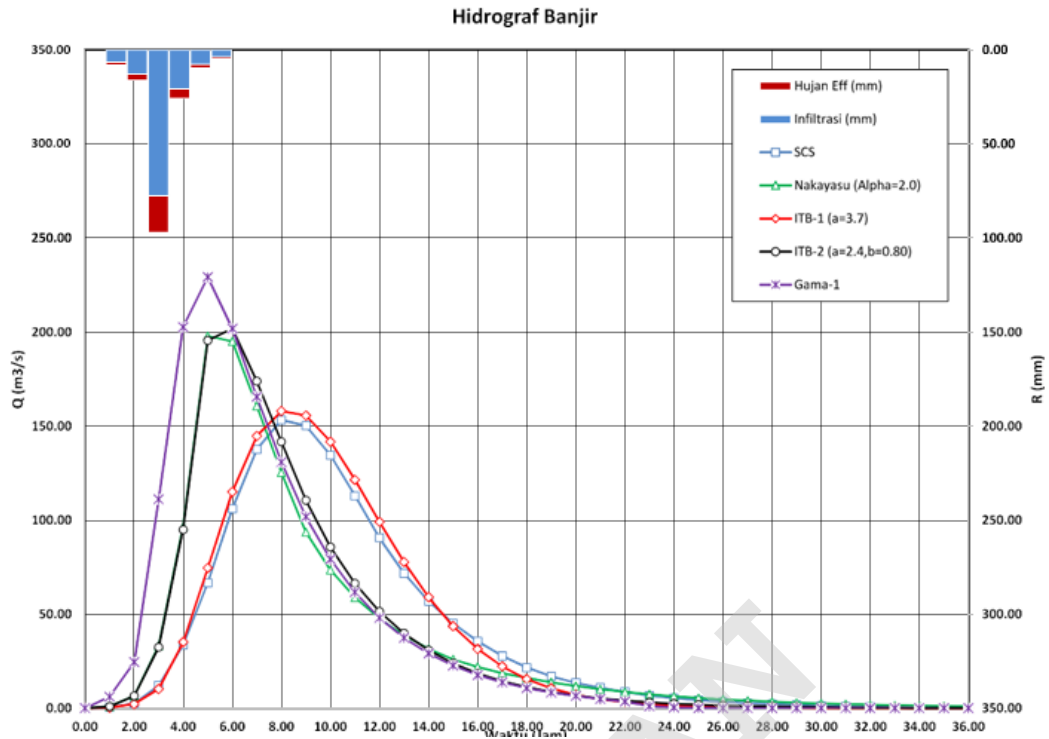
harga C bervariasi dengan harga C *composite* 0.2 sehingga hujan efektif hanya 20% dari hujan total.

Perhitungan hidrogram banjir dilakukan dengan HSS Cara ITB-1 dan ITB-2, SCS dan Nakayasu. Cara Gama-1 tidak dimasukkan karena data-data yang dibutuhkan untuk DAS sedang tersebut tidak tersedia. Curah hujan rencana dihitung dengan metode Gumbel dan hujan rencana untuk periode ulang 10 tahunan sebesar 160.6 mm yang didistribusi 6 jam dengan durasi 1 jam dan hasilnya ditunjukkan pada **Tabel A.6.1**.

**Tabel A.6.1** : Distribusi Hujan Efektif Kasus DAS Besar

Jam	R (mm)	Infil (mm)	Reff (mm)
0	0.000	0.000	0.000
1.00	8.076	6.461	1.615
2.00	16.152	12.922	3.230
3.00	96.915	77.532	19.383
4.00	25.844	20.675	5.169
5.00	9.691	7.753	1.938
6.00	4.846	3.877	0.969
Total	161.524	129.219	32.305
		80.00%	20.00%

Perhitungan Hidrogram banjir dilakukan dengan bentuk dasar HSS Cara ITB-1 dan ITB-2, SCS dan Nakayasu. Setelah melalui proses superposisi hidrogram hanya memperhitungkan distribusi hujan efektif (warna merah) didapat hasil seperti ditunjukkan pada Gambar A.6.1. Harga infiltrasi (warna biru) hanya untuk menunjukkan besarnya hujan yang meresap yaitu sebesar 80% dari hujan total.

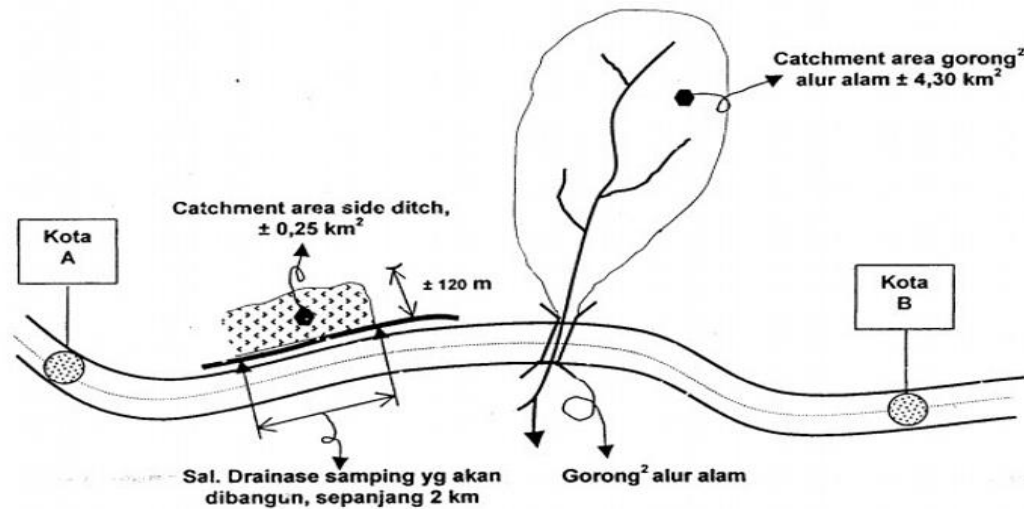


**Gambar A.6.1** : Hidrograf Banjir DAS Ciliwung Hasil Superposisi Hidrograf

## 2) Hasil Perhitungan Hidrograph Banjir Untuk DAS Berukuran Sedang

Sebagai contoh Hidrograf banjir DAS berukuran sedang, dilakukan perhitungan hidrograf banjir dari DAS dalam Buku Manual Hidrolika Untuk Pekerjaan Jalan Dan Jembatan, No:01-4/BM/2005, BUKU 4 LAMPIRAN. Di halaman 1-1 seperti ditunjukkan pada Gambar A.6.2.

DAS pada Gambar A.6.2 tersebut mempunyai luas DAS 4.3 km<sup>2</sup> dan panjang sungai L=8.0 km dan koef pengaliran C=0.2. Perhitungan hidrograf banjir dilakukan dengan HSS Cara ITB-1 dan ITB-2, SCS dan Nakayasu. Cara Gama-1 tidak dimasukkan karena data-data yang dibutuhkan untuk DAS sedang tersebut pada contoh tersebut tidak tersedia. Curah hujan rencana dihitung dengan metoda Gumber dan hujan rencana untuk periode ulang 10 tahunan sebesar 160.64 mm.



**Gambar A.6.2 :** Contoh Kasus Untuk DAS Berukuran Sedang

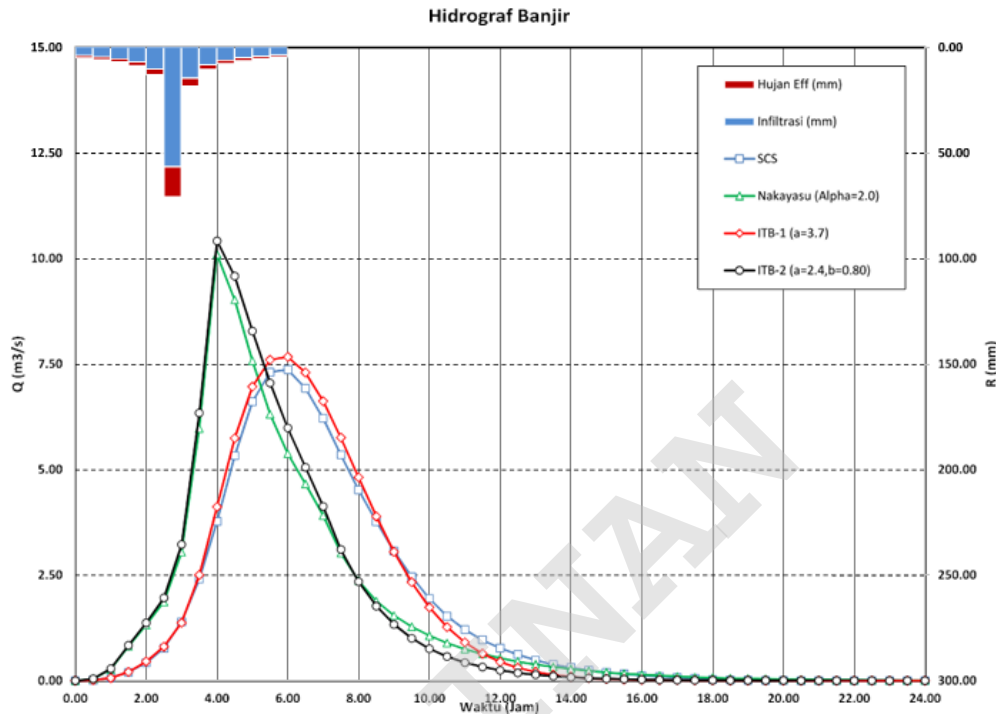
Banjir terjadi di DAS tersebut akibat hujan efektif pada Tabel A.6.2 (Interval  $\frac{1}{2}$  jam). Setelah melalui proses superposisi hidrograf hanya memperhitungkan distribusi hujan efektif (warna merah) didapat hasil seperti ditunjukkan pada Gambar A.6.3. Harga infiltrasi (warna biru) hanya untuk menunjukkan infiltrasi sebesar 80% dari hujan total. Sebagai perbandingan hasil, debit banjir yang dihitung dengan cara rasional weduwen adalah  $Q = 8.120 \text{ m}^3/\text{s}$ , sedangkan debit banjir dengan cara HSS berkisar antara  $Q = 7.368 \text{ m}^3/\text{s}$  (cara SCS) s/d  $Q = 10.416 \text{ m}^3/\text{s}$  (cara ITB-2).

**Tabel A.6.2:** Distribusi Hujan Efektif Untuk DAS Berukuran Sedang

Jam	R (mm)	Infil (mm)	Reff (mm)
0	0.000	0.000	0.000
0.50	3.230	2.584	0.646
1.00	3.230	2.584	0.646
1.50	4.846	3.877	0.969
2.00	8.076	6.461	1.615
2.50	14.537	11.630	2.907
3.00	72.686	58.149	14.537
3.50	24.229	19.383	4.846
4.00	11.307	9.045	2.261
4.50	8.076	6.461	1.615
5.00	4.846	3.877	0.969
5.50	4.846	3.877	0.969



Jam	R (mm)	Infil (mm)	Reff (mm)
6.00	1.615	1.292	0.323
Total	161.524	129.219	32.305
		80.00%	20.00%



**Gambar A.6.3** : Hidrograf Banjir DAS Sedang Luas DAS 4.3 km<sup>2</sup> dan L=8 km.

### 3) Hasil Perhitungan Hidrograf Banjir Untuk DAS Berukuran Kecil

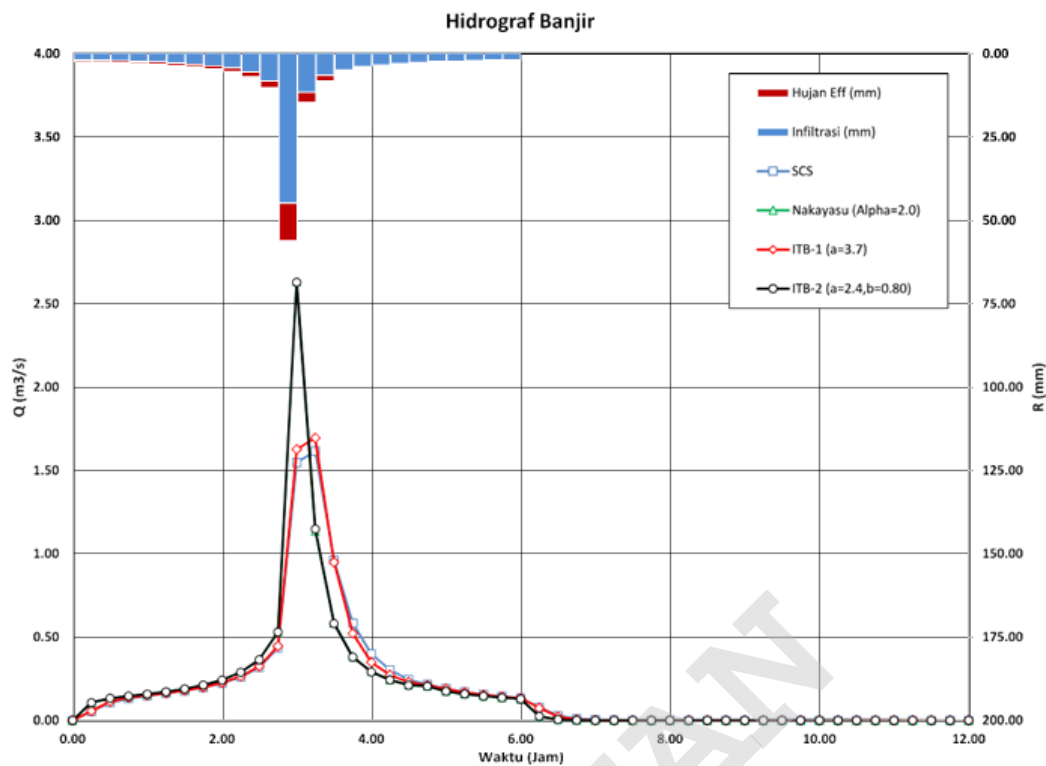
Sebagai contoh hidrograf banjir DAS berukuran sedang, dilakukan perhitungan hidrograf banjir dari DAS seperti ditunjukkan pada Gambar A.6.3. Dalam kasus ini luas DAS 0.250 km<sup>2</sup> dan panjang sungai L=0.120 km dan koefisien pengaliran C=0.2, curah hujan rencana 160.64 mm. Perhitungan dilakukan dengan HSS Cara ITB-1 dan ITB-2, SCS dan Nakayasu dengan hujan efektif pada Tabel A.6.3 (interval ¼ jam). Hasilnya ditunjukkan pada Gambar A.6.4. Debit banjir cara HSS adalah berkisar antara Q = 1.695 m<sup>3</sup>/s (cara SCS) s/d Q = 2.634 m<sup>3</sup>/s (cara ITB-2), sedangkan debit banjir hasil cara rasional weduwen adalah Q = 0.880 m<sup>3</sup>/s.

Catatan : Pada bagian lampiran perhitungan akan ditunjukkan bahwa selisih antara Kp exact dan numerik HSS ITB-2 untuk kasus ini adalah 30.7% artinya interval ¼ jam ini terlalu besar karena harga  $t_p=0.1190$  jam. Namun hasil volume dan tinggi limpasan tetap akurat, karena kurva yang digunakan adalah kurva

numerik. Contoh ini menunjukkan kelebihan perhitungan numerik dibanding exact pada saat interval waktu mengecil. Hal ini akan dijelaskan dalam lembaran perhitungan.

**Tabel A.6.3** : Distribusi Hujan Efektif Untuk DAS Berukuran Sedang

Jam	R (mm)	Infil (mm)	Reff (mm)
0.00	0.000	0.000	0.000
0.25	2.342	1.874	0.468
0.50	2.492	1.994	0.498
0.75	2.669	2.135	0.534
1.00	2.880	2.304	0.576
1.25	3.140	2.512	0.628
1.50	3.467	2.773	0.693
1.75	3.894	3.115	0.779
2.00	4.484	3.588	0.897
2.25	5.365	4.292	1.073
2.50	6.864	5.491	1.373
2.75	10.210	8.168	2.042
3.00	55.997	44.798	11.199
3.25	14.555	11.644	2.911
3.50	8.128	6.502	1.626
3.75	6.000	4.800	1.200
4.00	4.876	3.900	0.975
4.25	4.163	3.331	0.833
4.50	3.665	2.932	0.733
4.75	3.293	2.634	0.659
5.00	3.003	2.403	0.601
5.25	2.770	2.216	0.554
5.50	2.577	2.061	0.515
5.75	2.414	1.931	0.483
6.00	2.275	1.820	0.455
Total	161.524	129.219	32.305
		80.00%	20.00%



**Gambar A.6.4 :** Hidrograph Banjir DAS Kecil Luas DAS 0.250 km<sup>2</sup> dan L=0.120 km.

#### 4) Reservoir Routing Untuk Perencanaan Polder

Dalam perencanaan polder, diperlukan perhitungan penelusuran banjir melalui reservoir (Reservoir Routing). Hubungan penyimpanan debit digunakan untuk menyelesaikan persamaan kontinuitas secara berulang, setiap solusi merupakan langkah dalam menggambarkan hidrograf outflow. Berikut beberapa variabel yang mempengaruhi dalam perhitungan reservoir routing:

- Karakteristik fisik bangunan air di reservoir (pelimpah, pintu sorong, pompa)
- Kurva hubungan tampungan antara volume terhadap waktu pada reservoir
- Kurva hubungan tampungan antara volume terhadap debit pada reservoir
- Hidrograf aliran masuk (inflow) pada bagian hulu reservoir
- Hidrograf aliran keluar (Outflow) pada bagian hulu reservoir
- Kurva hubungan debit pompa terhadap elevasi pada reservoir

#### 5) Metode Storage Indication

Untuk selang waktu tertentu volume aliran masuk dikurangi volume aliran keluar menjadi perubahan volume tampungan. Persamaan sederhana sebagai berikut:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = I_{(t)} - O_{(t)}$$

Keterangan:

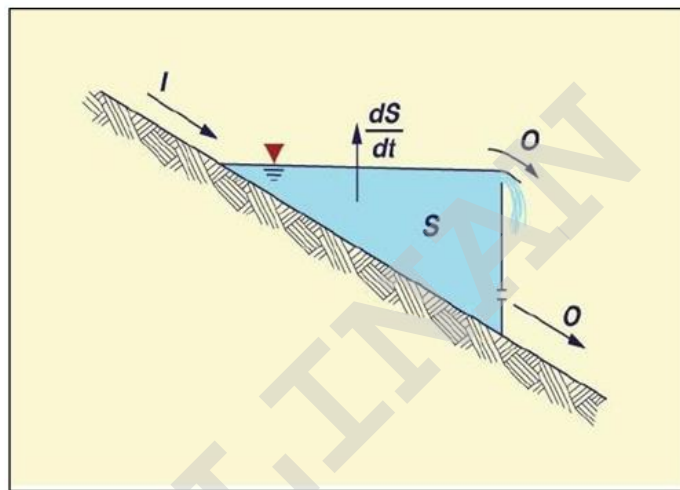
$\Delta S$  = Perubahan volume pada tampungan pada interval waktu tertentu ( $m^3$ )

$\Delta t$  = Interval waktu tertentu (detik)

$I_{(t)}$  = Debit masuk rata-rata pada interval waktu tertentu ( $m^3/detik$ )

$O_{(t)}$  = Debit keluar rata-rata pada interval waktu tertentu ( $m^3/detik$ )

Nilai debit masuk pada saat kondisi awal dan akhir untuk nilai interval waktu  $j$  menjadi bentuk  $I_j$  dan  $I_{j+1}$  dan untuk nilai debit keluar disesuaikan, sehingga menjadi  $O_j$  dan  $O_{j+1}$ . Jika bentuk persamaan debit masuk dan debit keluar dengan interval waktu linear, maka bentuk persamaan untuk perubahan volume tampungan menjadi  $S_j$  dan  $S_{j+1}$



**Gambar A.6.5** : *Storage Indication Method*

Dari bentuk persamaan umumnya menjadi seperti berikut:

$$S_{n+1} - S_n = \frac{I_n + I_{n+1}}{2} \Delta t - \frac{O_n + O_{n+1}}{2} \Delta t$$

Atau

$$\frac{2S_{n+1}}{\Delta t} + O_{n+1} = (I_n + I_{n+1}) + \left( \frac{2S_n}{\Delta t} - O_n \right)$$

Berikut adalah contoh tahap-tahap perhitungan menggunakan metode storage indication untuk reservoir routing:

#### 6) Metode Runge-Kutta

Metode Runge-Kutta merupakan salah satu metode solusi persamaan diferensial biasa (PDB) dengan ketelitian yang lebih tinggi dan kelebihan metode ini adalah dapat memperoleh solusi dengan menggunakan nilai-nilai fungsi dari titik-titik sembarang yang dipilih pada suatu interval bagian.

Berikut adalah persamaan untuk hubungan antara inflow, outflow dan storage:

$$I(t) - Q(S(t)) = \frac{dS}{dt}$$

Keterangan:

$I(t)$  = Model *Inflow*

$Q(S(t))$  = Model *Outflow*

$dS$  = Model *Storage*

Model *Outflow*  $Q(S(t))$  bertransformasi menjadi fungsi dari perubahan kedalaman sehingga  $Q(S(t)) = Q(H)$ . Model *Storage*  $dS$  bertransformasi menjadi fungsi  $A(H) dH$ . Sehingga persamaan untuk hubungan antara inflow, outflow dan storage bertransformasi menjadi:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{I(t) - Q(H)}{A(H)}$$

Dan fungsi persamaan diferensial biasa didefinisikan dalam bentuk fungsi  $f(t_i, H_i)$ , sehingga bentuk persamaan diferensial biasa metode Runge-Kutta Orde-4 (RK4) menjadi sebagai berikut:

$$k_1 = \frac{I(t) - Q(H)}{A(H)}$$

$$k_2 = \frac{I\left(t_i + \frac{1}{2}\Delta t\right) - Q\left(H_i + \frac{1}{2}k_1\Delta t\right)}{A\left(H_i + \frac{1}{2}k_1\Delta t\right)}$$

$$k_3 = \frac{I\left(t_i + \frac{1}{2}\Delta t\right) - Q\left(H_i + \frac{1}{2}k_2\Delta t\right)}{A\left(H_i + \frac{1}{2}k_2\Delta t\right)}$$

$$k_4 = \frac{I(t_i + \Delta t) - Q(H_i + k_3\Delta t)}{A(H_i + k_3\Delta t)}$$

$$y_{r+1} = y_r + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

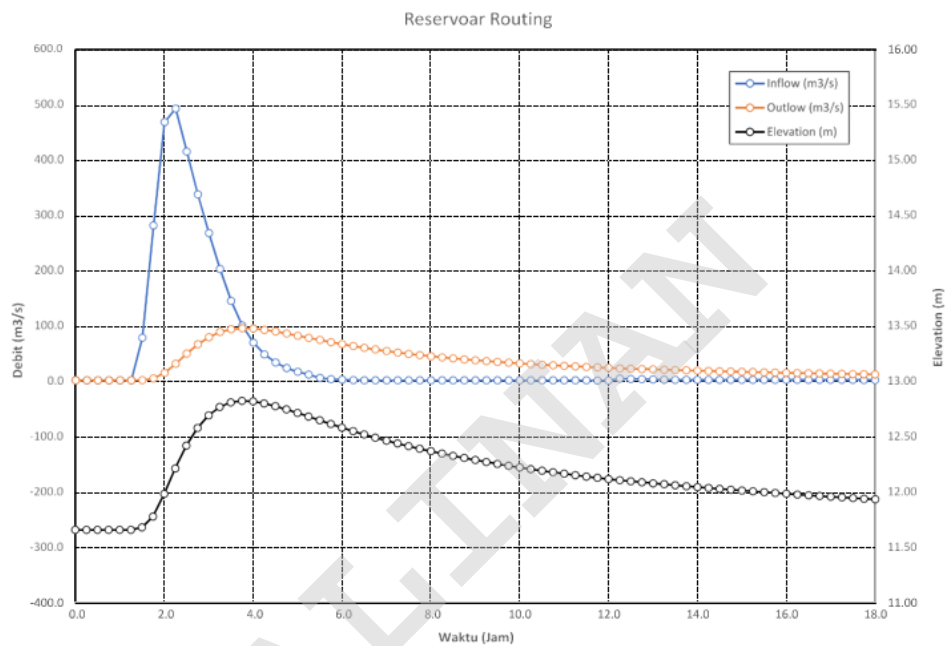
Dilihat dari fungsi  $f(t_i, H_i)$  sehingga data yang diperlukan antara lain adalah:

- 1) Hidrograf banjir rencana yang masuk ke dalam reservoir (*Inflow*)
- 2) Hubungan antara elevasi (h) terhadap luas genangan (A)
- 3) Parameter-parameter hidraulik bangunan pengeluaran air dari reservoir. Contoh *spillway*, maka dibutuhkan parameter-parameter seperti, C = koefisien pelimpah, L = lebar mercu, H = tinggi muka air diatas mercu.

## 7) Contoh Penggunaan

Contoh perhitungan penelusuran banjir menggunakan metode Storage Indication dan Runge-Kutta. Inflow hidrograf banjir yang dihitung pada contoh terdahulu yaitu untuk DAS berukuran sedang.

Volume tampung polder dan kapasitas pelimpah serta pompa diberikan. Contoh hasil perhitungan penelusuran banjir melalui suatu bendungan ditunjukkan pada Gambar A.6.6. Dengan cara yang sama dapat dilakukan penelusuran banjir melalui polder dengan DAS yang tidak terlalu besar.



Gambar A.6.6 : Storage Indication Method Untuk Bendungan

## Bibliografi

1. Ardiyana, M., Bisri, M., & Sumiadi. (2016). Studi Penerapan Ecodrain Pada Sistem Drainase Perkotaan (Studi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 295-309.
2. Arsyad, S. (2006). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
3. Asnawi, M. (2007). *Tinjauan Aspek Teknis Sumur Resapan Sebagai Dasar Kebijakan Pengaturan Penerapan Sistem Subsidi Silang Di Wilayah Hulu*. Depok: UI.
4. Department of Irrigation and Drainage (DID), Urban Stormwater Management Manual Copyright © 2012 Second Printing August, by Malaysia Kuala Lumpur, Malaysia.
5. Departemen Pekerjaan Umum, Pedoman T-02-2006-B, Perencanaan Sistem Drainase Jalan, 2006.
6. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Manual N0 01-1/BM/2005, Hdrolika untuk pekerjaan jalan dan Jembatan, 2005.
7. *Department of Public Work and Highways, DPWH, 1984.*
8. Departmet of transport and main roads, queensland Government, Category 3: Roadwork, drainage, culvert and geotechnical, DTMR, 2010.
9. Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementrian Pekerjaan Umum, Materi Bidang Drainase, Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikan Bidang PLP, Maret 2013.
10. Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No 12, Third Editian, U.S. Department of Transportation, Publication No. FHWA-NHI-06-086 July 2006.
11. Frank L. Johnson and Fred F.M. Chang (1984). *Drainage of Highway Pavements*, Federal Highway Administration, HEC No. 12 FHWA-TS-84-202.
12. Government of Malaysia Departemen of Irrigation and Drainage, Urban Stormwater Management Manual, and Editiaon MSMA 2, August 2012.
13. Hydraulic Design Series Number 5 – Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA, 2005.
14. Kamiana, I Made, Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Yogyakarta : Graha Ilmu. 2011.
15. Kementrian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Pedoman No 05/BM/2013, Pedesain Drainase Jalan Perkotaan, 2013.
16. Kementrian PUPR, Direktorat Jenderal Bina Marga dan KIAT, Naskah Ilmiah untuk Melengkapi Pedoman Perencanaan Drainase jalan, Desember 2019.
17. Kertadikara, D. S. (2007). *Kajian Awal Penerapan Konsep LID dan Integrated Management Practices (IMP) Pada Pengelolaan Limpasan Hujan di Kawasan Perkotaan yang sudah berkembang*. Depok: Center Fewer FTUI.

18. Loebis, J, Banjir Rencana untuk Bangunan Air, Direktorat Penyelidikan masalah Air, Dept. Pekerjaan Umum, 1984.
19. National Cooperative Highway Research Program. *LID Design Manual*. Washington DC: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2002.
20. Pedoman drainase jalan raya, american assosiation of State Highway and Transportation Officials, 1995.
21. Peraturan Menteri Pekerjaan Umumn, No 12/PRT/M/2014, tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan.
22. Prince George's County. (1999). *LID Design Strategies, An Integrated Design Approach*. Maryland: Departement of Enviromental Resources.
23. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Modul Pedesain Drainase jalan, Kementrian Pekerjaan Umum, Balitbang-Puslitbang Jalan danJembatan, 2013.
24. *Queensland Urban Drainage Manual (QUDM), assists engineers and stormwater designers in the planning, design and management of urban stormwater drainage systems.2013.*
25. *Road Drainage Design Manual, Queensland Government, Department of Main Road, Edisi Juni 2002.*
26. *Highways Departement, Subsoil Drainage for Road Pavements, Research & Development Division RD/GN/043, October 2014.*
27. *Guide To Road Design Part 5, Drainage Design, Austroads 2008*
28. *Anomim, 2010, Drainage of Highway Pavement, WSDOT Hydraulic Manual, pp: 5-1 - 5- 26.*
29. *Road Drainage Chapter 11: Road Surface and Subsurface Drainage Design September 2019.*
30. Wendy L. Allen December 1991, Subsurface Drainage of Pavement Structures Current Corps of Engineers and Industry Practice.
31. Soemarto, C.D., Hidrologi Teknik, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
32. Mulyono, Tri, Jalan Raya 2: Modul 1 - Perencanaan Drainase Jalan, Transportasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, (2015).
33. Dedi Kusnadi Kalsim, 2002. Teknik Drainase Bawah Permukaan untuk Pengembangan Lahan Pertanian: Bahan Kuliah TEP 423 Desain Irigasi Gravitasi dan Drainase. Laboratorium Teknik Tanah dan Air, FATETA, IPB.
34. Urban Storm Drainage Criteria Manual Volume 1 and 2, Urban Storm Drainage Criteria Manual (USDCM), January 2016.



35. I Ketut Suputra, Perhitungan Intensitas Hujan Berdasarkan Data Curah Hujan di Kota Denpasar. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar 2017.
36. Agus Suharyanto, Dean Street Inlet Berdasarkan Geometrik Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
37. Urban Stormwater Management Manual for Malaysia, Desember 2017.
38. Arika Dario J. Canelon John L. *Subsurface Drainage Manual for Pavements in Minnesota Final Report Prepared by Caleb N. Nieber Department of Bioproducts and Biosystems Engineering University of Minnesota June 2009.*
39. Dr.ir. H.P. Ritzema, Wageningen University Wageningen The Netherlands Wageningen, June 2014.
40. *Technical Note 6 under Chapter 6 of the Report on Strengthening Resilience for Road and Bridge Infrastructure in Indonesia. The World Bank, 2020.*

SALINAN

### Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

Pemrakarsa	<i>Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Pembangunan Jalan, Sub-Direktorat Geometrik, Perkerasan, dan Drainase Jalan.</i>	
Koordinator	<i>Ka. Sub-Direktorat Geometrik, Perkerasan, dan Drainase Jalan Ir. Beni Fariati Handayani Mrih Rahayu, MT</i>	
Pereviu	<i>Ir. Soedarmadji Kusno, M.Eng,Sc Ir. Purnomo</i>	<i>Narasumber Ahli Teknik Jalan</i>
Pembahas	<i>Dr. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc Rulia Kusdiwati, ST., MT Rina Kumala Sari, ST, MT</i>	<i>Direktorat Jenderal Bina Marga</i>
	<i>Ir. Sugeng Gunadi Ir. Singgih Karyawan P, M.Sc Ir. Hary Laksmento, M.Eng.Sc Ir. Adi Soelistijo, M.Sc.Eng</i>	<i>Narasumber Direktorat Jenderal Bina Marga</i>
	<i>Ir. Erwin Kusnandar Drs. Gugun Gunawan, M.Sc</i>	<i>Narasumber Peneliti Jalan</i>
	<i>Ir. Dantje Kardana N, ST, M.Sc., PhD Masrur Alatas, ST., M.Eng</i>	<i>Narasumber Akademisi</i>
	<i>Prof. Dr. Kemas Ahmad Zamhari, M.Sc Ir. Idrus Masyhur Ir. Yayan Suryana, M.Eng, Sc Ir. Victor Taufik</i>	<i>KIAT</i>
	<i>Steven Bresnan Edward Malcom James</i>	<i>Indii AC82700 Authors</i>
	<i>Dr. Diyanti, S.T., M.T. Ir. Agus Wardono</i>	<i>Narasumber Praktisi</i>