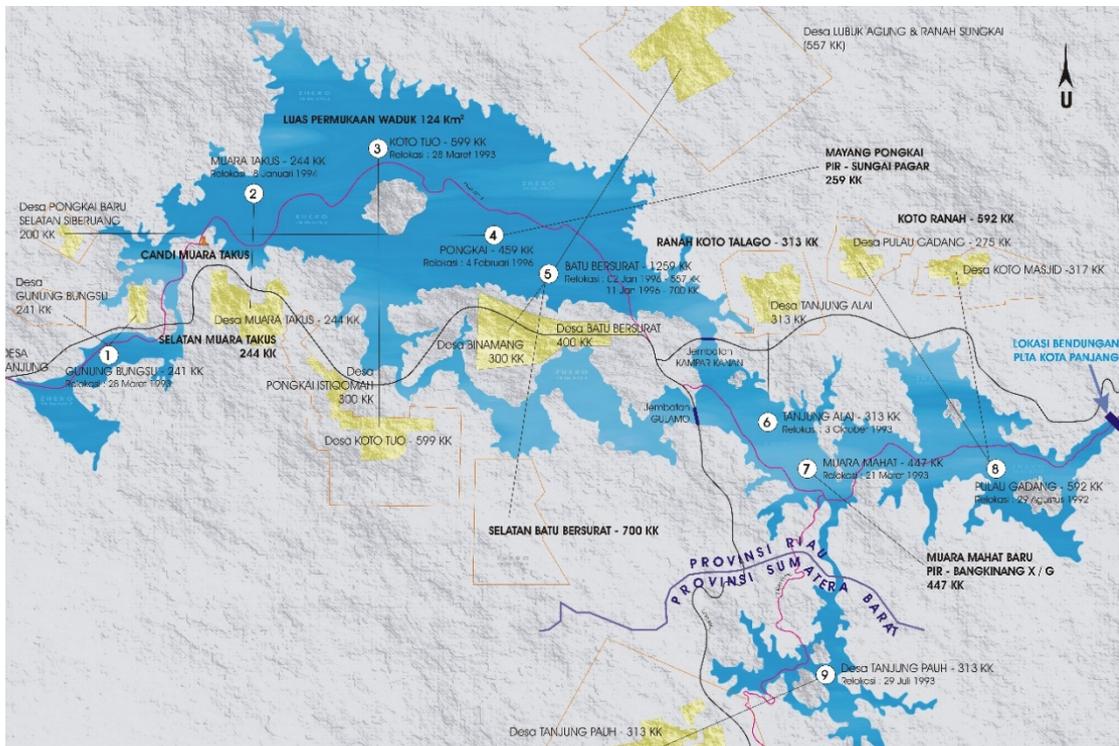


Laporan Pendukung Aspek Hidrologi dan Hidraulika Percandian Muara Takus



Tahun Anggaran 2024

disusun oleh [Ir.Djoko Luknanto M.Sc., Ph.D.](#)

Daftar Isi

Konsep Perancangan Drainasi Kawasan Percandian Muara Takus.....	6
Data Elevasi Waduk PLTA Koto Panjang	6
Kriteria Perancangan	6
Halaman Utama Candi.....	7
Sepanjang Tanggul Kuno	7
Temuan Baru Struktur Kuno.....	7
Alur Alam S. Umpamo	8
Kawasan Sekitarnya.....	8
Tebing Sungai Kampar	8
Sumur Resapan	9
Beberapa Fakta Penting dari Laporan Perlindungan Candi Muara Takus	9
Stabilitas Lereng Tebing Sungai Kampar Kanan	9
Konsolidasi Tanah di Sekitar Bangunan Candi	9
Perancangan Elevasi Muka Air Waduk PLTA Koto Panjang.....	9
Kondisi Geologis dan Mekanika Tanah	9
Laporan PLN TEPSCO Perlindungan Candi Muara Takus	10
1. Umum	10
2. Perlindungan Tebing Sungai	11
2.1 Kawasan Perlindungan dan Metode.....	11
2.2 Stabilitas Lereng Tebing Sungai	11
3. Konsolidasi Tanah di Sekitar Bangunan Candi	13
Hasil Analisis Rembesan	15
3.1 Analisis Rembesan Pondasi Candi.....	15
Gambar-gambar dari Lampiran	29
Candi Muara Takus dan Waduk PLTA Koto Panjang	42
Latar Belakang.....	42
Deskripsi Candi Muara Takus.....	42
1. Tanggul Kuno.....	42
2. Pagar Keliling Candi	43
3. Candi Tuo	43
4. Candi Bungsu.....	43
5. Candi Mahligai.....	43
6. Candi Palangka	46
7. Bangunan I.....	46
8. Bangunan II.....	46
9. Bangunan III.....	46
Pengaruh Genangan Terhadap Kelestarian Candi.....	47
Pembahasan.....	47
Penanggulangan Dampak	49
Kondisi Situs Setelah Waduk Kotopanjang Digenangi	49

Kesimpulan.....	49
PLTA Koto Panjang.....	52
Sejarah Berdirinya PLTA Kota Panjang.....	52
Deskripsi Proyek.....	52
Jadwal Pembangunan.....	52
Sumber Dana.....	53
Kegiatan PLTA Kota Panjang.....	53
Kegiatan dan Kondisi Perusahaan Secara Umum.....	53
Struktur Organisasi PLTA Kota Panjang.....	57
Referensi Lengkap Drainasi Percandian Muara Takus.....	57
Elevasi Normal dan Maksimum Waduk.....	57
1. Elevasi Normal Waduk.....	57
2. Elevasi Maksimum Waduk.....	57
Elevasi Maksimum Waduk dan Banjir Maksimum.....	58
1. Pengaruh Kerusakan Tata Guna Lahan di Hulu.....	58
2. Dampak Terhadap Elevasi Maksimum Waduk.....	59
3. Upaya Mitigasi.....	59
Kesimpulan.....	59
Langkah Perancangan Drainasi.....	59
1. Identifikasi dan Survei Lokasi.....	60
2. Analisis Curah Hujan dan Limpasan (Runoff).....	60
3. Pemilihan Sistem Drainasi.....	60
4. Perancangan Komponen Drainasi.....	60
5. Simulasi dan Uji Sistem Drainasi.....	61
6. Penerapan Sistem Drainasi Berkelanjutan.....	61
7. Perawatan dan Pemeliharaan Rutin.....	61
Ringkasan.....	61
Pelbagai Permasalahan Umum Drainasi dan Tanggul.....	61
Prosedur Hitungan Mekanika Tanah Stabilitas Lereng.....	61
1. Pengumpulan Data Awal.....	61
2. Penentuan Bidang Longsor.....	62
3. Analisis Stabilitas.....	62
4. Perhitungan Manual (Contoh Sederhana).....	62
Perangkat Lunak.....	63
1. GeoStudio (Slope/W).....	63
2. Plaxis.....	63
3. Slide2/Slide3 (Rocscience).....	63
4. FLAC/FLAC3D.....	63
5. MIDAS GTS NX.....	64
6. RSTAB atau RFEM (Dlubal Software).....	64
7. OpenSees.....	64
Pilihan Tergantung Kebutuhan:.....	64

Pertimbangan Tanggul Kuno di Candi Muara Takus	64
1. Kondisi Tanah dan Usia Tanggul	64
2. Pengaruh Air Tanah	65
3. Tujuan Konservasi	65
4. Faktor Geometri Lereng	65
5. Beban Tambahan.....	65
Pendekatan yang Disarankan	65
Kesimpulan.....	65
Penyelidikan Mekanika Tanah.....	65
1. Penyelidikan Tanah Permukaan	66
2. Pengujian Stabilitas Lereng.....	66
3. Analisis Konsolidasi Tanah	66
4. Uji Kuat Geser Tanah	66
5. Pengujian Hidrologi Tanah.....	67
6. Pengujian Dinamika Tanah	67
7. Pemetaan Topografi dan Geoteknik.....	67
8. Analisis Kesesuaian Struktur.....	67
Perlindungan tebing sungai (luar negeri dan dalam negeri).....	67
1. Metode Internasional.....	68
2. Metode di Indonesia	68
Rangkuman Keuntungan dan Kekurangan.....	68
Erosi dan sedimentasi tebing sungai di sekitar belokan	69
Penggunaan gabion maccaferi untuk perkuatan tebing sungai.....	70
Fungsi utama sumur resapan	71
Sumur resapan sama sekali bukan solusi pengendalian banjir	71
Fungsi utama biopori	72
SNI yang dikeluarkan oleh PUPR tentang drainasi.....	72
Situs web PUPR tentang SNI Drainasi	73
Drainasi Kawasan untuk bangunan arkeologis yang dikelilingi badan air	74
1. Desain Drainasi yang Efektif dan Ramah Situs:.....	74
2. Perawatan Badan Air Sekitar:	74
3. Penggunaan Material Lokal dan Metode Tradisional:	74
4. Pemantauan dan Penelitian Berkala:.....	74
5. Restorasi dan Perbaikan:	74
Drainasi Kawasan situs di Muara Takus dan Muara Jambi	75
1. Restorasi dan Pengelolaan Saluran Air Alami:	75
2. Perbaikan Drainasi Tradisional dan Kolam Retensi:.....	75
3. Pemantauan Tingkat Air Tanah dan Drainasi yang Ditingkatkan:	75
4. Pengelolaan Vegetasi:	75
5. Peningkatan Infrastruktur Drainasi Modern yang Ramah Situs:	75
Drainasi Kawasan Candi Muara Takus dan Waduk PLTA Koto Panjang	76
1. Penguatan dan Stabilitas Tanah:	76
3. Pembuatan Kanal atau Parit untuk Mengalihkan Limpasan Air:.....	76

4. Pemantauan Tingkat Air Tanah secara Berkala:	76
5. Vegetasi Penyerapan Air:	76

Daftar Tabel

Tabel 1 Kondisi Tanah	12
Tabel 2 Hasil Analisis Rembesan.....	22

Daftar Gambar

Gambar 1 Posisi Analisis Rembesan (Potongan A)	14
Gambar 2 Potongan Lintang Analisis Stabilitas Tebing Sungai	15
Gambar 3 Log Pemboran Tanah di Muara Takus.....	16
Gambar 4 Hitungan Stabilitas Kasus 1 (Kondisi paling kritis sebelum pengisian waduk)	16
Gambar 5 Hitungan Stabilitas Kasus 2 (Kondisi paling kritis setelah pengisian waduk).	17
Gambar 6 Hasil Hitungan <i>Slip Circle</i>	17
Gambar 7 Posisi Analisis Rembesan (Potongan B).....	18
Gambar 8 Posisi Analisis Rembesan (Tampang Lintang)	19
Gambar 9 Tampang dari Analisis Rembesan	20
Gambar 10 Permeabilitas Tanah Fondasi Muara Takus (Nilai Lugeon).....	21
Gambar 11 Model Analisis Rembesan.....	23
Gambar 12 Kasus 1 Tanpa Perlindungan	24
Gambar 13 Kasus 2 Konsolidasi dengan Grouting 3 m	25
Gambar 14 Kasus 3 Konsolidasi dengan Grouting 5 m	26
Gambar 15 Kasus 4 Dinding Beton 3 m	27
Gambar 16 Kasus 5 Dinding Beton 5 m	28
Gambar 17 Lokasi Muara Takus di Provinsi	29
Gambar 18 Lokasi Percandian Muara Takus.....	30
Gambar 19 Denah Bangunan Percandian Muara Takus	31
Gambar 20 Elevasi Muka Air Waduk di Percandian Muara Takus	32
Gambar 21 Potongan Memanjang Geologis Percandian Muara Takus	33
Gambar 22 Lokasi Pemboran di Sekitar Bangunan Percandian Muara Takus.....	34
Gambar 23 Potongan Vertikal di Sekitar Bangunan Percandian Muara Takus	35
Gambar 24 (2) Tampang Tipikal, (1) dengan kawasan timbunan	36
Gambar 25 Potongan lintang tebing sungai di lokasi perlindungan tebing tidak dapat dilaksanakan	37
Gambar 26 Rancangan Grouting untuk konsolidasi sekitar fondasi percandian	38
Gambar 27 Jaringan Drainasi eksisting.....	39
Gambar 28 Tahapan Pelaksanaan Gouting	40
Gambar 29 Tahapan Pelaksanaan Gouting	41

Kata Hantar

Laporan Pendukung Aspek Hidrologi dan Hidraulika Percandian Muara Takus disajikan untuk mendukung dokumen resmi pengembangan kawasan Percandian Muara Takus. Laporan pendukung ini bertujuan untuk memberikan arah pada perancangan rinci maupun pengembangan ke depan Percandian Muara Takus untuk aspek Hidrologi dan Hidraulika.

Laporan ini menggunakan sumber acuan utama yaitu (1) Hasil kunjungan lapangan di Percandian Muara Takus, (2) Laporan PLN TEPSCO Perlindungan Candi Muara Takus, (3) Candi Muara Takus dan Waduk PLTA Koto Panjang, (4) PLTA Koto Panjang, dan (5) Referensi Lengkap Drainasi Percandian Muara Takus yang disertakan dalam laporan.

Perlu diketahui bahwa Percandian Muara Takus, berada dalam daerah genangan Waduk PLTA Koto Panjang, karakteristik kesumberdayaairannya sama sekali berbeda pada kawasan alami tanpa genangan waduk.

Penyusun

[Ir.Djoko Luknanto M.Sc., Ph.D.](#)

KONSEP PERANCANGAN DRAINASI KAWASAN PERCANDIAN MUARA TAKUS

Pada subbab ini akan disajikan konsep perancangan drainasi Kawasan Percandian Muara Takus secara singkat. Pembahasan mengenai permasalahan dan penanganan rinci akan disajikan pada subbab berikutnya maupun laporan berikutnya.

Data Elevasi Waduk PLTA Koto Panjang

Pengembangan Percandian Muara Takus, karena terletak dalam genangan Waduk PLTA Koto Panjang, harus selalu memperhatikan elevasi muka air untuk operasional PLTA Koto Panjang. Beberapa elevasi acuan yang penting sekali untuk diperhatikan dalam pengembangan kawasan Percandian Muara Takus adalah

1. Elevasi dasar struktur Percandian Muara Takus: +86,75 m
2. Elevasi muka air tertinggi Waduk PLTA Koto Panjang: +85,00 m
3. Elevasi muka air waduk normal: +83,00 m
4. Elevasi muka air waduk terendah: +73,50 m

Kriteria Perancangan

Kriteria perancangan dalam subbab ini, pada prinsipnya untuk memberikan arahan ke depan agar pada saat perancangan rinci butir-butir yang disampaikan di bawah ini menjadikan pegangan umum perancangan disamping standar terkait yang dikeluarkan oleh kementerian terkait.

Halaman Utama Candi

Halaman candi merupakan kawasan terpenting untuk menjaga kelestarian Percandian Muara Takus terutama dari efek merusak air permukaan maupun air tanah terhadap bangunan Percandian Muara Takus yang terdiri batu bata merah. Oleh karena itu keberadaan air di halaman utama Percandian Muara Takus harus diusahakan seminimum mungkin dengan

- Membuat drainasi permukaan di halaman Percandian Muara Takus yang langsung dibuang ke kawasan sekitarnya yang lebih rendah. Catatan: Pada saat perancangan awal yang dilakukan oleh P.T. PLN (Persero), sudah dirancang drainase permukaan yang di sajikan dalam Gambar 27 Jaringan Drainasi eksisting, halaman 39.
- Dihindari membuat peresapan air permukaan ke dalam tanah, karena tidak efektif. Hal ini disebabkan pada saat musim hujan tanah sudah jenuh air dan elevasi waduk PLTA Koto Panjang biasanya dalam posisi tinggi sekitar +85 m, sehingga peresapan air sama sekali tidak bermanfaat. Catatan: sumur peresapan tidak efektif karena pada saat perancangan oleh P.T. PLN (Persero) telah dilakukan konsolidasi tanah dengan semen, lihat Subbab Konsolidasi Tanah di Sekitar Bangunan Candi, halaman 9.
- Pembuangan air dari halaman utama Percandian Muara Takus harus dirancang secepat mungkin dengan membuangnya di *outlet* terdekat misalkan Sungai Umpamo yang mengalir di dekat halaman utama Percandian Muara Takus.
- Drainasi halaman utama juga berfungsi untuk *outlet saluran drainasi dari tubuh struktur candi*, jika suatu saat oleh ahli arkeologis dan konservasi dipandang perlu.

Sepanjang Tanggul Kuno

- Tanggul Kuno tidak akan dikonservasi seluruhnya, karena sebagian sudah hilang dan runtuh karena peristiwa alam, terutama adanya sungai Umpamo sebagai drainasi alami yang sudah terbentuk secara alami.
- Panjang Tanggul Kuno yang rusak atau runtuh dipertahankan agar tidak bertambah panjang dengan perlindungan buatan tergantung kondisi dan lokasi.
- Pengunjung tidak akan menggunakan Tanggul Kuno sebagai pedestrian, namun pengunjung akan dibuatkan pedestrian khusus untuk melihat Tanggul Kuno.
- Pada bagian tertentu Tanggul Kuno akan disingkap untuk melihat potongan lintang Tanggul Kuno.
- Analisis stabilitas dibutuhkan, untuk memastikan perbaikan tanggul Candi Muara Takus aman dan tidak merusak situs cagar budaya tersebut. Hal ini penting untuk menghindari kegagalan struktur di masa depan, terutama karena pengaruh air dan usia tanggul.

Temuan Baru Struktur Kuno

- Pada kawasan pengembangan, jika ditemukan struktur kuno di kawasan pengembangan, maka perlakuan arkeologis maupun konservasi harus dilakukan oleh ahlinya.

- Pada prinsipnya kawasan pengembangan Percandian Muara Takus selalu digenangi air oleh waduk PLTA Koto Panjang yang berkisar antara +85 m sampai dengan +73,5 m. Oleh karena itu kadar air tanah akan cenderung besar bahkan bisa mencapai kejenuhan. Oleh karena itu untuk melindungi temuan baru Struktur Kuno perlu dirancang khusus perlakuan tanah sebagai fondasi Struktur Kuno untuk mengurangi efek merusak air.
- Perlindungan sekeliling Struktur Kuno perlu juga dirancang dibawah arahan ahli arkeologi dan konservasi cagar budaya.

Alur Alam S. Umpamo

- Sungai Umpamo merupakan alur alami yang terbentuk untuk mengataskan air permukaan di sekitar sungai. Sungai Umpamo akhirnya mengalir ke hilir ke Sungai Kampar, yang menyebabkan sebagian Tanggul Kuno runtuh.
- Seperti sudah dijelaskan di atas, Tanggul Kuno runtuh ini tidak akan dibangun kembali, karena lokasinya sekarang berfungsi sebagai *outlet* dari Sungai Umpamo masuk ke Sungai Kampar.
- Sungai Umpamo tetap dipertahankan keberadaannya yang berfungsi sebagai drainasi alam sekitarnya. Bahkan dipandang lebih bermanfaat jika Sungai Umpamo ditingkatkan menjadi bagian dari daya tarik wisata air.

Kawasan Sekitarnya

- Yang dimaksud dengan kawasan sekitarnya adalah kawasan yang tidak termasuk halaman utama Percandian Muara Takus.
- Drainasi kawasan sekitarnya harus dirancang disesuaikan fungsinya untuk mendukung zonasi yang telah dirancang untuk pengembangan cagar budaya.
- Kriteria perancangan drainasi kawasan sekitar mengikuti standar yang sesuai dengan perancangan zonasi cagar budaya.

Tebing Sungai Kampar

- Sebelum PLTA Koto Panjang dibangun aliran di Sungai Kampar lebih deras dibandingkan yang saat ini terjadi. Dengan dibangunnya PLTA Koto Panjang, maka terjadilah genangan berupa waduk yang digunakan untuk operasional pembangkitan listrik tenaga air.
- Waduk ini secara alami akan mengurangi kecepatan aliran Sungai Kampar, sehingga kekuatan merusak dan mengerosi dasar dan tebing Sungai Kampar jauh berkurang.
- Ada kemungkinan karena pengaruh lokal dan bentuk tebing, serta kondisi tanah tebing Sungai Kampar, di beberapa lokasi di kawasan Percandian Muara Takus mengalami longsor. Dibutuhkan survei khusus untuk menengarai lokasi longsor tebing Sungai Kampar, untuk kemudian dirancang perlindungan tebing yang tepat. Hal ini akan dilakukan pada pekerjaan perancangan rinci selanjutnya.

Sumur Resapan

- Pembuatan sumur resapan dan biopori harus mempertimbangkan kemampuan tanah asli kawasan dalam meresapkan air, terutama karena Percandian Muara Takus merupakan kawasan genangan Waduk PLTA Koto Panjang.

Beberapa permasalahan umum dan khusus drainasi dan permasalahan kesumberdaya airan di Percandian Muara Takus akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

Beberapa Fakta Penting dari Laporan Perlindungan Candi Muara Takus

Beberapa fakta penting dari Laporan Perlindungan Candi Muara Takus yang disajikan secara rinci dalam subbab berikutnya, akan disajikan langsung dalam butir-butir di bawah ini, untuk mendapatkan perhatian lebih besar.

Stabilitas Lereng Tebing Sungai Kampar Kanan

Dalam laporan perancangan PLN: Subbab 2. Perlindungan Tebing Sungai telah dijelaskan secara rinci, sehingga perancangan rinci dan pengembangan ke depan diharapkan mengacu kepada hasil analisis ini.

Konsolidasi Tanah di Sekitar Bangunan Candi

Dalam laporan perancangan PLN: Subbab 3. Konsolidasi Tanah di Sekitar Bangunan Candi. Tanah asli di sekitar bangunan candi sudah dilakukan stabilisasi menggunakan penyuntikan dengan semen cair (*consolidation grouting*), sehingga kemampuan daya dukung tanah, dan karakteristik sifat-sifat mekanika tanahnya menjadi lebih baik.

Perancangan Elevasi Muka Air Waduk PLTA Koto Panjang

Elevasi muka air akibat operasi PLTA Koto Panjang, sesuai perancangan dapat dilihat pada Gambar 20, pada halaman 32. Hal ini harus disinkronisasi dengan elevasi muka air rendah dan tertinggi saat ini.

Kondisi Geologis dan Mekanika Tanah

Beberapa gambar yang penting untuk dicermati sehubungan dengan kondisi geologis dan mekanika tanah Percandian Muara Takus:

- Gambar 21 Potongan Memanjang Geologis Percandian Muara Takus, halaman 33.
- Gambar 23 Potongan Vertikal di Sekitar Bangunan Percandian Muara Takus, halaman 35.
- Gambar 25 Potongan lintang tebing sungai di lokasi perlindungan tebing tidak dapat dilaksanakan, halaman 37.
- Gambar 27 Jaringan Drainasi eksisting, halaman 39.

LAPORAN PLN TEPCO PERLINDUNGAN CANDI MUARA TAKUS¹

Pada subbab ini akan dilaporkan perlakuan khusus yang dilakukan oleh P.T. PLN (Persero) pada saat perancangan perlindungan Percandian Muara Takus. Subbab ini disarikan dari laporan pada tahun 1996 yang berjudul "*Kotapanjang Hydroelectric Power and Associated Transmission Line Project - Report on the Protection of Muara Takus Temple*" oleh P.T. PLN (Persero)- Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

1. Umum

Oleh pihak perencana, direncanakan elevasi muka air waduk adalah EL. 85,00 m dan elevasi muka air yang dibatasi untuk banjir tahunan adalah EL. 83,00 m. Berdasarkan peta lokasi bersejarah dan peta waduk, diperoleh data sebagai berikut (lihat Gambar 20):

- Jika muka air waduk mencapai elevasi muka air tertinggi EL. 85,00 m, maka 51,5 hektare lokasi bersejarah dan 1.330 m tanggul tanah bersejarah akan tergenang.
- Jika muka air waduk mencapai elevasi muka air EL. 83,00 m, maka 35,8 hektar lokasi bersejarah dan 92 m tanggul tanah bersejarah akan tergenang.

Dari pertimbangan di atas, maka tapak bersejarah tersebut akan dipisahkan menjadi dua bagian karena adanya muka air yang naik di sepanjang anak sungai bersejarah yang berada di sisi timur bangunan candi, sebagai berikut (lihat Gambar 20):

- Bagian barat akan menutupi bangunan candi, bagian ini akan membentuk tanjung sempit dimana hampir 80% wilayahnya akan dikelilingi oleh pantai waduk.
- Sementara itu, bagian timur akan menutupi Tanggul Kuno di sisi timur.

Tanggul Kuno yang terletak di sepanjang bukit terjal di bagian barat candi akan berbatasan langsung dengan pantai waduk. Bukit yang sebagian besar terdiri dari lapisan kerikil-pasir dapat longsor karena dampak pasang surut air waduk dan gelombang air yang menghantam. Ada kekhawatiran bahwa Tanggul Kuno sekitar 600 m di sepanjang sisi barat akan rusak karena proses abrasi bukit.

Juga jika air waduk mencapai permukaan air tertinggi EL. 85,0 m, lapisan tanah liat di bawah bangunan candi akan terinfiltrasi oleh kenaikan muka air tanah. Lapisan tanah liat menjadi jenuh dan lunak. Pada kondisi ini, beban mati tubuh candi akan menekan lapisan tanah liat ke semua sisi dan akan terjadi penurunan.

Selain itu, kapilarisasi akan terjadi pada lapisan tanah liat dan mencapai fondasi candi. Air akan merambat naik melalui pori-pori batu bata dan menguap di permukaan, meninggalkan endapan garam mineral dan akan merusak permukaan candi.

Selain itu, kapilarisasi akan terjadi pada lapisan tanah liat dan mencapai fondasi candi. Air akan merayap naik melalui pori-pori bata dan menguap di permukaan,

¹ Berdasarkan laporan PLN TEPCO Report on The Protection of Muara Takus Temple, Mei 1996

meninggalkan endapan garam mineral dan akan merusak permukaan candi.

Cara perlindungan dijelaskan dalam penjelasan berikut.

2. Perlindungan Tebing Sungai

2.1 Kawasan Perlindungan dan Metode

Perlu dilakukan penguatan lereng di sepanjang tepian sungai di bagian barat Situs Sejarah Muara Takus, guna menghindari tanah longsor di atas tanggul bersejarah akibat pasang surut air waduk dan gelombang air.

Berdasarkan kondisi tanah dan lapisan batuan tepian sungai termasuk topografi, pekerjaan perlindungan akan mencakup panjang total sekitar 600 m, dengan kemiringan 25° sampai dengan 45° dalam bentuk dinding penahan tanah.

Namun, ada beberapa bagian yang tidak memerlukan atau tidak memungkinkan dilakukannya pekerjaan perlindungan terutama karena topografi dan skala besar pekerjaan konstruksi itu sendiri. Penampang melintang seperti itu ditunjukkan pada Gambar 27 Lampiran. Lereng penampang melintang tepian sungai ini sangat curam, beberapa bagian hampir vertikal. Oleh karena itu, sejumlah besar batu atau kerikil harus ditempatkan di depan tepian sungai untuk pekerjaan pasangan batu/riprap atau penggalian skala besar termasuk mencabut pohon di sepanjang tepian akan diperlukan untuk dinding penahan beton yang dapat menahan tekanan tanah lateral. Kedua pekerjaan perlindungan tersebut akan sangat mahal. Sedangkan untuk muka air waduk, fluktuasi muka air sangat kecil karena kapasitas waduk sangat besar untuk volume debit operasi waduk yang dibutuhkan. (0,1 m³/hari pada sekitar HWL 85,0 m³, maksimum 0,2 m³/hari antara EL. 74,0 m³-EL. 77,0 m³).

Muka air waduk biasanya dioperasikan hingga EL. 83.000 m³, maka kecil kemungkinan air waduk yang lebih tinggi dari EL. 85.000 akan berdampak langsung pada tepian sungai.

Ada beberapa jenis pekerjaan perlindungan untuk tepian sungai dan di antaranya, pasangan batu dan gabion dipilih dengan mempertimbangkan kondisi stabilitas tepian sungai yang saat ini mandiri dan tidak ada tanda-tanda tanah longsor.

Kedua jenis tersebut juga lebih ekonomis dibandingkan dengan bangunan penahan lainnya. Akan tetapi, untuk perlindungan dengan gabion, lereng tepian agak curam di beberapa bagian hampir 45° dan oleh karena itu diperlukan banyak volume batu atau kerikil untuk membuat anak tangga di lereng dan menjaga stabilitas gabion itu sendiri. Selain itu, gabion juga mudah patah karena terkikisnya kawat pengikat gabion di dalam air.

Dari pertimbangan di atas, jenis pasangan bata akan lebih cocok untuk perlindungan tepi sungai di lokasi ini.

2.2 Stabilitas Lereng Tebing Sungai

Analisis lingkaran longsor dilakukan untuk memeriksa stabilitas lereng tepi

sungai.

(1) Pemilihan Lereng Tebing Sungai

Lokasi dan penampang lereng tepi sungai ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Bagian lereng yang paling kritis dipilih untuk analisis lingkaran longsor.

(2) Kondisi Tanah

Saat ini lereng tepi sungai dapat ditopang sendiri dan tidak ada tanda-tanda tanah longsor. Dengan mempertimbangkan kondisi saat ini dan nilai numerik yang umumnya digunakan untuk setiap jenis pondasi, karakteristik pondasi untuk lokasi ini diasumsikan seperti disajikan pada Tabel 1, halaman 12.

Tabel 1 Kondisi Tanah

	Depth (m)	Unit Weight (t/m ³)	Angle friction (°)	Chesion (t/m ²)
Backfill and Capping	0~0.25	1.90	25	0.0
Yellow Clay	0.25~2.0	1.90	30	1.0
Sandy Clay	2.0 ~3.0	2.00	30	3.0
Coarse Sand	3.0 ~4.5	2.00	35	4.0
Gravel Layer	4.5 ~7.0	2.10	35	5.0
Tuff	7.0~	2.10	40	5.0

Catatan: Pemboran tanah di Percandian Muara Takus disajikan pada Gambar 3

(3) Faktor Keamanan

Faktor Keamanan sebesar 1,2 biasanya digunakan untuk lingkaran longsor.

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{R \sum (C \cdot l + W \cos \alpha + \tan \phi)}{\sum W \cdot X + \sum F_n \cdot \gamma_h + \sum F_x \cdot x}$$

M_s : Momen Geser (t/m²), M_r : Momen Penahan (t/m²)

(4) Kasus Perhitungan

Kasus-1: Sebelum Pengisian Awal Waduk (Situasi Saat Ini)

Kondisi paling kritis pada situasi saat ini adalah sebagai berikut (lihat Gambar 4, halaman 16).

Ketinggian air sungai normal berada pada El. 75,0 dan muka air tanah meningkat karena hujan lebat selama musim hujan.

Kasus-2: Setelah Pengisian Waduk

Kondisi paling kritis setelah pengisian adalah sebagai berikut berikut (lihat Gambar 5, halaman 17).

Ketinggian muka air tanah meningkat karena rembesan air dari air waduk dan hujan pada saat yang sama.

Ketinggian air waduk tiba-tiba turun ke EL 73,5 (L.W.L). Ini diasumsikan untuk berjaga-jaga jika terjadi penarikan darurat.

(5) Hasil Analisis Lingkaran Geser

Karena Kasus 1 dan Kasus 2 hampir sama kondisinya, hanya Kasus 2 yang dihitung dan dievaluasi untuk stabilitas lereng.

Hasil Kasus-2 ditunjukkan pada Gambar 1 (pada halaman 17).

Pada kondisi kritis ini, faktor keamanan menunjukkan 1,202, oleh karena itu, tidak ada kemungkinan longsor tebing sungai akan terjadi dalam skala besar setelah waduk dibendung.

Oleh karena itu, tidak ada kemungkinan longsor tebing sungai akan terjadi dalam skala besar setelah waduk dibendung, karena nilai faktor keamanan meningkat sebanding dengan kenaikan air waduk (kenaikan tekanan air), faktor keamanan akan menjadi lebih dari 1,2 setelah pembangunan waduk.

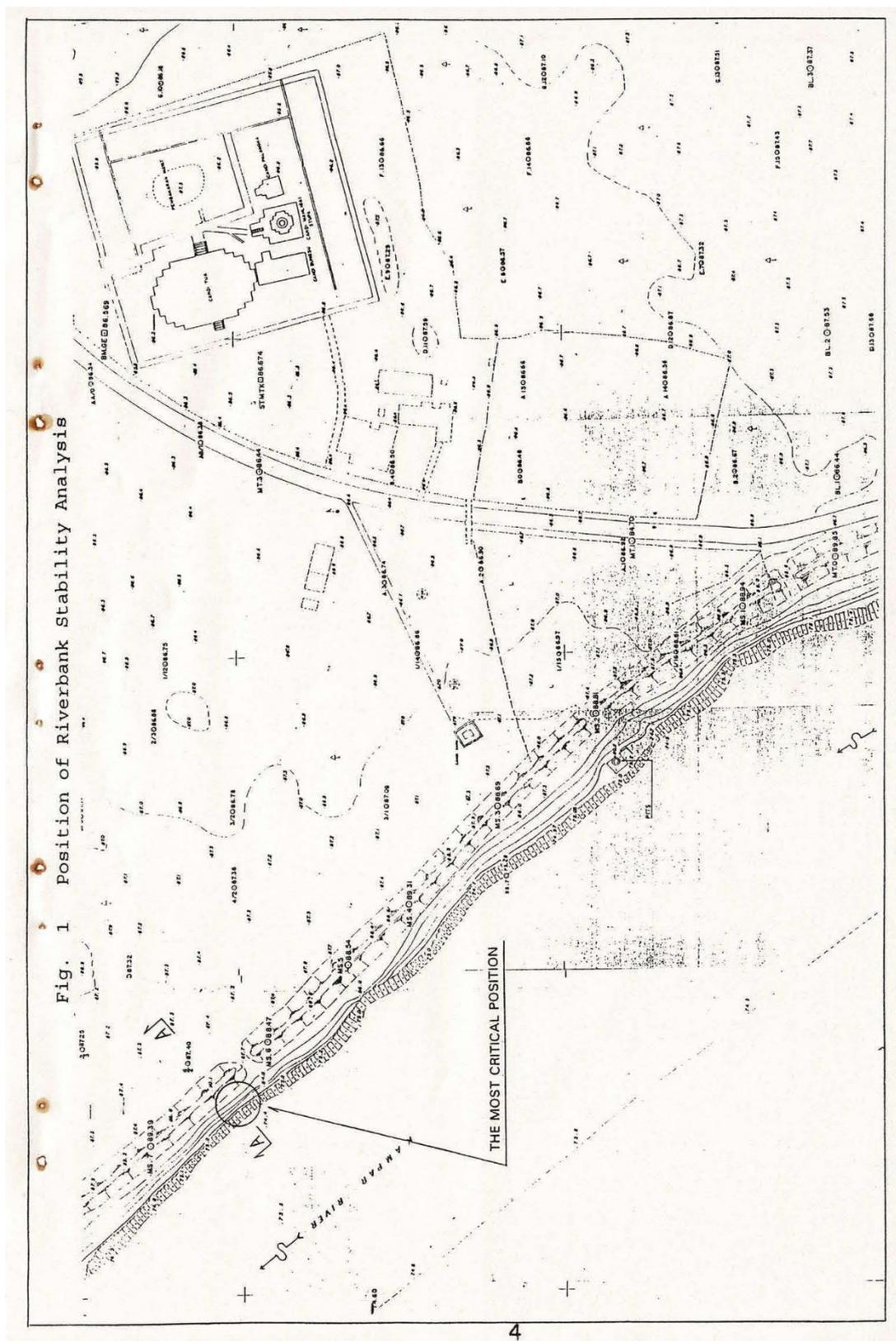
Peningkatan daya dukung tanah meskipun hanya sebagian akan menghindari proses Untuk perlindungan tebing sungai dari pengikisan oleh air waduk, beberapa pekerjaan perlindungan akan diperlukan.

3. Konsolidasi Tanah di Sekitar Bangunan Candi

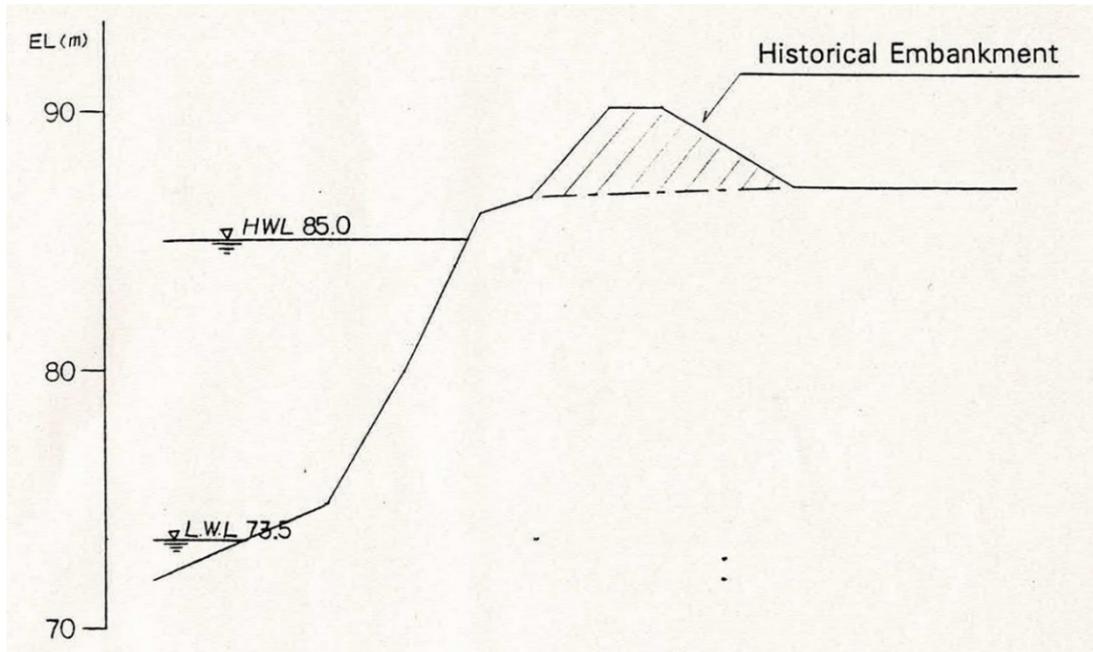
Dengan mempertimbangkan kondisi tanah, curah hujan, dan tinggi muka air waduk sebesar EL. 85,0 m, zona permeabilitas tinggi diperkirakan pada pondasi Candi Muara Takus akan diperbaiki dengan cara konsolidasi menggunakan metode injeksi semen (consolidation grouting) dan mengurangi aliran air yang melewati pondasi serta sebagian meningkatkan daya dukung tanah.

penurunan candi akibat pergerakan horizontal tanah lunak di bawah dan di sekitar formasi candi.

Lubang injeksi akan dibuat dengan jarak 1 m dari bangunan candi yang mengelilingi formasi candi. Kedalaman lubang injeksi harus mencapai lapisan pasir atau pasir dan kerikil (3,00 - 5,00) m dari permukaan. Injeksi semen akan dilakukan secara vertikal dengan radius maksimum efek penyebaran horizontal tidak lebih dari 1 m (lihat Gambar 20). Jumlah total sementasi diperkirakan 200 m².



Gambar 1 Posisi Analisis Rembesan (Potongan A)



Gambar 2 Potongan Lintang Analisis Stabilitas Tebing Sungai

Sebagai rencana alternatif, pembangunan dinding beton yang tertanam di sekitar bangunan candi dapat dilakukan untuk memutus aliran rembesan dari reservoir. Namun, pekerjaan konstruksi ini membutuhkan penggalan skala besar untuk ruang situs bersejarah yang terbatas ini, dan juga sistem drainasi yang ada harus dihilangkan dan dibangun kembali. Oleh karena itu, metode grouting lebih disukai untuk situs ini.

Sebagai referensi, perbandingan biaya grouting dan dinding beton dibuat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, halaman 12.

Hasil Analisis Rembesan

3.1 Analisis Rembesan Pondasi Candi

(1) Bagian Analisis Rembesan

Jarak terpendek dari tepi sungai ke bangunan candi dipilih sebagai bagian kritis untuk analisis aliran rembesan. Bagian ini ditunjukkan pada Gambar 7 (halaman 18) dan Gambar 8, halaman 18.

Untuk menyederhanakan perhitungan, area analisis diekstraksi dengan mudah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, halaman 20.

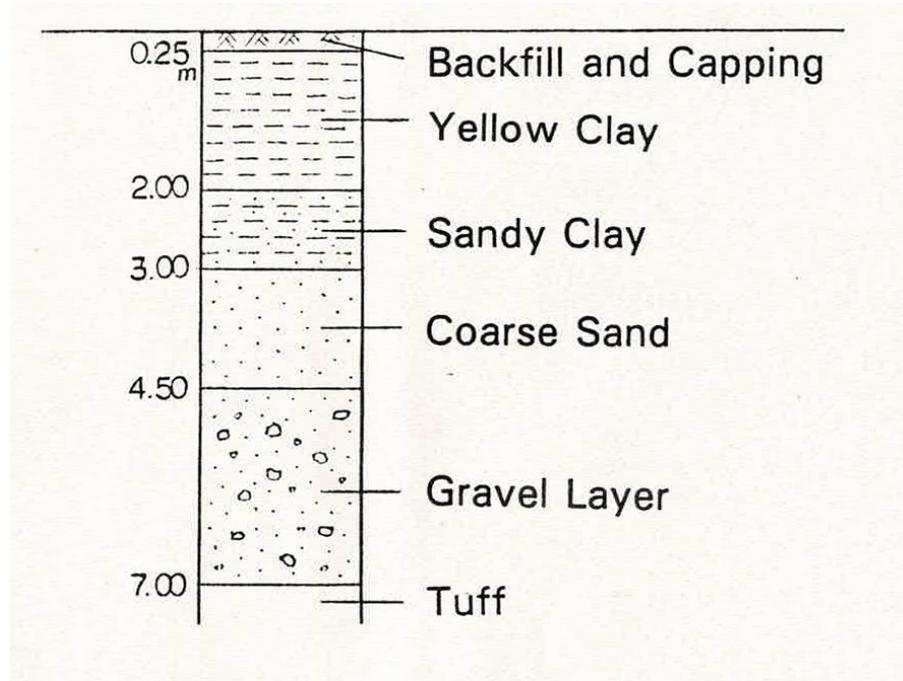
(2) Karakteristik Pondasi

Berdasarkan log pemboran Gambar 3 (halaman 16), permeabilitas pondasi diasumsikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 (halaman 21).

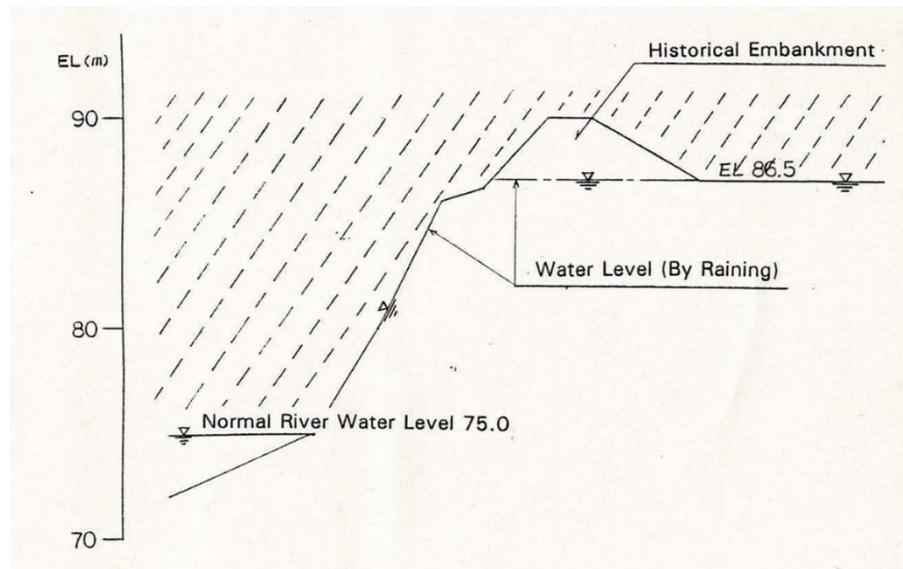
(3) Kondisi Studi

a) Kondisi batas

- i) Sisi waduk (hulu): Muka air EL.85.0(HWL)
- ii) Lokasi belakang (hilir): Muka air EL.80.6(NWL)

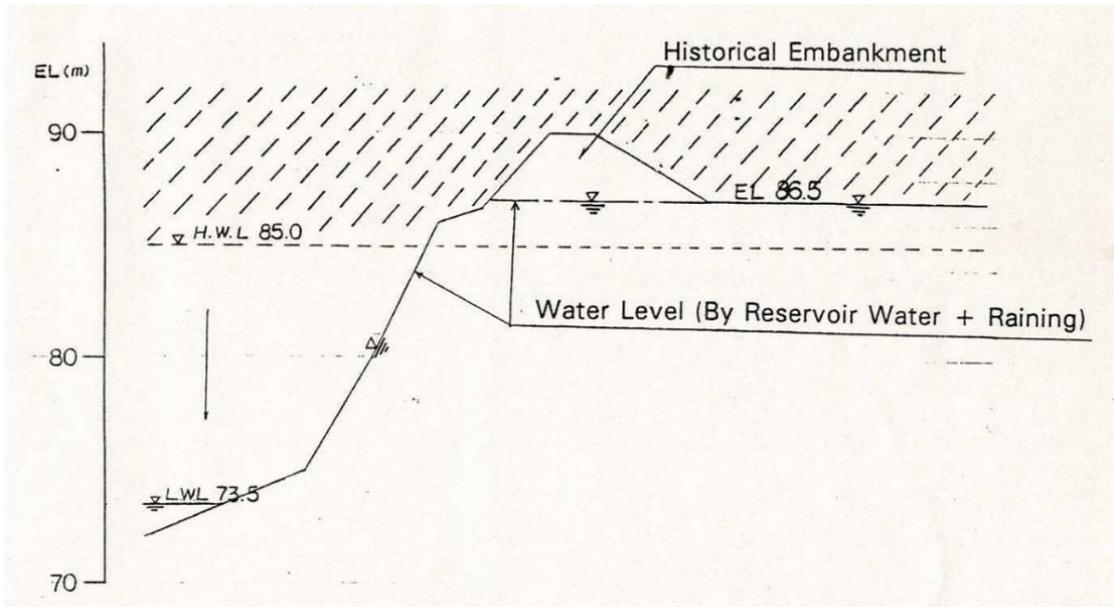


Gambar 3 Log Pemboran Tanah di Muara Takus

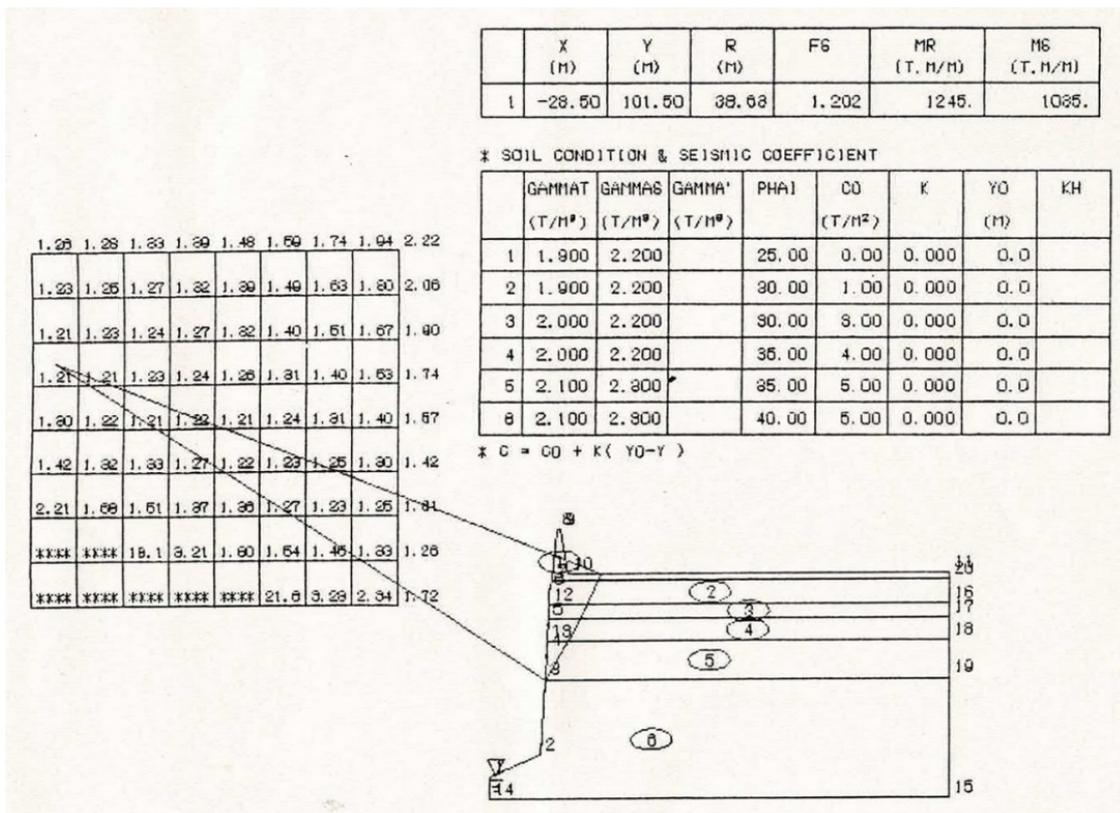


Gambar 4 Hitungan Stabilitas Kasus 1 (Kondisi paling kritis sebelum pengisian waduk)

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

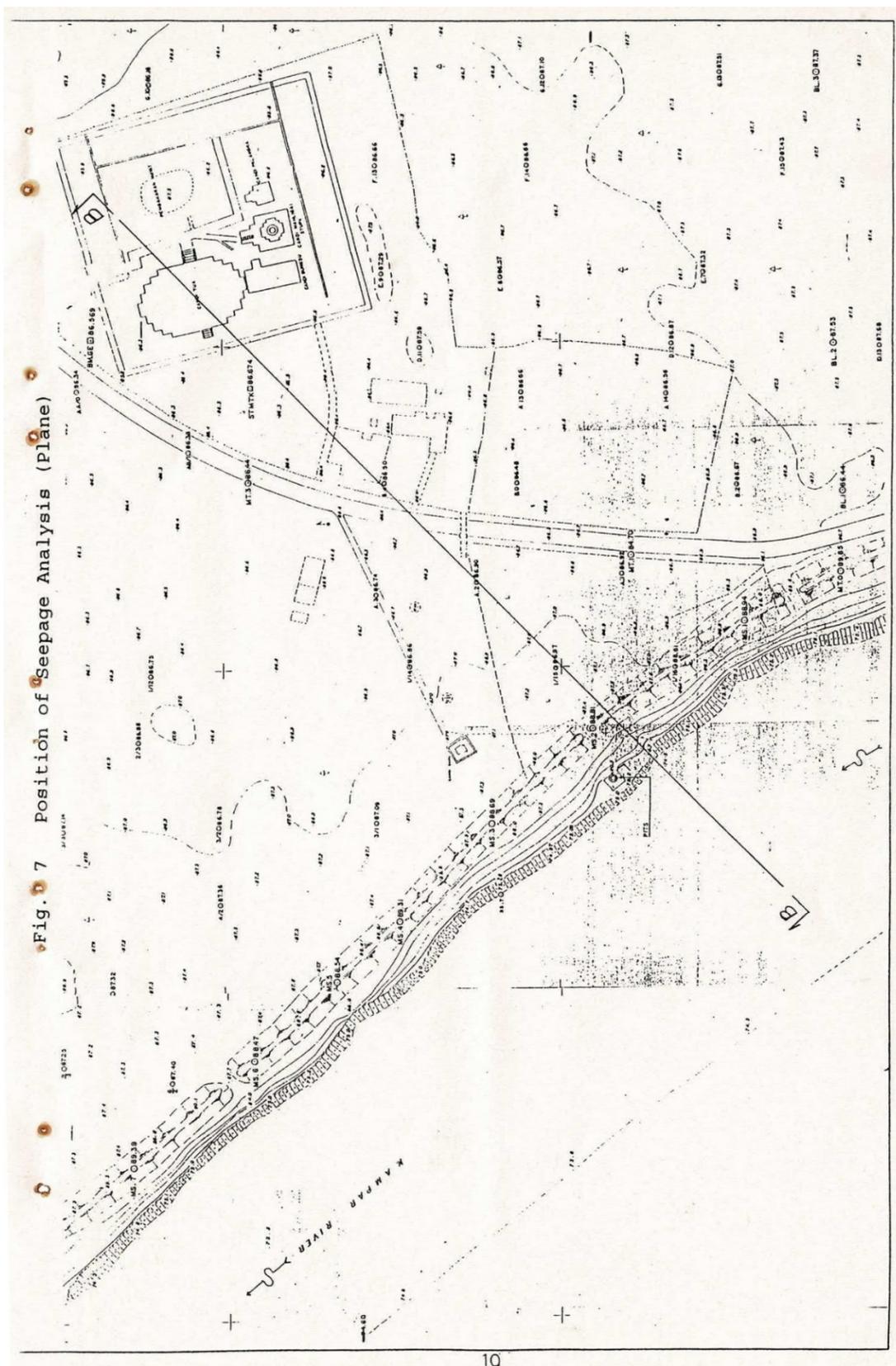


Gambar 5 Hitungan Stabilitas Kasus 2 (Kondisi paling kritis setelah pengisian waduk)



Gambar 6 Hasil Hitungan Slip Circle

D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 7 Posisi Analisis Rembesan (Potongan B)

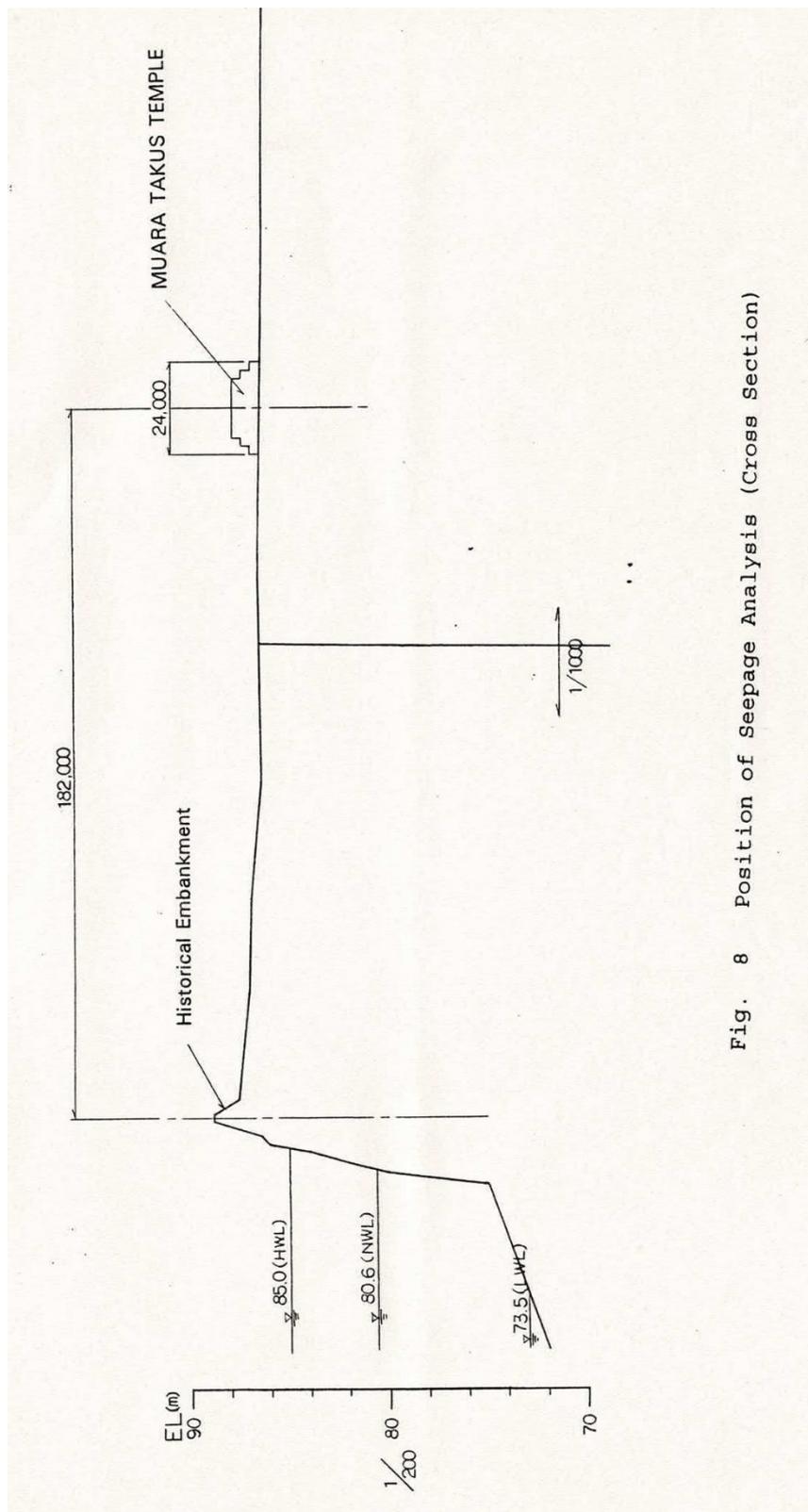


Fig. 8 Position of Seepage Analysis (Cross Section)

Gambar 8 Posisi Analisis Rembesan (Tampang Lintang)

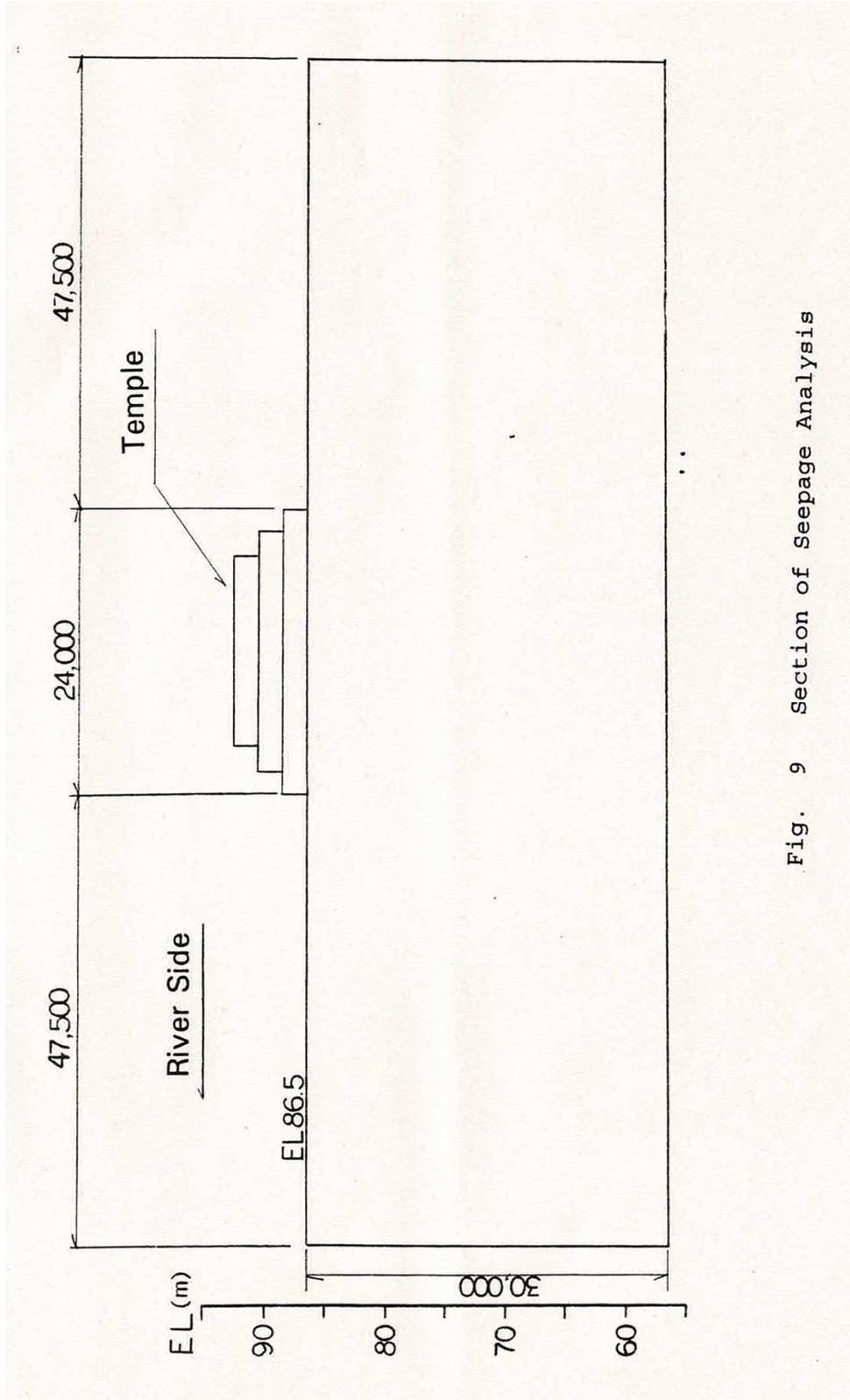
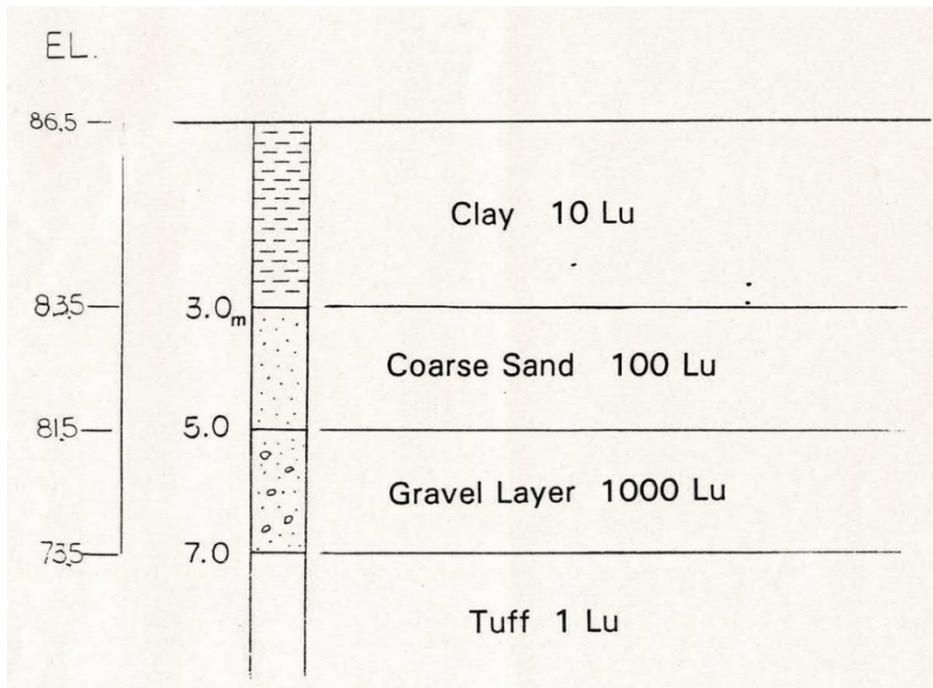


Fig. 9 Section of Seepage Analysis

Gambar 9 Tampang dari Analisis Rembesan



Gambar 10 Permeabilitas Tanah Fondasi Muara Takus (Nilai Lugeon)

Diasumsikan bahwa muka air tanah EL. 80,6 m akan dipertahankan di sekitar Candi Muara Takus setelah waduk dibendung.

b) Dimensi konsolidasi

- Grouting: Lebar: 1,0 m, Panjang: 3,0 m, 5,0 m, Target permeabilitas 5 Lu
- Dinding Beton: Lebar: 0,5 m, Panjang: 3,0 m, 5,0 m, Target permeabilitas: 0,01 Lu

c) Studi Kasus

CASE No.	WATER LEVEL	PROTECTION METHOD	REMARKS
1	EL. 85.0	No Protection	Downstream water level EL. 80.6 m
2	EL. 85.0	Grouting Length 3 m	Downstream water level EL. 80.6 m
3	EL. 85.0	Grouting Length 5 m	Downstream water level EL. 80.6 m
4	EL. 85.0	Concrete Wall Length 3 m	Downstream water level EL. 80.6 m
5	EL. 85.0	Concrete Wall Length 5 m	Downstream water level EL. 80.6 m

Note : Study model is shown in Figure-11

Catatan: Model Analisisi Rembesan disajikan pada Gambar 11, halaman 23

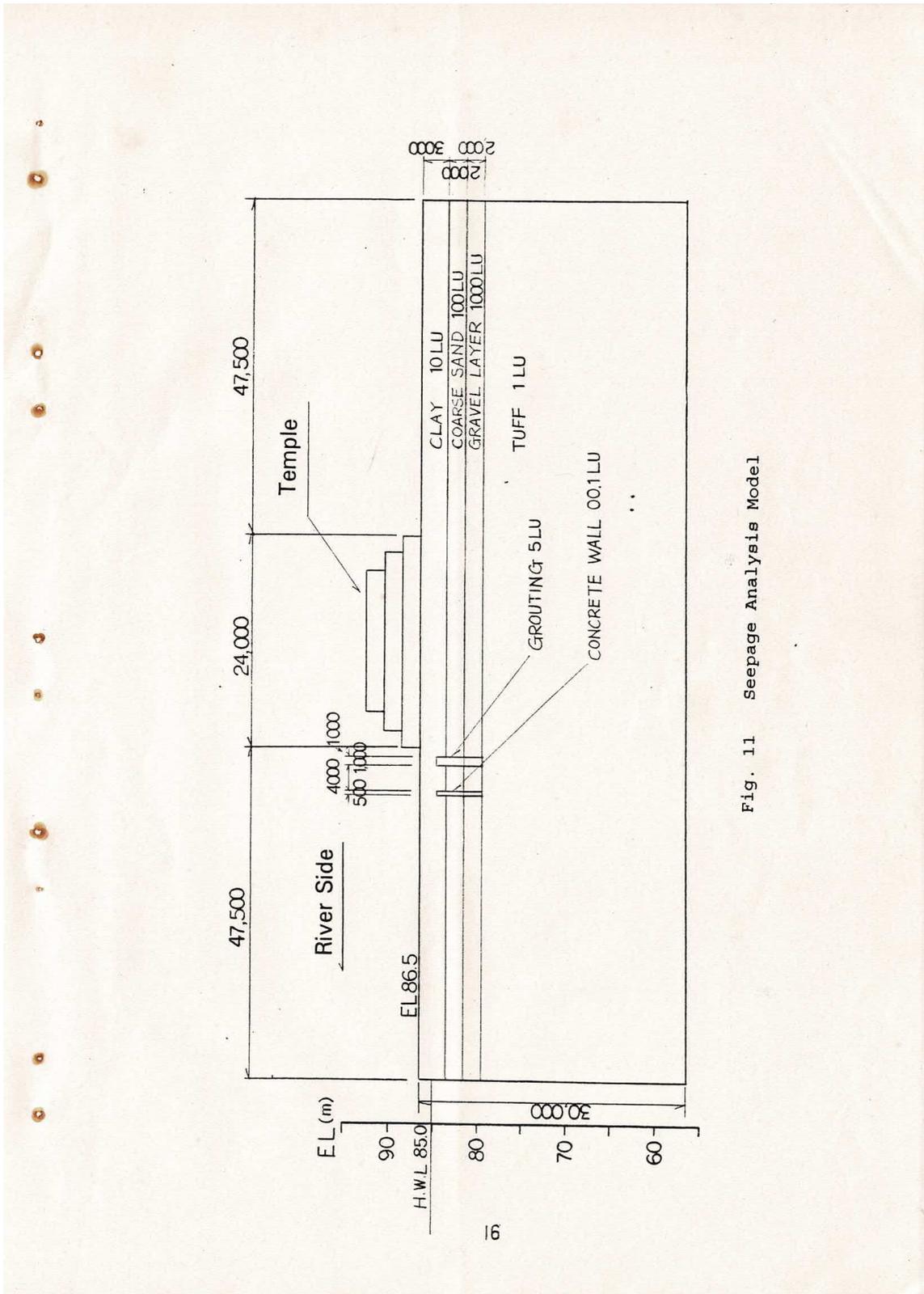
(4) Hasil Analisis Rembesan

Tabel 2 Hasil Analisis Rembesan

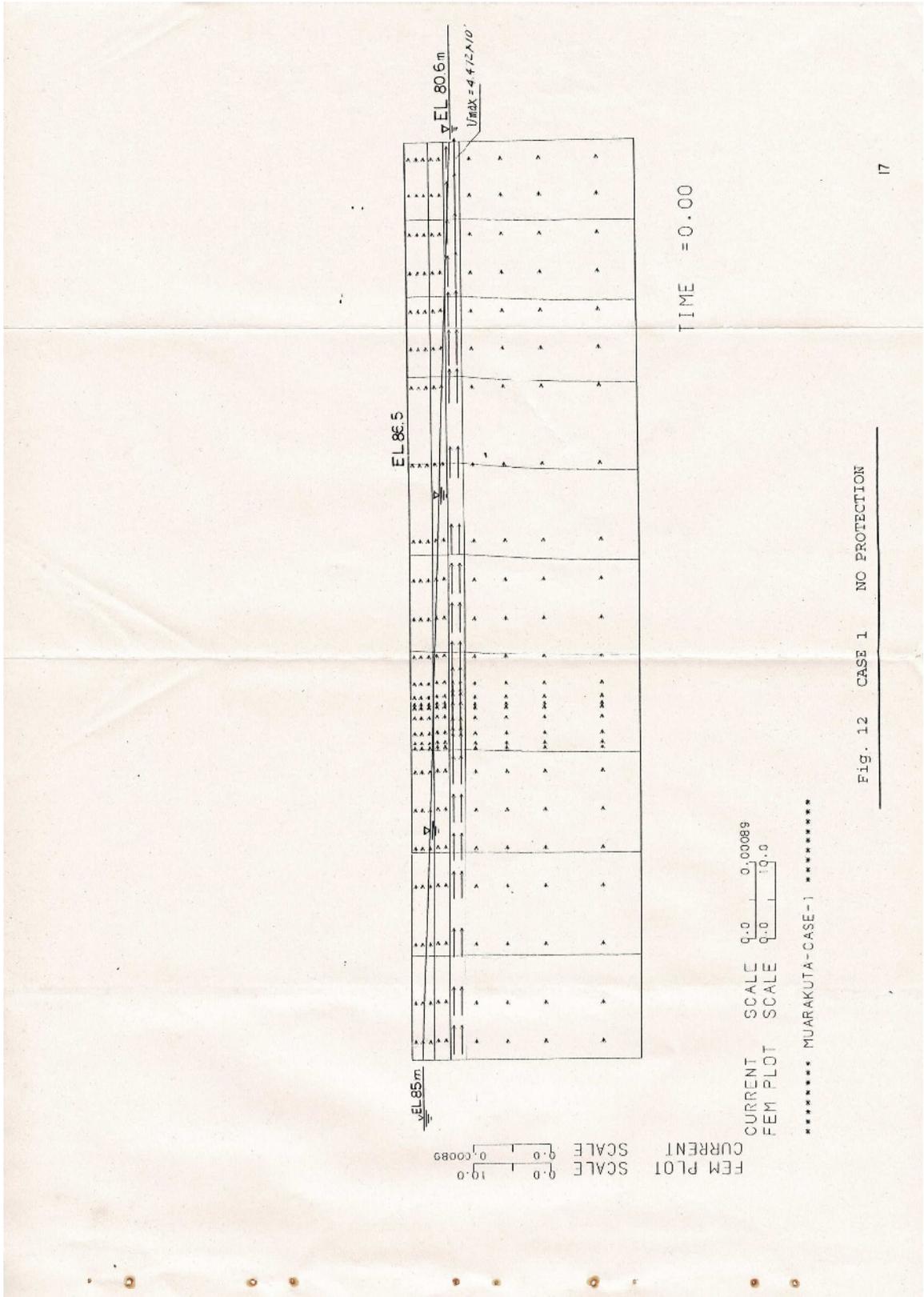
CASE NO.	PROTECTION METHOD	WATER LEVEL UNDER THE TEMPLE		MAXIMUM VELOCITY (m/s)
		Water Table	Lowered water table for CASE1	
1	Original condition (No protection)	EL. 83 m	-	4.472×10^{-6}
2	Grouting 3m	EL. 83 m	0 m	4.467×10^{-6}
3	Grouting 5m	EL. 82 m	1 m	2.627×10^{-6}
4	Concrete wall 3m	EL. 83 m	0 m	4.465×10^{-6}
5	Concrete Wall 5m	EL. 81 m	2 m	0.890×10^{-6}

- Untuk Kasus 1 (Lihat Gambar 12, halaman 24 jika tidak ada proteksi), muka air di bawah candi berada pada EL. 83 m.
- Untuk Kasus 2 dan Kasus 4 (lihat Gambar 13, halaman 25, Gambar 15, halaman 27, jika area proteksi : EL. 81,5 m - EL. 84,5 m), muka air pondasi candi tetap EL. 83 m yaitu sama dengan Kasus 1 semula, oleh karena itu, kasus-kasus ini tidak berpengaruh terhadap proteksi. Dianggap bahwa terdapat lapisan kerikil (1000 Lu, tebal 2 m) di bawah EL. 81,5 m dan grouting tidak dapat menunjukkan pengaruhnya.
- Untuk Kasus 3 dan Kasus 5 (Gambar 14, halaman 26, Gambar 16, halaman 28 area proteksi : EL. 79,5 m - EL. 84,5 m), muka air pondasi candi menjadi EL. 82,0 m dan EL. 81,0 m dan diturunkan sekitar 1 m - 2 m dibandingkan dengan Kasus 1.
- Oleh karena itu, direkomendasikan agar area yang dilindungi dengan grouting ditutup dari EL 79,5 m hingga EL 84,5 m.
- Namun, untuk area dari EL 84,5 m hingga EL 86,5 m (lihat Gambar 10Lihat Gambar 10), tidak diperlukan perlindungan, karena area perlindungan tempat grouting dilakukan dari EL 79,5 m hingga EL 84,5 m dapat sepenuhnya menutupi estimasi tinggi aliran masuk rembesan EL 83,50 m (Kasus 3) dan 84,0 m (Kasus 5) dan juga area non-perlindungan EL 84,5 m hingga EL 86,5 m dapat berfungsi sebagai drainasi alami untuk mengalirkan air hujan ke luar area perlindungan jika terjadi hujan lebat. (lihat Gambar 28, halaman 40, dan ,Gambar 29 halaman 41)

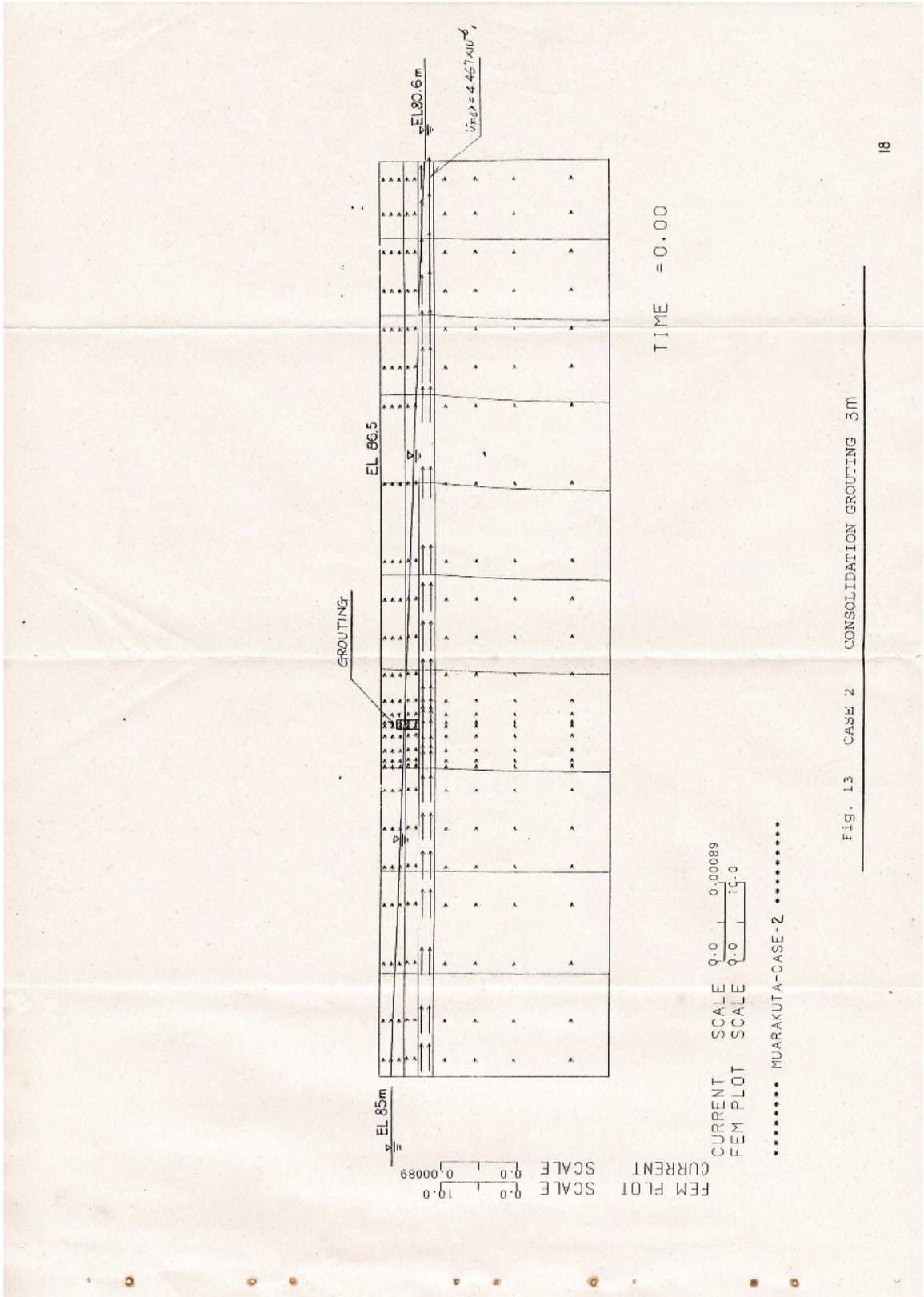
Gambar-gambar mengacu kepada gambar yang ada pada laporan asli dari PT. PLN (Persero) yang disebutkan pada awal subbab.



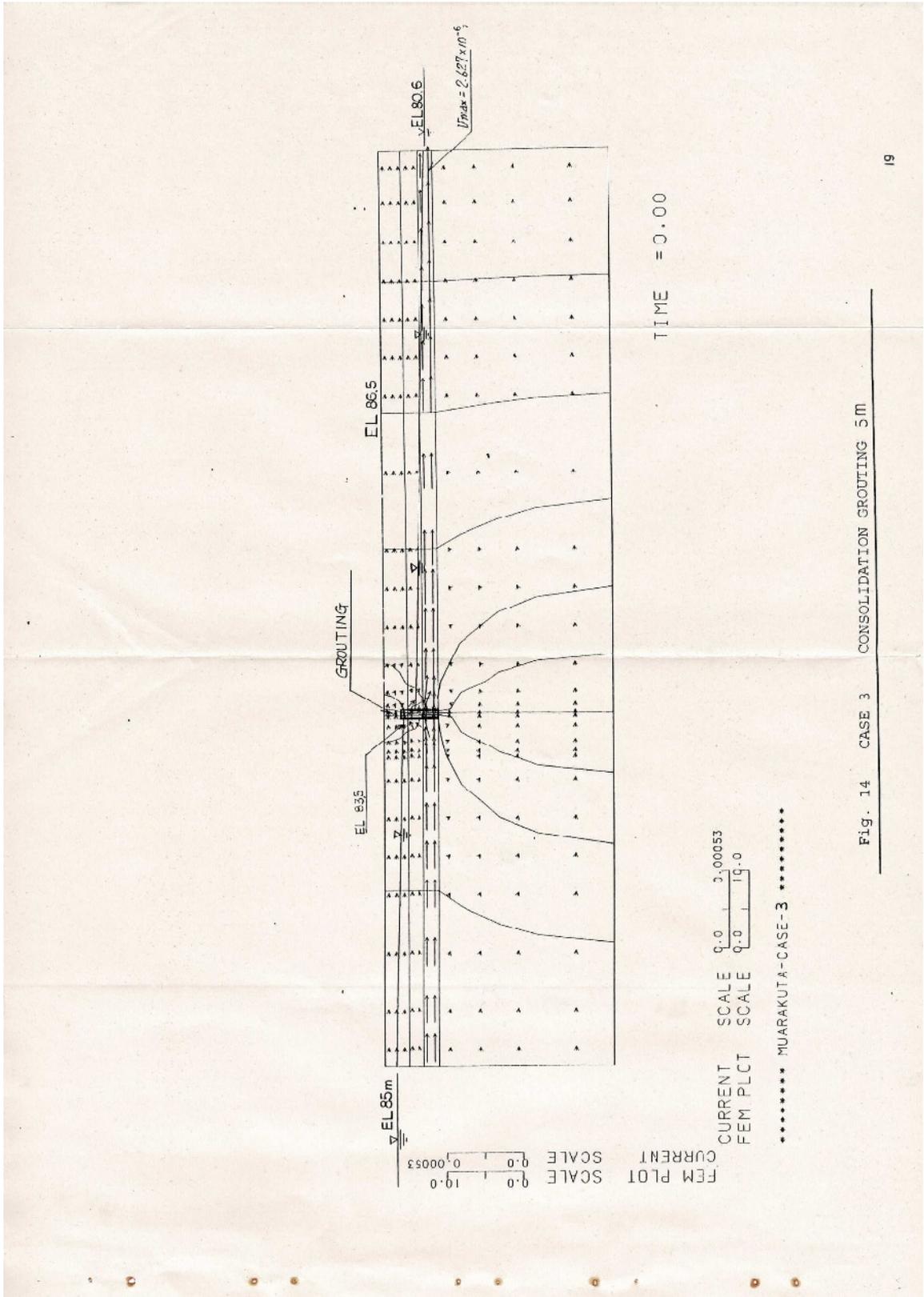
Gambar 11 Model Analisis Rembesan



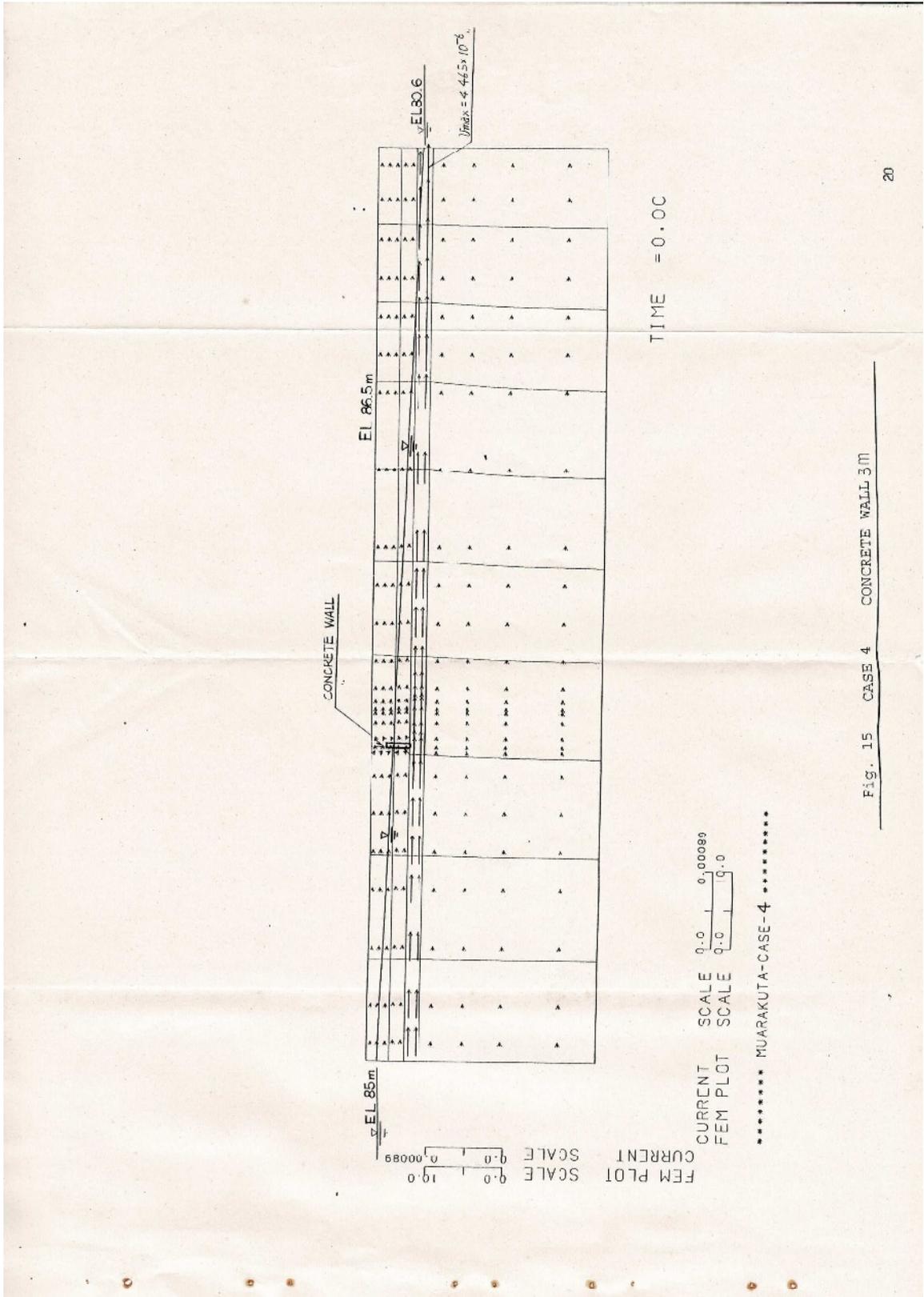
Gambar 12 Kasus 1 Tanpa Perlindungan



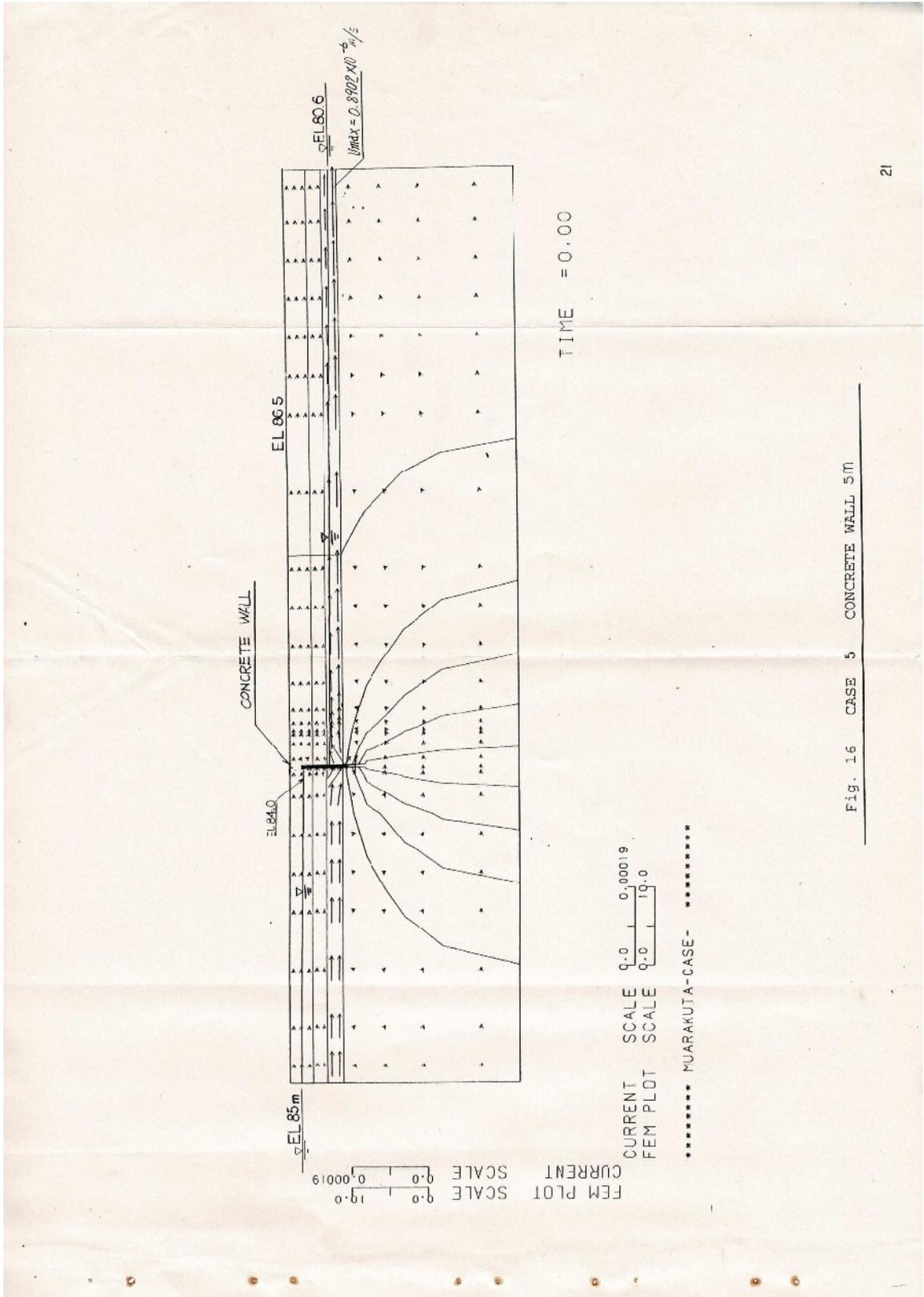
Gambar 13 Kasus 2 Konsolidasi dengan Grouting 3 m



Gambar 14 Kasus 3 Konsolidasi dengan Grouting 5 m



Gambar 15 Kasus 4 Dinding Beton 3 m



Gambar 16 Kasus 5 Dinding Beton 5 m

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

Gambar-gambar dari Lampiran

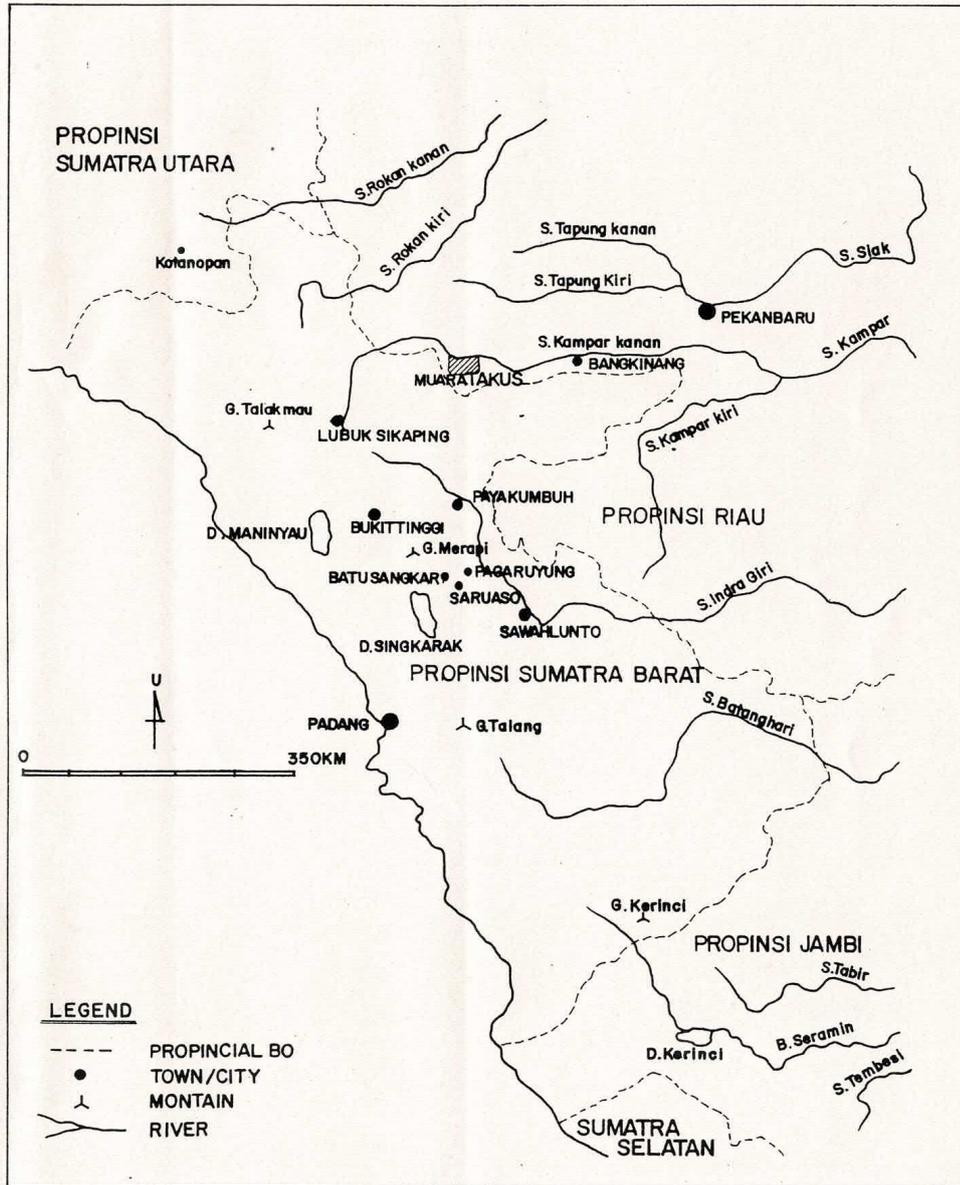


FIG. 17 LOCATION OF MUARA TAKUS TEMPLE AREA IN RIAU PROVINCE

Gambar 17 Lokasi Muara Takus di Provinsi

D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)

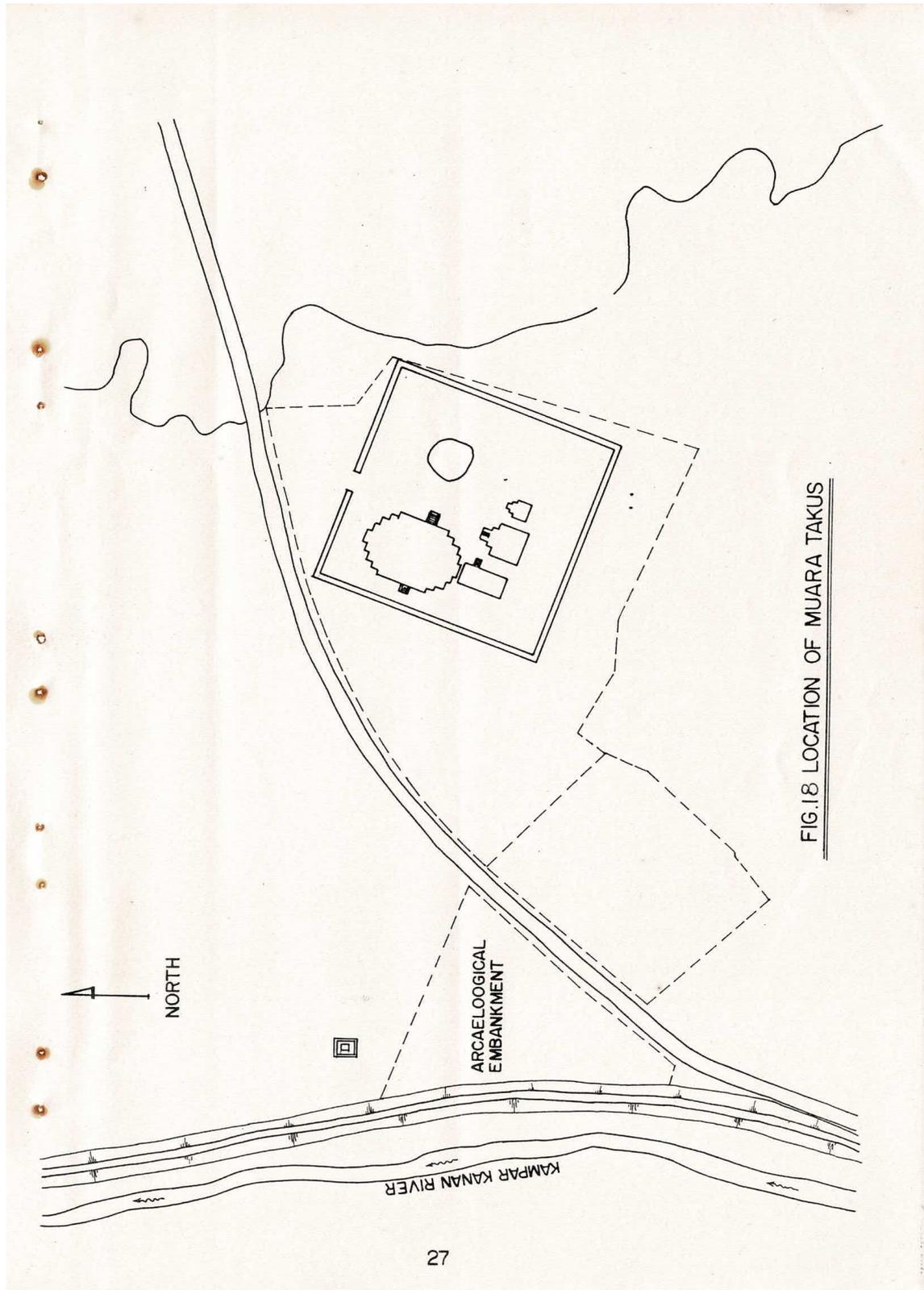
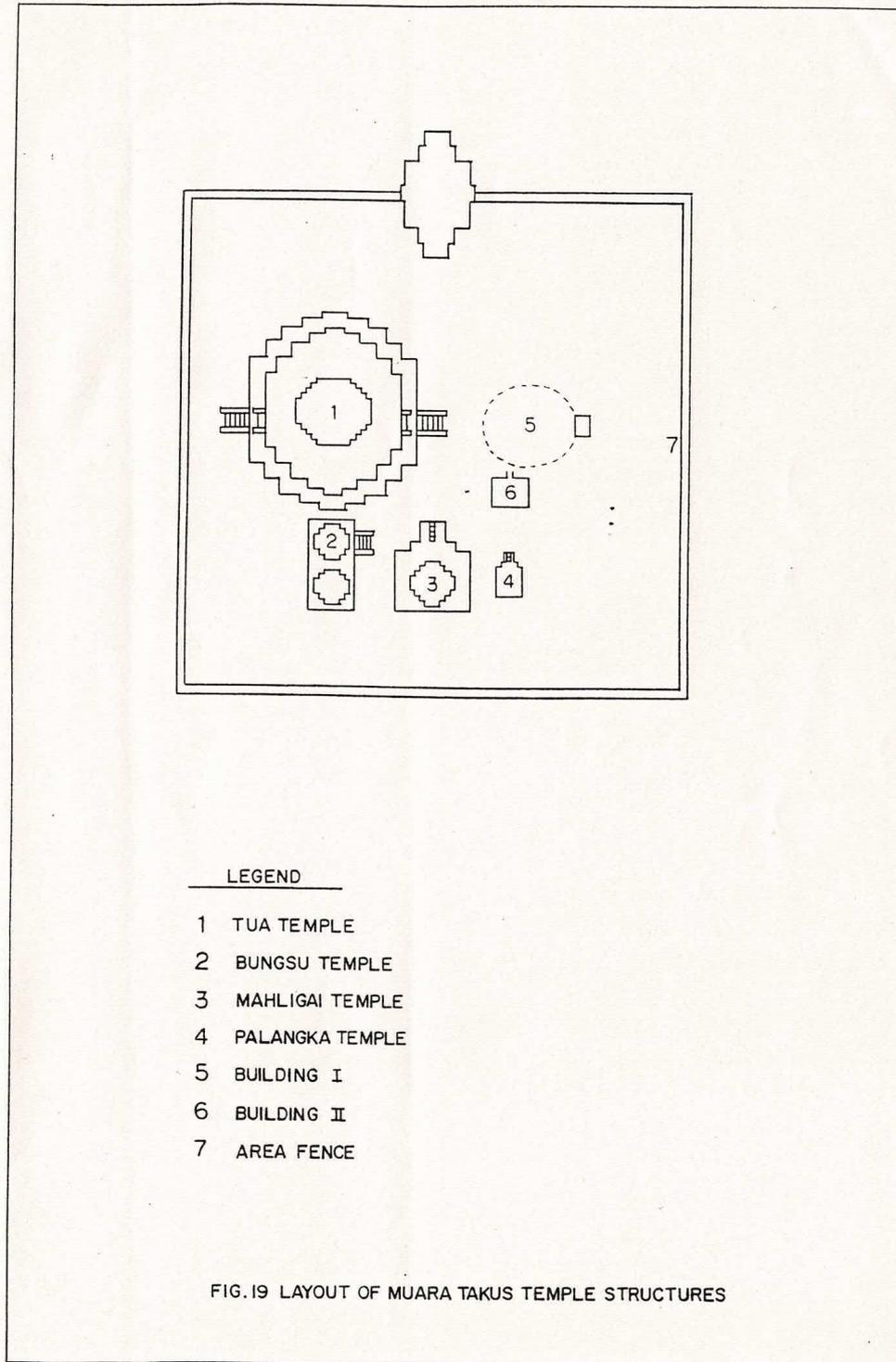


FIG.18 LOCATION OF MUARA TAKUS

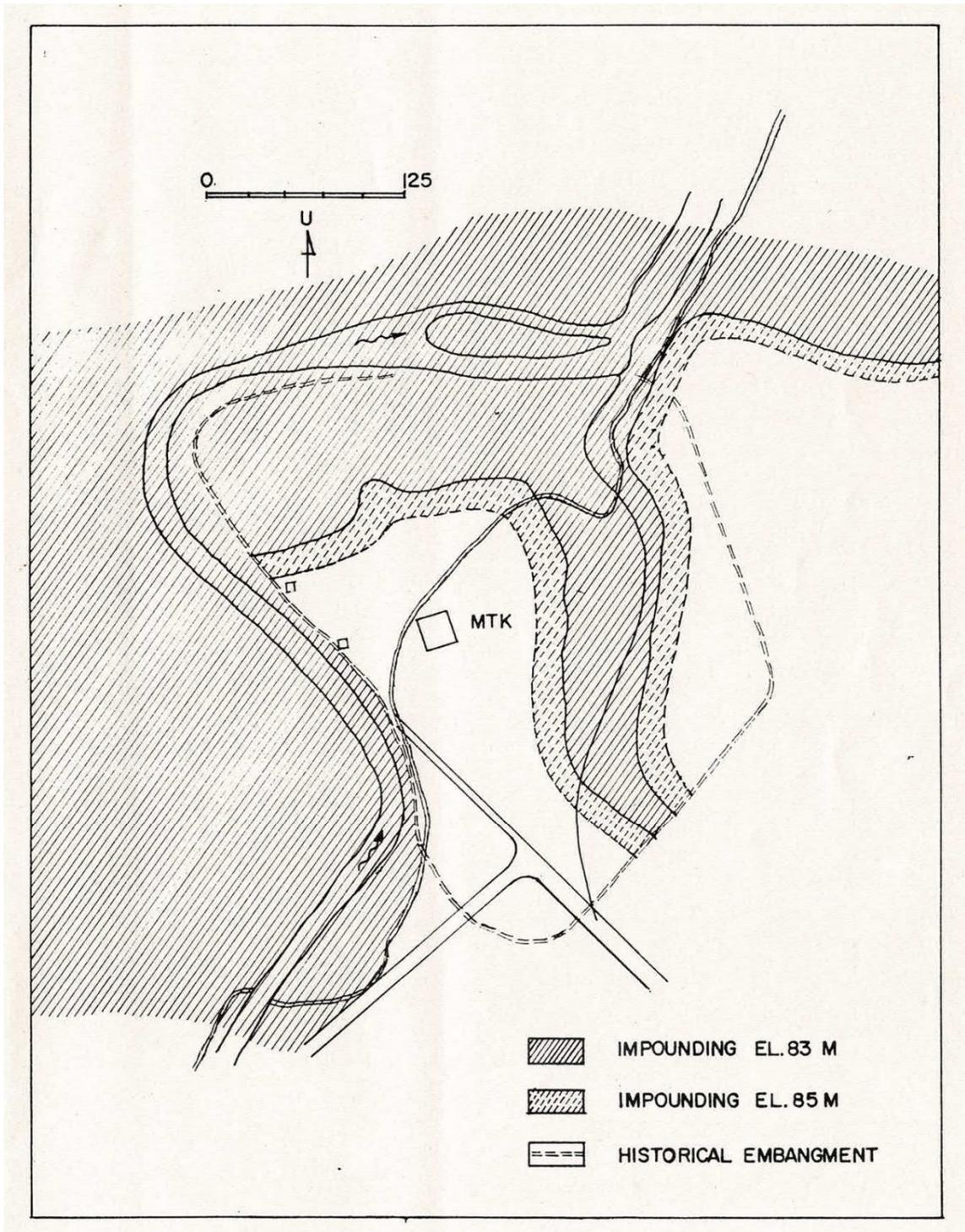
Gambar 18 Lokasi Percandian Muara Takus



Gambar 19 Denah Bangunan Percandian Muara Takus

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 20 Elevasi Muka Air Waduk di Percandian Muara Takus

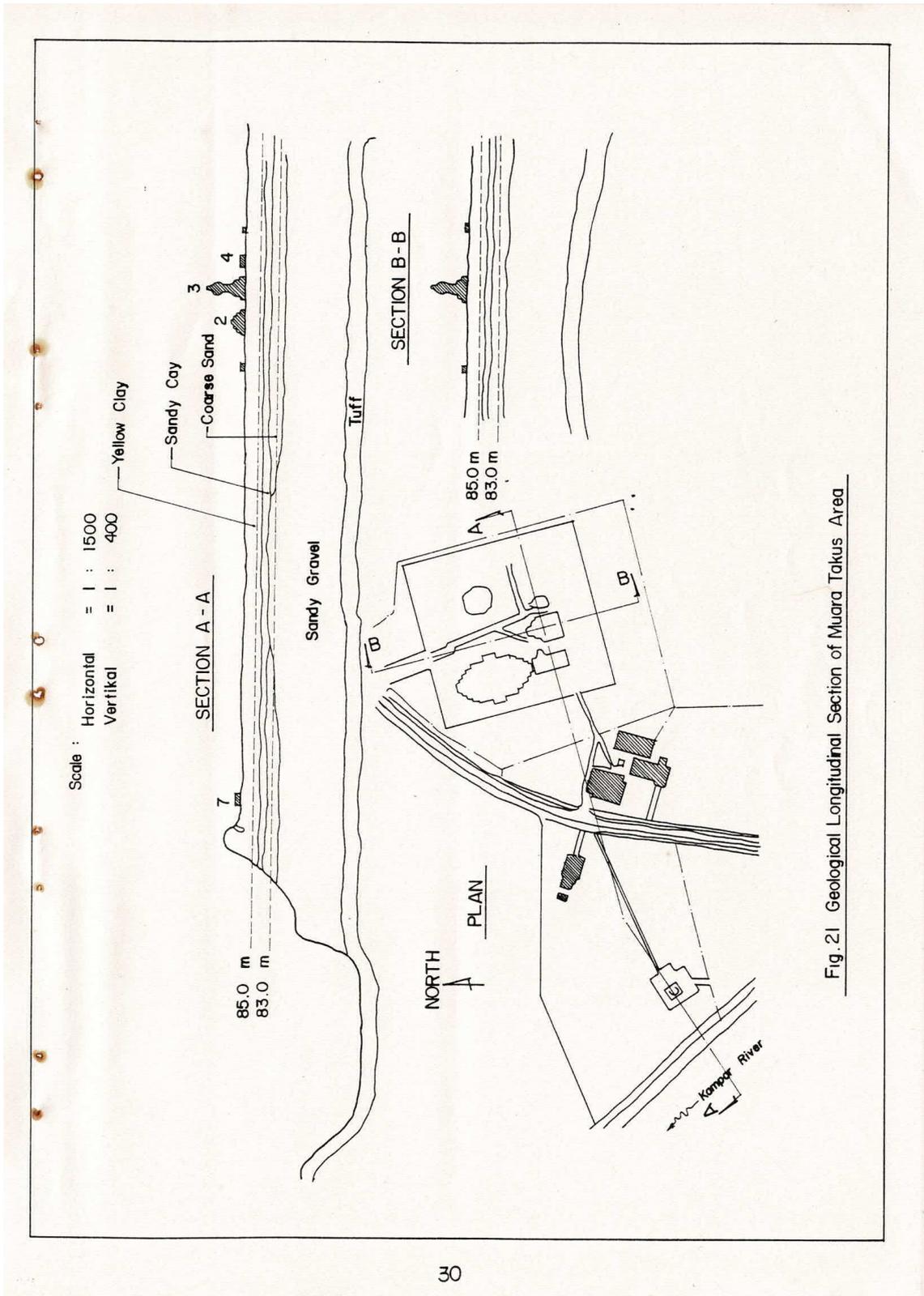


Fig.21 Geological Longitudinal Section of Muara Takus Area

Gambar 21 Potongan Memanjang Geologis Percandian Muara Takus

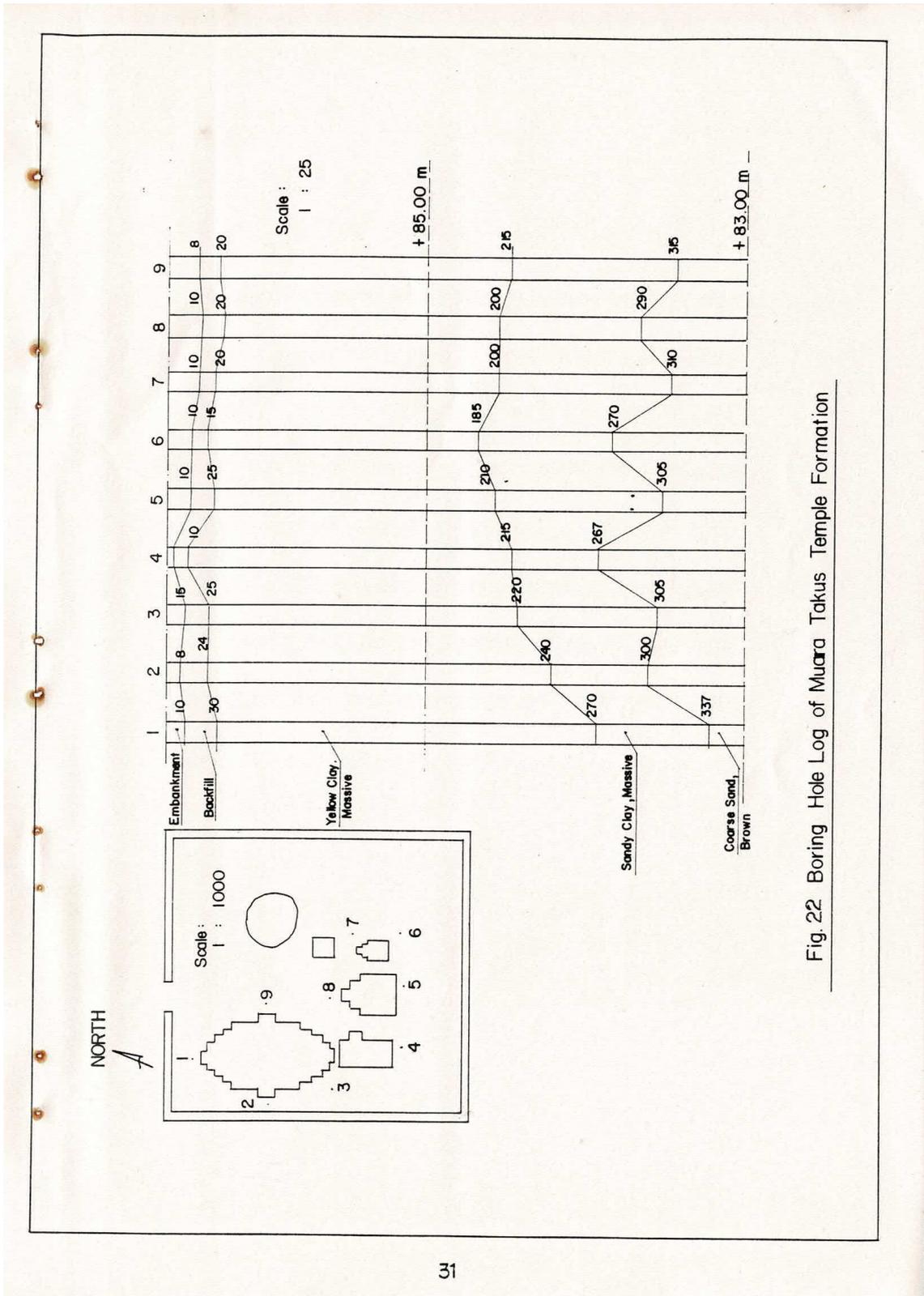
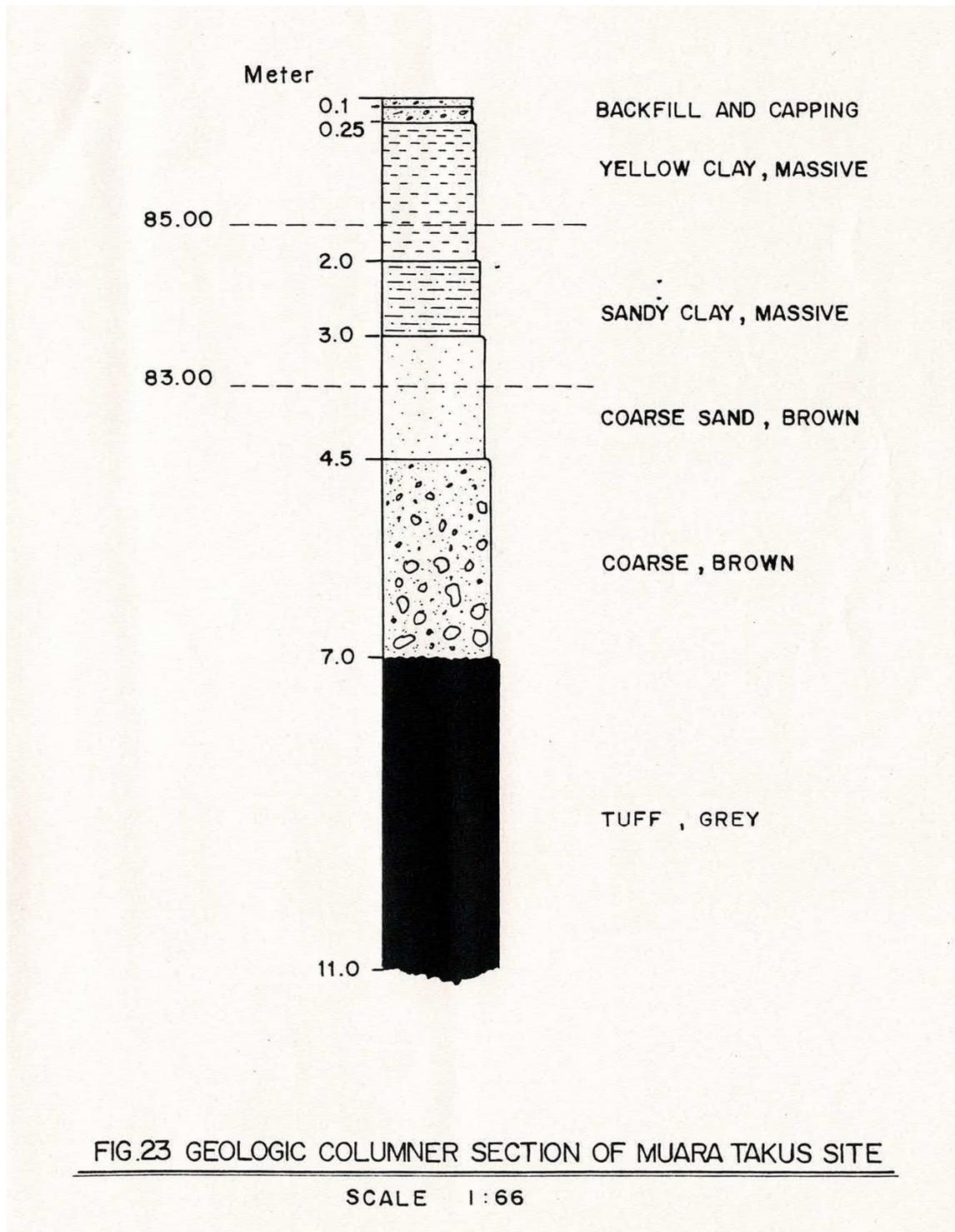


Fig.22 Boring Hole Log of Muara Takus Temple Formation

Gambar 22 Lokasi Pemboran di Sekitar Bangunan Percandian Muara Takus

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 23 Potongan Vertikal di Sekitar Bangunan Percandian Muara Takus

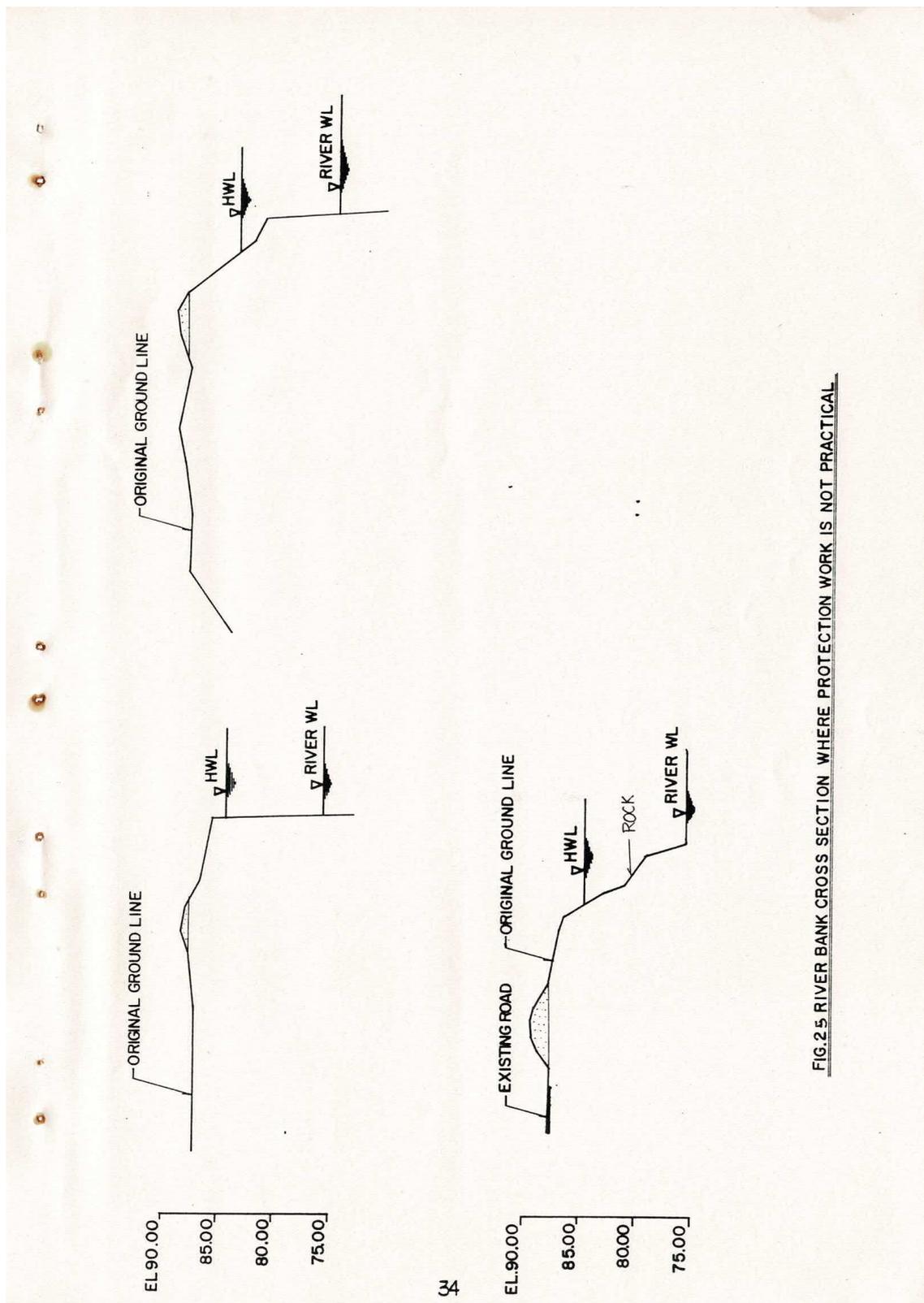
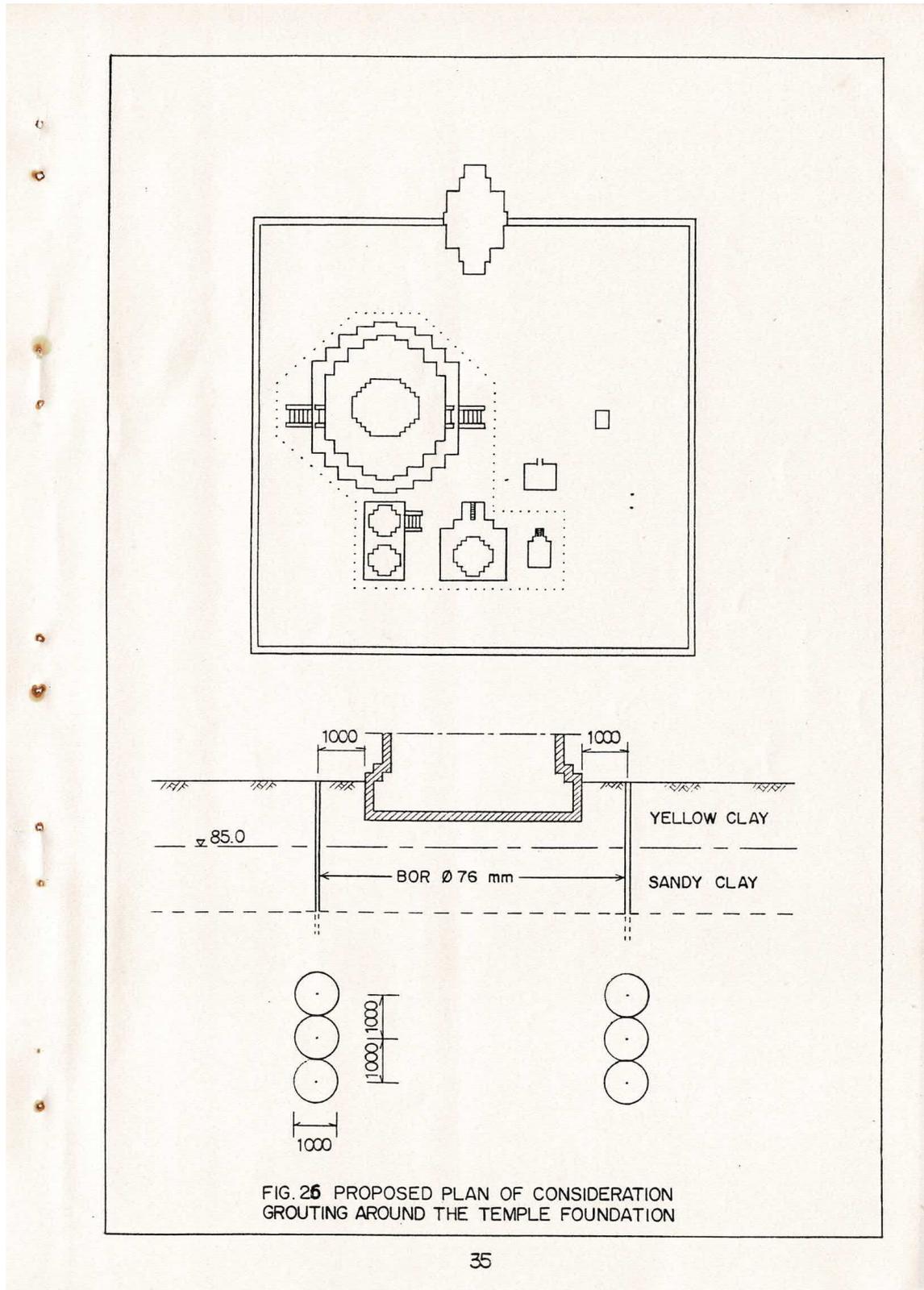


FIG.2.5 RIVER BANK CROSS SECTION WHERE PROTECTION WORK IS NOT PRACTICAL

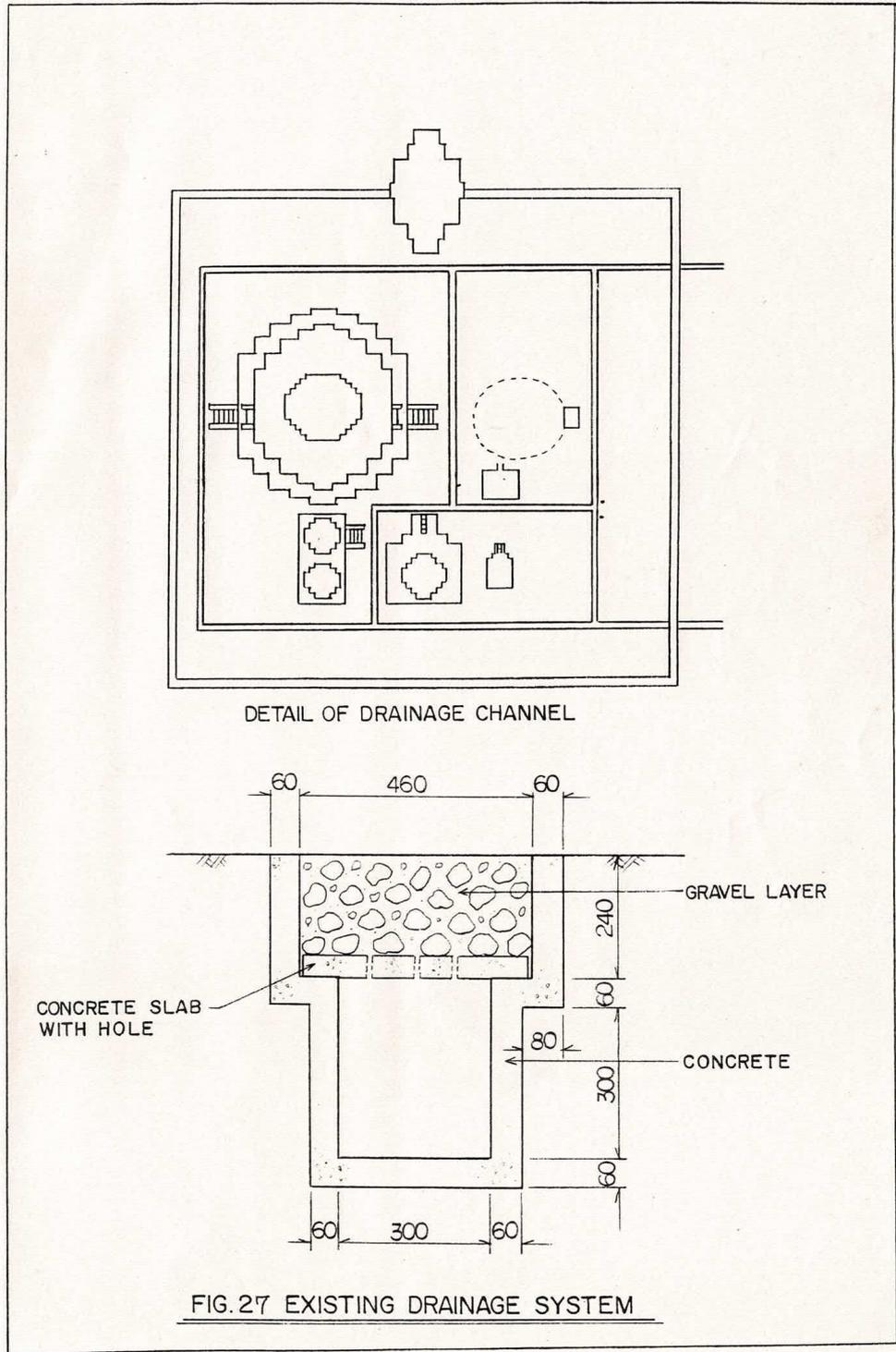
Gambar 25 Potongan lintang tebing sungai di lokasi perlindungan tebing tidak dapat dilaksanakan



Gambar 26 Rancangan Grouting untuk konsolidasi sekitar fondasi percandian

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

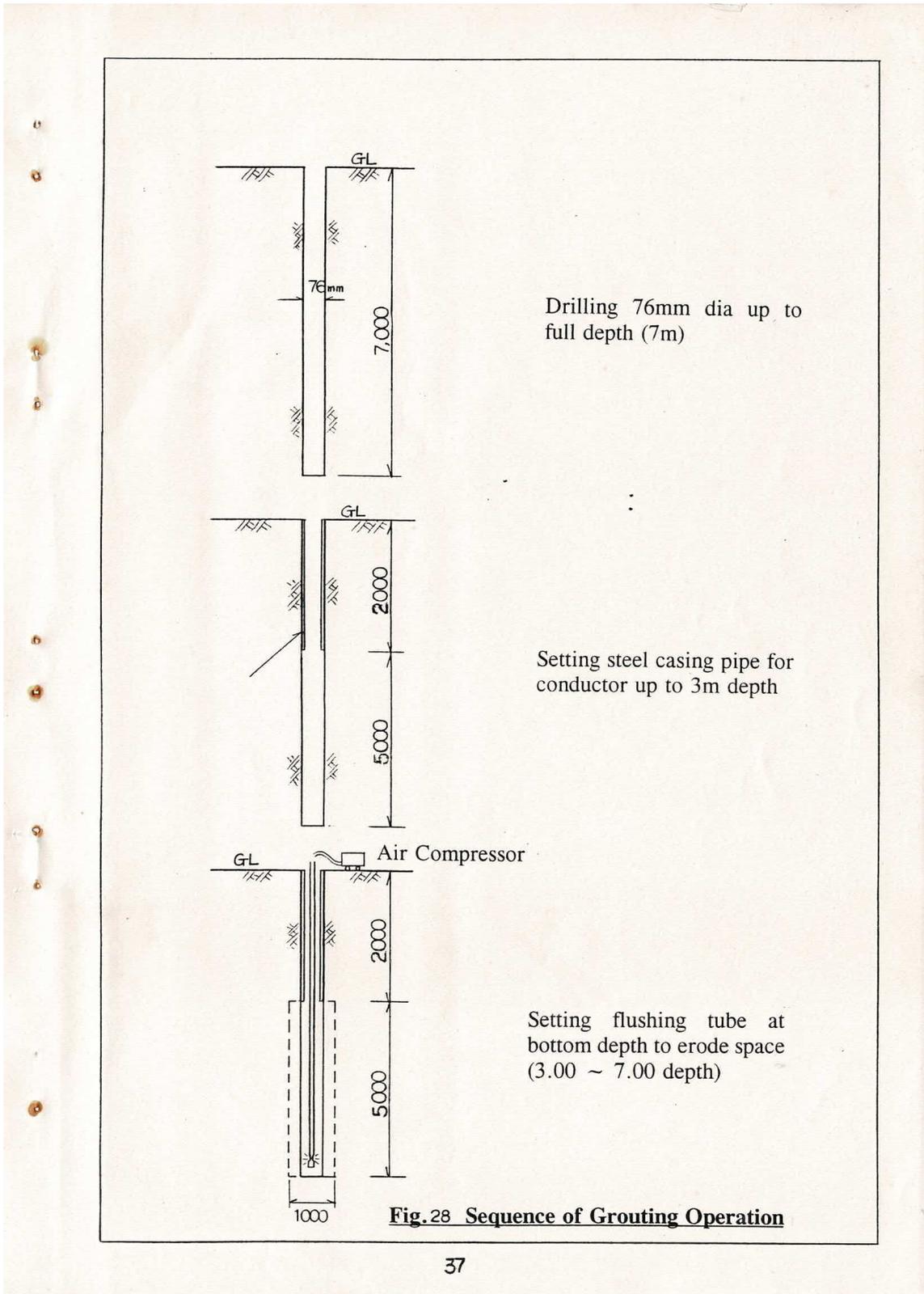
D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 27 Jaringan Drainasi eksisting

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

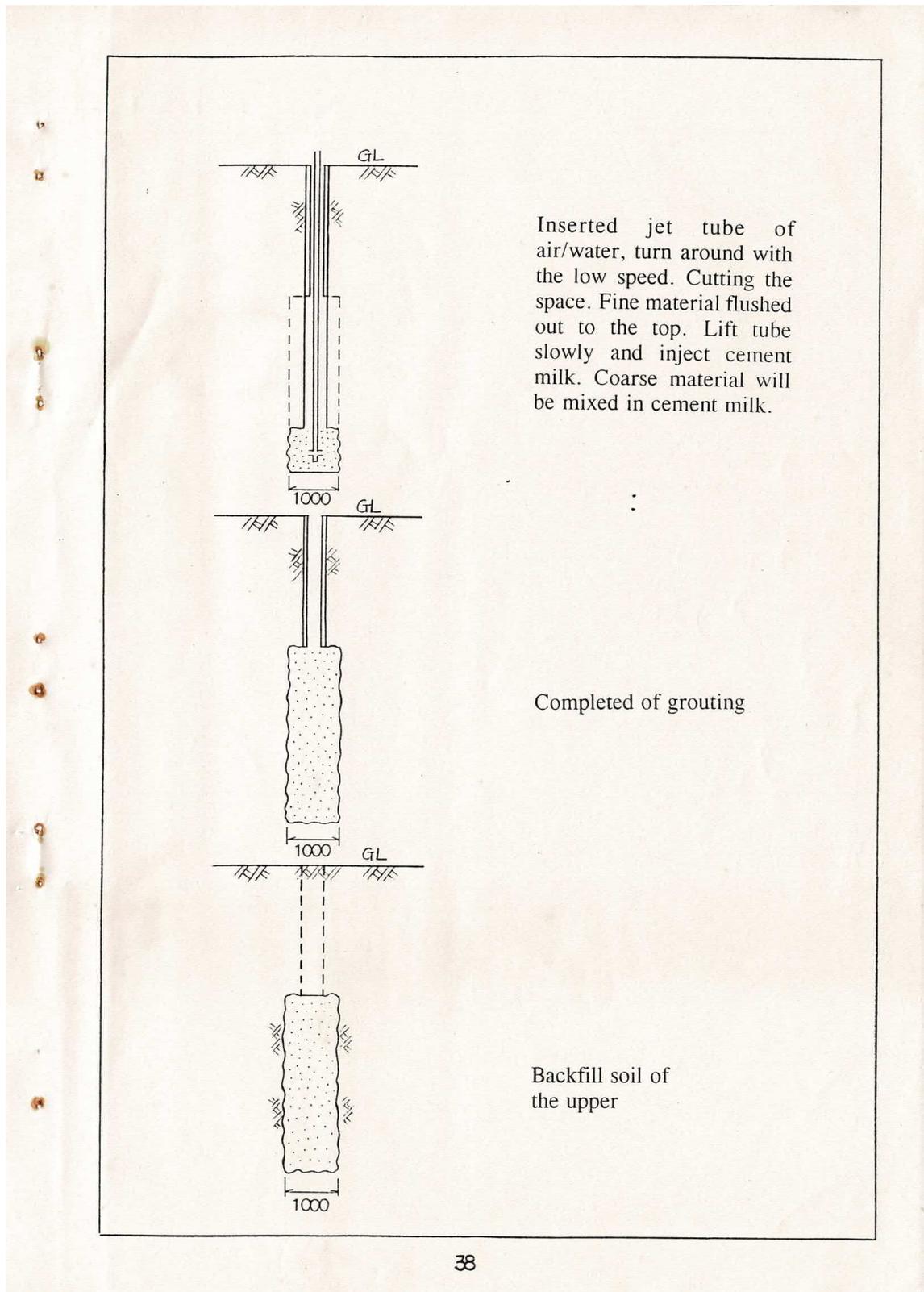
D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 28 Tahapan Pelaksanaan Gouting

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 29 Tahapan Pelaksanaan Gouting

CANDI MUARA TAKUS DAN WADUK PLTA KOTO PANJANG²

Latar Belakang

Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik yang semakin meningkat di Propinsi Riau, maka PLN membangun Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Kotopanjang Kabupaten Bangkinang (Gambar 1). Bangunan waduk dengan membendung Sungai Kampar di Muara Lahat setinggi 58 meter. Luas genangan direncanakan 124 km². Pembangunan waduk ini harus memindahkan penduduk sejumlah 4.886 KK yang daerahnya tergenang air, yaitu 8 desa dari Kabupaten Kampar (Propinsi Riau) dan 2 desa dari kabupaten 50 kota (Propinsi Sumatra Barat).

Di ujung selatan daerah genangan PLTA Kotopanjang terdapat situs Candi Muara Takus yang merupakan peninggalan arkeologi yang sangat bernilai yaitu candi yang bersifat Buddhis. Dengan adanya waduk ini hampir seluruh situs dikelilingi oleh air genangan.

Deskripsi Candi Muara Takus

Kompleks Candi Muara Takus secara administrasi terletak di Desa Muara Takus Kecamatan XIII Kota Kampar, Kabupaten Kampar, Propinsi Riau. Secara keseluruhan Kompleks Candi Muara Takus seluas 94,7 ha di kelilingi oleh tanggul dari tanah sepanjang 4,19 km. Di dalam tanggul kuno terdapat 7 bangunan candi, 6 bangunan berada di dalam pagar keliling sedangkan yang satu berada di luar pagar, tiga bangunan merupakan reruntuhan yang tidak bernama, sedangkan 4 bangunan berupa candi yang telah mengalami pemugaran yaitu Candi Tuo, Candi Bungsu, Candi Mahligai, dan Candi Palangka.

Kompeks Candi Muara Takus dan tanggul kunonya berdasarkan segi arsitekturnya diperkirakan berasal dari abad XI-XII dan bersifat Buddhis (Kusen dkk 1994 dan Atmojo, dkk 1995). Deskripsi fisik dari masing-masing bangunan dapat diuraikan sebagai berikut (Ditlinbinjarah 1983).

1. Tanggul Kuno

Tanggul Kuno terbuat dari urugan tanah sepanjang 4.19 km mengelilingi areal seluas 94,7 ha. Tanggul berukuran lebar bagian dasar antara 5 s/d 8 meter dan bagian atas berkisar 1 s/d 4 meter. Tinggi tanggul berkisar antara 1 s/d 1,5 meter dari permukaan tanah sekarang. Bagian barat dan utara tanggul berbatasan langsung dengan tebing sungai Kampar kanan, sedangkan bagian timur dan selatan berada di dalam lahan kebun karet dan belukar.

Berdasarkan pengamatan penulis di lapangan pada tahun 1983, tanggul kuno bagian utara telah hilang karena runtuh akibat penggrogosan tebing oleh Sungai Kampar kanan. Tanggul yang runtuh sekitar 580 meter. Tanggul yang berbatasan

² dari Majalah Geografi Indonesia, Volume 14, Nomor 1, Maret 2000, halaman 25-38: Dampak Hidrologis Pembangunan Waduk Kotopanjang (Soenarso Simoen)

langsung dengan tebing sungai dan belum runtuh sekitar 1540 meter (Gambar 3).

Pada tahun 1995 berdasarkan pengamatan penulis di lapangan setelah ada pemotongan tanggul oleh jalan raya baru di titik A dan B nampak pada potongan melintang tanggul bahwa di bagian luar dari tanggul terdapat selokan air yang kedalamannya sekitar 2 s/d 3 meter dari permukaan tanah dan lebarnya 3 s/d 4 meter. Selokan ini dulu digenangi air karena terdapat endapan gambut di dalam bekas selokan tersebut. (Gambar 4). Diperkirakan fungsi tanggul dan selokan ini adalah untuk menahan gajah supaya tidak masuk ke kompleks candi mengingat hingga tahun 1983 masih sering ada gajah datang dan masuk kompleks candi.

2. Pagar Keliling Candi

Pagar keliling kompleks Candi Muara Takus terbuat dari balok-balok batu pasir. Pagar keliling berukuran 75 x 75 meter dengan lebar 1,5 meter tinggi sekitar 1 meter. Pintu masuk ke komplek menghadap ke utara. Pemugaran pagar keliling pernah dilakukan tetapi belum sempurna karena banyak batu yang sudah hilang. Berdasarkan pengamatan di lapangan batupasir (*sandstone*) terdapat di dasar Sungai Kampar yang sekarang sudah tenggelam di bawah waduk.

3. Candi Tuo

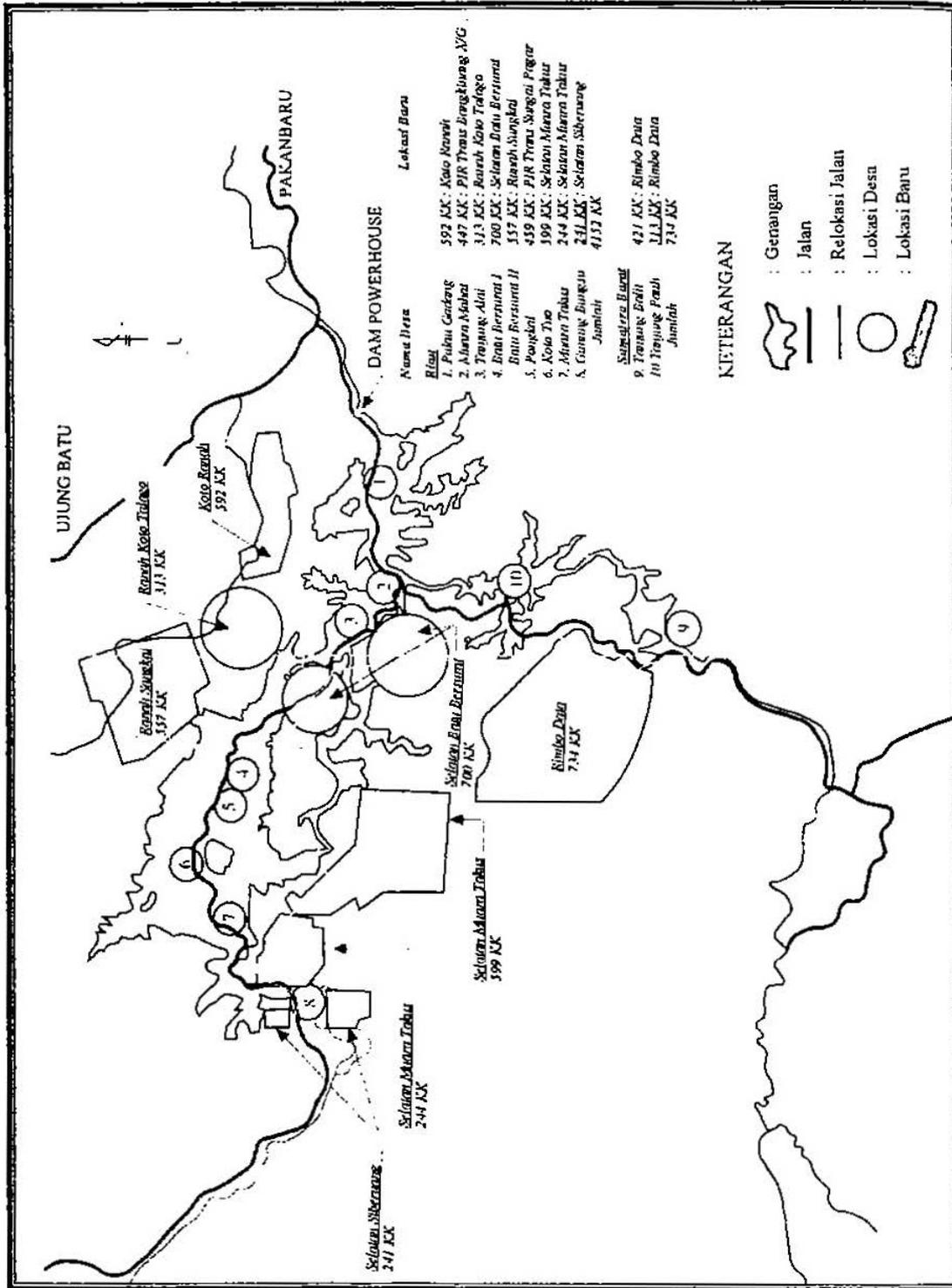
Candi Tuo merupakan bangunan terbesar yang berbentuk stupa yang berdiri di atas "batur" (kaki candi). Hampir seluruh bangunan terbuat dari batu bata hanya pada bagian "*pilaster panil*" yang terbuat dari batupasir. Dasar candi berbentuk empat persegi. Dengan adanya tambahan *penampil* pada keempat sisinya, maka denah bagian dasar candi membentuk denah bersudut sudut, jumlah sudut luar sebanyak 20 buah. Bagian dasar kaki berukuran panjang 32,8 m dan lebar 21,8 m Tinggi dari permukaan tanah hingga ujung atas stupa = 6,18 m. Pada sisi barat dan timur terdapat "undak" naik ke "selasar" pertama dan kedua.

4. Candi Bungsu

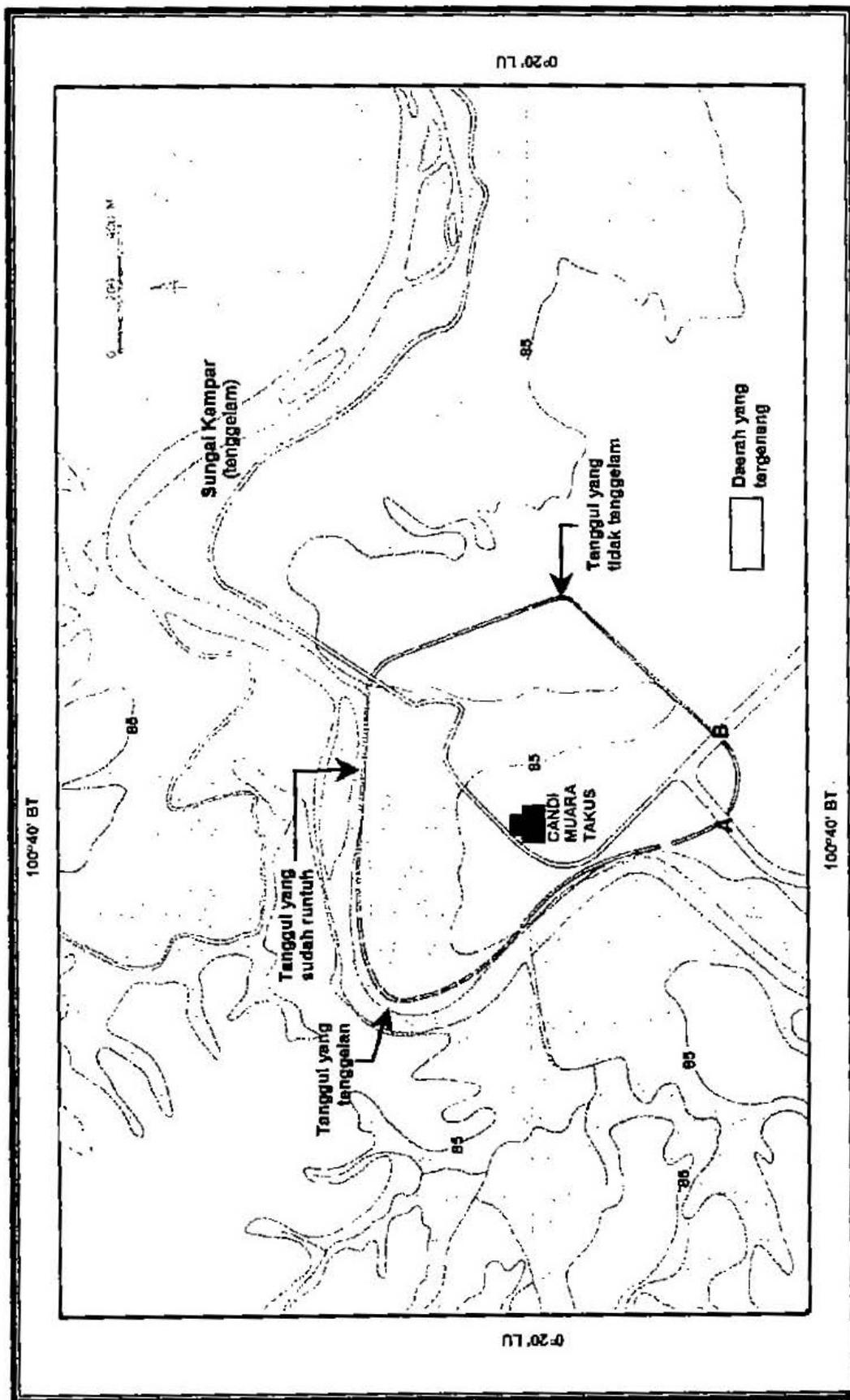
Candi Bungsu terletak di sebelah selatan Candi Tuo. Denah bangunan berbentuk empat persegi panjang dengan ukuran 15,20 m x 7,60 m dan tinggi 2,63 m. bangunan ini dibuat dari batupasir yang kemudian diperluas ke arah selatan dengan batubata. Di sisi timur pada bangunan yang terbuat dari batu pasir terdapat undak-undak naik ke *selasar* candi.

5. Candi Mahligai

Candi Mahligai terletak di sebelah timur Candi Bungsu. Denah bangunan berbentuk persegi empat berukuran 11,70 x 10,40 m tinggi bangunan = 13 m. Bangunan ini dibuat dari batubata dengan sisipan batupasir pada bagian-bagian tertentu. Pada sisi utara terdapat *penampil* dan *undak* untuk naik ke *selasar* candi.



ata Situasi Daerah Genangan dan Permukiman Baru PLTA Koto Panjang



Gambar 3. Prakiraan Daerah Genangan di Sekitar Situs Muara Takus



Gambar 4. Penampang Tanggul Kuno dan Selokan di Situs Muara Takus

6. Candi Palangka

Candi ini berada di sebelah timur Candi Mahligai. Bagian dasar candi berukuran 6,60 x 5,58 m dan tinggi 1,40 m seluruh bangunan dari batubata. Di sisi utara terdapat undak naik ke selasar candi.

7. Bangunan I

Bangunan I berada di sebelah timur bangunan Candi Tuo yang berupa gundukan yang menutupi sisa-sisa runtuh bangunan terbuat dari balok-balok batu pasir membentuk denah berukuran 13,60 m x 13,20 m.

8. Bangunan II

Bangunan II berada di depan Candi Palangka juga merupakan gundukan tanah yang menutupi runtuh bangunan dengan denah bujur sangkar berukuran 5,57m x 5,75m.

9. Bangunan III

Bangunan III berada di luar pagar keliling berada di sebelah barat kompleks dengan jarak 137 rn. Denah bangunan empat persegi panjang 3 x 2,40 m dan tinggi 1,75m. Tata letak candi-candi dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Pengaruh Genangan Terhadap Kelestarian Candi

Dengan adanya genangan waduk yang hampir mengelilingi seluruh kompleks hanya sekitar 16% dari keliling kompleks yang tidak tergenang pada elevasi muka air waduk 85 m dpal. Bagian yang tidak tergenang ini terletak di bagian selatan.

Bahaya terhadap kompleks situs Candi Muam Takus dari segi proses hidrologi dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

1. genangan air akan menimbulkan air kapiler ke permukaan tanah dan meninggikan kelembaban batubata;
2. air kapiler dan air hujan yang terhambat meresap menyebabkan tanah lempung dasar candi menjadi lebih lembek;
3. gelombang air di waduk akan meruntuhkan tebing terutama bagian barat.

Pembahasan

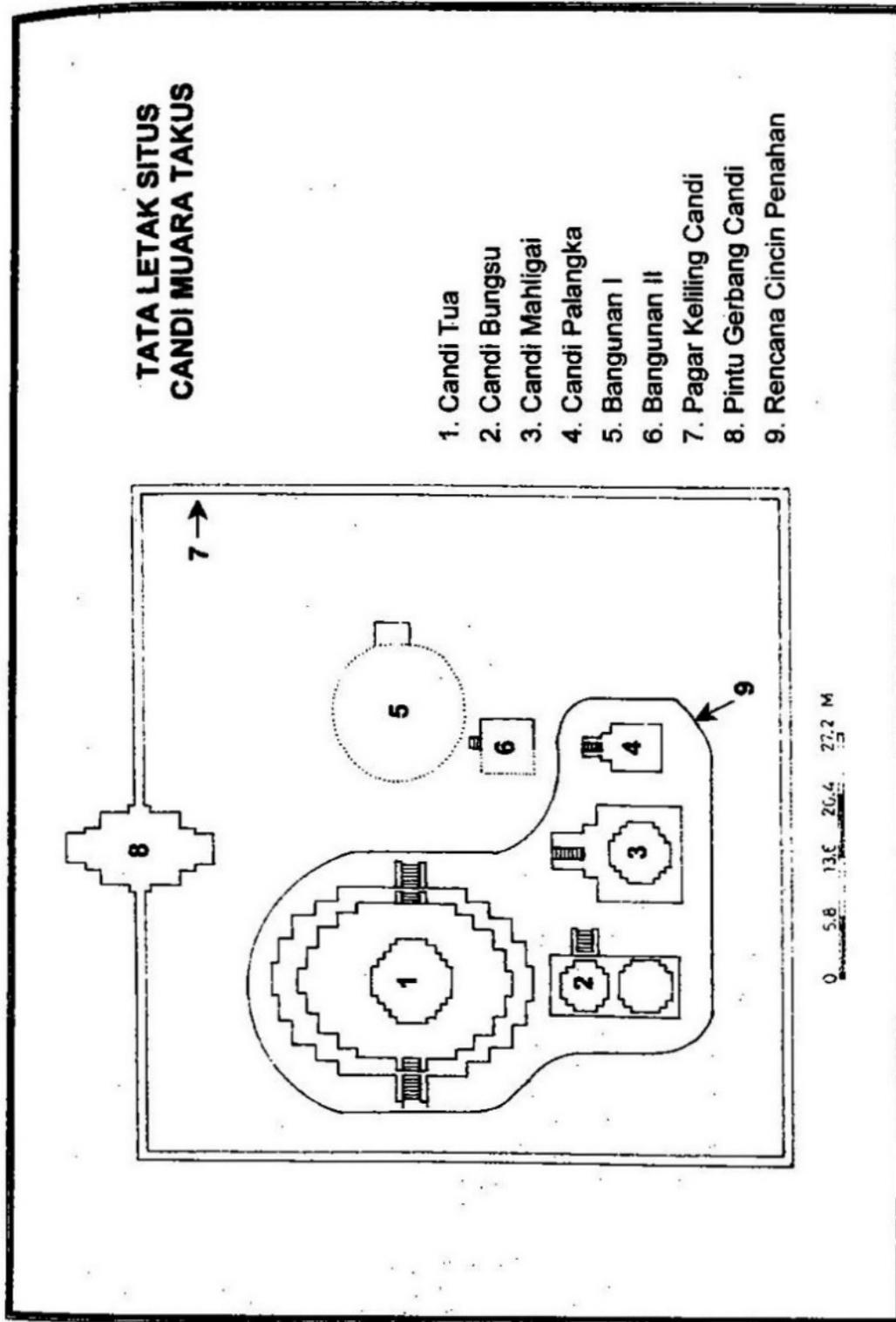
Berdasarkan penelitian geolistrik di kompleks situs Candi Muara Takus (Soenarso Simoen 1983) didapatkan bahwa pada lapisan atas merupakan lempung kuning berpasir dengan *resistivitas* antara 1000-1500 ohm meter. Di bawahnya terdapat pasir berlempung dan pasir kwarsa dengan *resistivitas* 2500-4000 ohm meter di bawahnya lagi terdapat krakal (*gravel*) berpasir dengan *resistivitas* 5000-10000 ohm meter. Kemudian di bagian paling bawah didapatkan lapisan batuan tuf pasiran dengan *resistivitas* 40-140 ohm meter.

Dari hasil penelitian geolistrik tersebut dibantu pengecekan dengan pengeboran dapat dibuat penampang stratigrafi melalui kompleks situs Candi Muara Takus (Gambar 7 dan Gambar 8).

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 nampak kalau elevasi muka air waduk mencapai 85 meter dpal, muka air akan mencapai pada lapisan lempung dan akan menyebabkan lapisan lempung ini menjadi lembek dan oleh tekanan bangunan candi akan terjadi gerakan tanah (*Earthflow*) ke samping (Thorbury, 1958). Kalau gerakan karena tekanan ini tidak seimbang maka akan terjadi kemiringan bangunan. Di samping itu akan terjadi air kapiler lewat lempung dan akan melembabkan bangunan yang terbuat dari batubata. Menurut Lohman dalam Todd 1980 air kapiler pada lempung dan debu dapat mencapai 100-200 cm. Jarak muka tanah di bawah candi (86,75 m dpal) terhadap muka airtanah pada genangan maksimum (85 m dpal) hanya 1,75 meter berarti pada genangan maksimum air kapiler dapat mencapai candi Tetapi berdasarkan perhitungan data curah hujan di daerah tangkapan air waduk pencapaian elevasi muka air waduk 85 m dpal mempunyai periode ulang 200 tahun.

Muka air waduk normal adalah pada elevasi 83 m dpal. Pada elevasi ini muka air berada pada lapisan pasir sehingga proses pembasahan lempung agak kecil dan proses kapiler rendah. Muka air waduk terendah adalah pada elevasi 80 m dpal pada elevasi ini muka air waduk berada pada lapisan krakal berpasir yang lepas lepas (*unconsolidated*), berarti gelombang yang terjadi di permukaan air ini akan

meruntuhkan tebing terutama di bagian barat dan akan terjadi penggogosan di bawah tanggul dan akan berakibat runtuhnya tanggul kuno.



Gambar 5. Tata Letak Percandian Muara Takus

Gelombang ini akan lebih besar pada saat angin datang dari selatan (N280°E) dan

angin yang datang dari barat laut (N280°E) karena pada saat angin ini bertiup gerak air bertiup tanpa halangan (*Fetch*) lebih panjang menurut teori makin panjang "*fetch*" nya akan makin besar gelombangnya (Bhatt 1978).

Penanggulangan Dampak

Untuk menanggulangi dampak yang mungkin terjadi dilakukan dengan

1. terjadinya "*earthflow*" dapat ditahan dengan membuat penahan keliling dengan kekuatan yang cukup
2. terjadinya penggerosan tebing yang terjadi dapat dihindari dengan membuat talud di tebing sebelah barat terutama pada lapisan yang berkerakal dan berpasir.

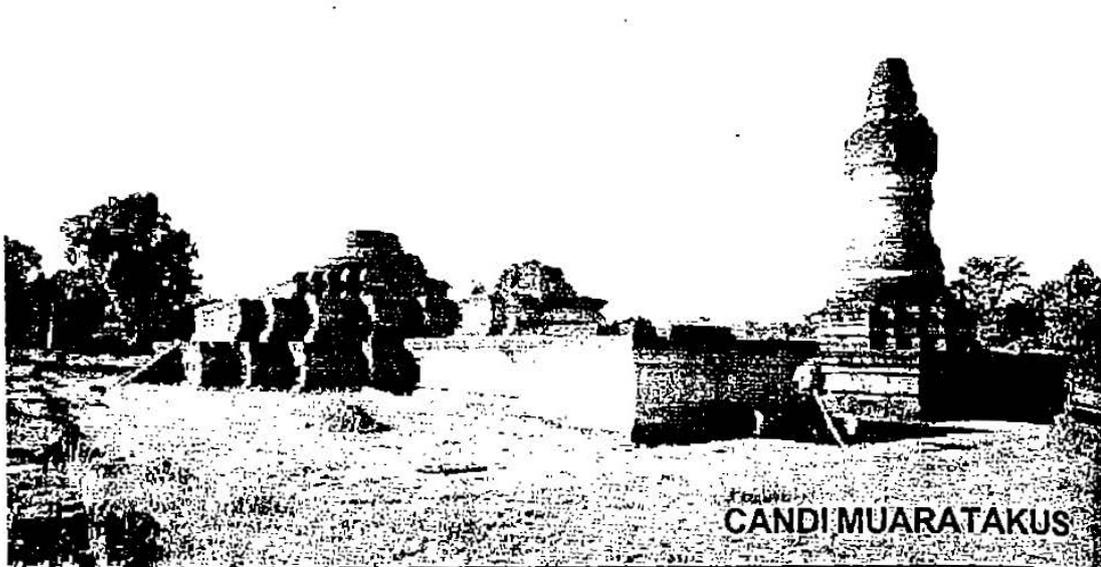
Kondisi Situs Setelah Waduk Kotopanjang Digenangi

Pada tahun 1997 waduk PLTA Kotopanjang digenangi sampai dengan akhir tahun 1999 penahan "*earthflow*" keliling kompleks candi belum ada:

1. Muka air waduk berkisar pada elevasi 83 m dpal dan 80 m dpal
2. Talud di bagian barat juga belum dibuat.

Kesimpulan

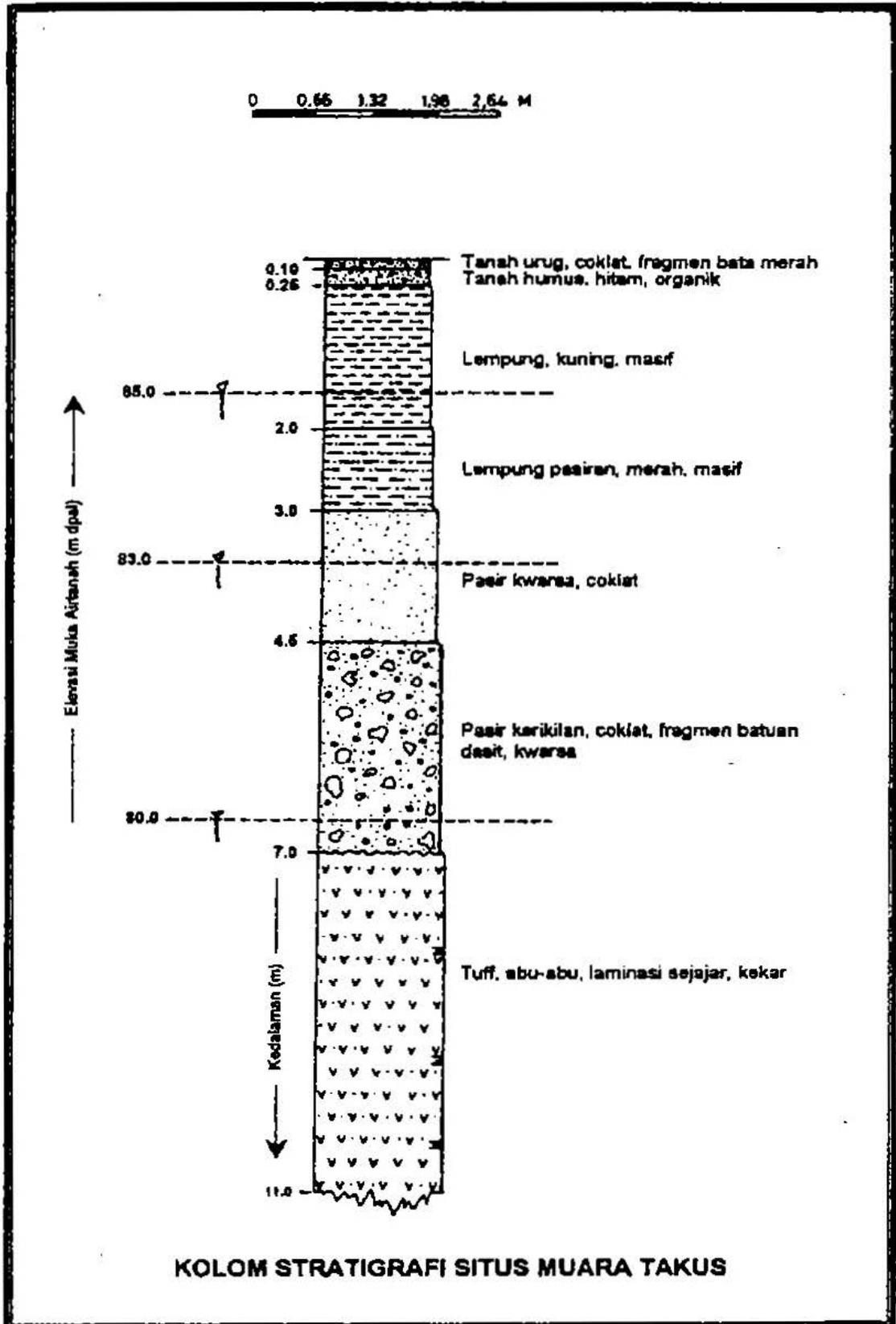
Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dampak lembeknya lanah dasar candi dan meningkatnya kelembaban batubata candi karena genangan kecil sekali kemungkinannya karena elevasi air 85 m dpal jarang sekali terjadi. Dampak genangan yang utama adalah pada elevasi 80 - 83 meter dpal akan meruntuhkan lapisan pasir berkerakal dan meruntuhkan tanggul keliling bagian karat, yang sampai sekarang tidak di talud.



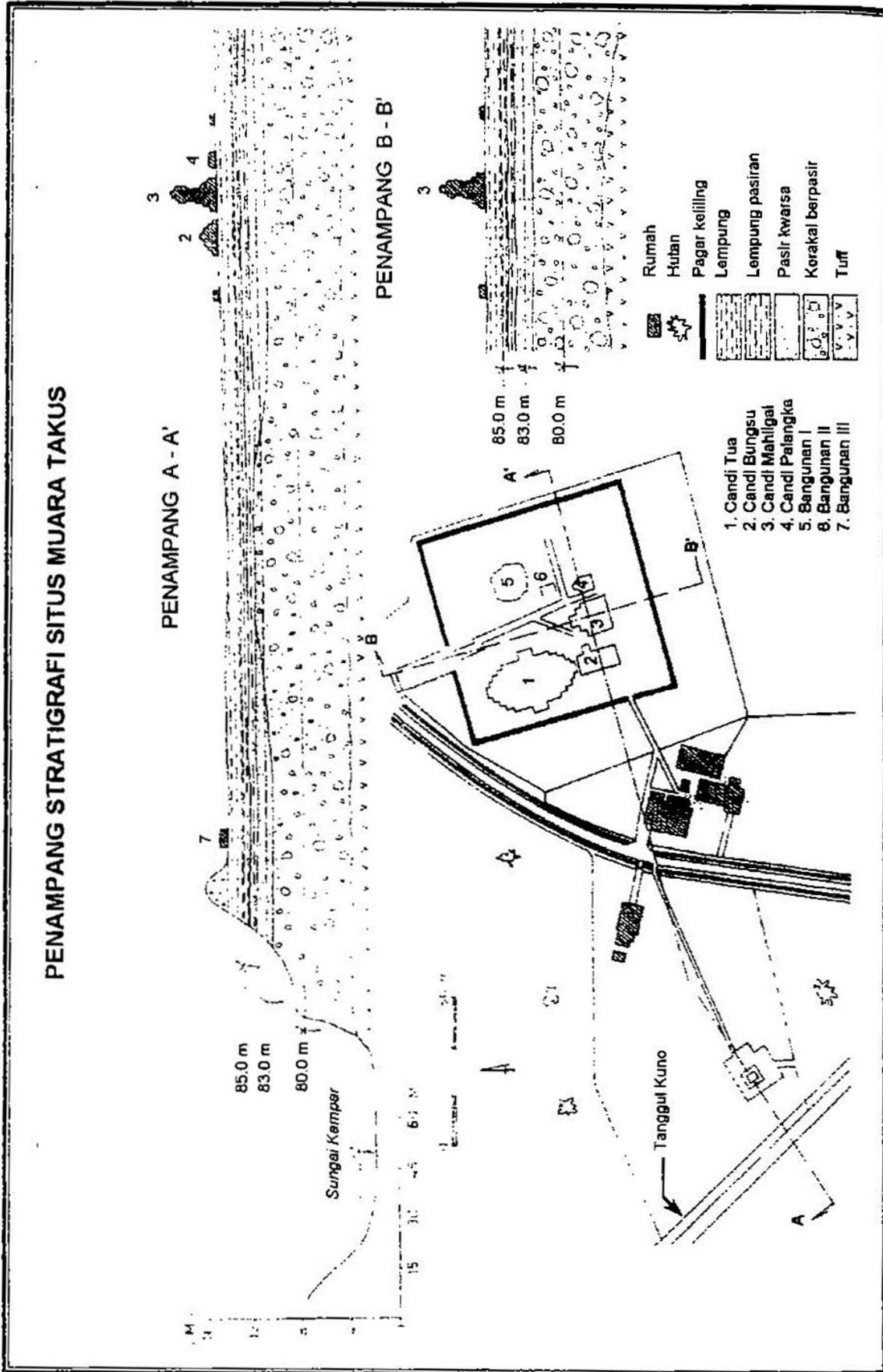
Gambar 6. Foto Kompleks Candi Muaratakus (dari Selatan)

Last saved: Wednesday, 25 December 2024

D:\Presentasi\Muara Takus\Hidrologi-Hidraulika.docx (15515 Kb)



Gambar 7. Kolom Stratigrafi Situs Muara Takus



Gambar 8. Penampang Stratigrafi Situs Muara Takus

PLTA KOTO PANJANG³

Sejarah Berdirinya PLTA Kota Panjang

Proyek PLTA Kota Panjang berlokasi di Desa Rantau Berangin, Kabupaten Kampar Provinsi Riau, sekitar 20 km dari Bangkinang atau 87 km dari Pekanbaru yang dapat membangkitkan tenaga listrik sebesar 114 MW atau 542 GWh pertahun dengan membuat bendungan beton setinggi 58 m pada aliran sungai kampar. Luas daerah tangkapan air (catchment area) PLTA Kota Panjang sekitar 3.337 km² dengan debit air tahunan rata-rata 184.4 m³/s.

Biaya pembangunan proyek PLTA Kota Panjang berasal dari pemerintah Indonesia melalui dana APBN dan Non APBN (APLN) dan dana pinjaman luar negeri dari *Oversease Economic Cooperation Funds* (OECF), Jepang. Biaya pembangunan proyek PLTA Kota Panjang sekitar 700 Milyar Rupiah.

Adapun kondisi alam di lokasi proyek PLTA Kota Panjang sebagai berikut:

1. Temperatur udara rata-rata 20°C
2. Kelembaban udara rata-rata 84
3. Curah hujan 2700 mm/hujan

Proyek PLTA Kota Panjang memanfaatkan arus sungai Kampar Kanan yang akan diharapkan dapat menghasilkan daya listrik sebesar 114 MW dan membangkitkan tenaga listrik dengan produksi energi sebesar 542.000.000 kWh/tahun. Energi listrik yang dibangkitkan akan digunakan untuk memenuhi tenaga listrik untuk wilayah Sumbar dan Riau khususnya untuk kota Pekanbaru sebagai pusat pemerintahan Provinsi Riau.

Proyek PLTA Kota Panjang diinterkoneksi dengan PLTU Ombilin berkapasitas 200 MW yang mencakup Gardu Induk Salak, Gardu Induk Solok, Gardu Induk Indarung, Gardu Induk Teluk Bayur, Gardu Induk Kandis, Gardu Induk Padang Luar, Gardu Induk Payakumbuh, PLTD Simpang Haru, PLTD/ PLTG Pauh Limo, PLTA Batang Agam melalui switchyard yang ada pada PLTA Kota Panjang dan selanjutnya akan dihubungkan pula dengan PLTD/G dan Gardu Induk sekitar Pekanbaru.

Deskripsi Proyek

Proyek PLTA Kota Panjang terletak di Rantau Berangin, Kecamatan Bangkinang. Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, sekitar 20 km dari Bangkinang atau 87 km dari Pekanbaru yang dapat membangkitkan tenaga listrik sebesar 114 MW atau 542 GWh pertahun dengan membuat bendungan beton setinggi 58 m pada aliran Sungai Kampar.

Jadwal Pembangunan

Maret 1987 – Februari 1997: Pembebasan Tanah

Maret 1987 – Desember 1993: Pekerjaan Prasarana Kontruksi

Febuari 1993 – Maret 1997: Relokasi Jalan Nasional dan Provinsi

³ Diambil dari [Profil Perusahaan « PLTA Kota Panjang 114 MW](#)

Oktober 1992 – Desember: 1997 Pekerjaan Utama

Maret 1997 – Agustus 1997: Penggenangan (Impounding)

Juli 1990 – Maret 2003: Pemantauan Program Kependudukan dan Lingkungan Hidup

Sumber Dana

Biaya pembangunan proyek PLTA Kota Panjang berasal dari Pemerintah Indonesia melalui dana APBN dan Non APBN (APLN) dan dana pinjaman luar negeri dari *Overseas Economic Cooperation Funds* (OECF) Jepang. Jumlah biaya pembangunan proyek PLTA Kota Panjang sekitar 700 milyar Rupiah.

Kegiatan PLTA Kota Panjang

Produksi dan sistem pengoperasian kegiatan ini adalah pembangkit tenaga listrik dengan total day terpasang 114 MW (3 unit masing-masing 38 MW) atau 542GWh pertahun dengan membuat bendungan beton setinggi 58 m pada aliran sungai kampar. Luas daerah tangkapan air (catchment area) PLTA Kota Panjang sekitar 3.337 dengan dbit air tahunan rata-rata 184.4 s.

Untuk menghasilkan energi listrik sebesar 114 MW, dioperasikan 3 unit turbin dengan kapasitas masing-masing 38.000 kW, yang disalurkan melalui transmisi tegangan tinggi 150 kV ke sistem interkoneksi dengan pembangkit besar yang ada di Sumatera.

Kegiatan dan Kondisi Perusahaan Secara Umum

PLTA Kota Panjang 3×38 MW mulai beroperasi pada tahun 1998, disamping untuk memenuhi sistem tenaga listrik Riau, PLTA Kota Panjang juga interkoneksi dengan sistem Sumatera Barat dengan menggunakan jaringan transmisi 150 kV. Saat ini sistem interkoneksi PLTA Kota Panjang terhubung se-Sumatera namun dibagi atas dua sistem jaringan transmisi yakni utara dan selatan. PLTA Kota Panjang merupakan sistem jaringan transmisi utara yang terinterkoneksi langsung ke selatan melalui gardu induk Payakumbuh. Karena PLTA Kota Panjang beroperasi langsung ke sistem selatan yakni Sumatera Barat, maka pengaturan operasional PLTA Kota Panjang dilakukan oleh Pusat Pengaturan dan Penyaluran Beban Sumatera (P3BS) yang berada di Sumatera Barat. Adapun data-data teknis dari PLTA Kota Panjang:

1. Kapasitas Pembangkit

Daya Maksimum: 114 MW (3 × 38 MW)

Daya Maksimum Operasi: 348 m³/ sec

Produksi energi rata-rata pertahun: 542 GWh

2. Daerah Genangan

Kapasitas genangan: 545 Juta m³

Ketinggian muka air maksimum: 85,0 m

Ketinggian muka air minimum: 73,5 m

Luas area genangan: 124 km²

Rata-rata debit masuk pertahun: 184,4 m³/det

3. Dam

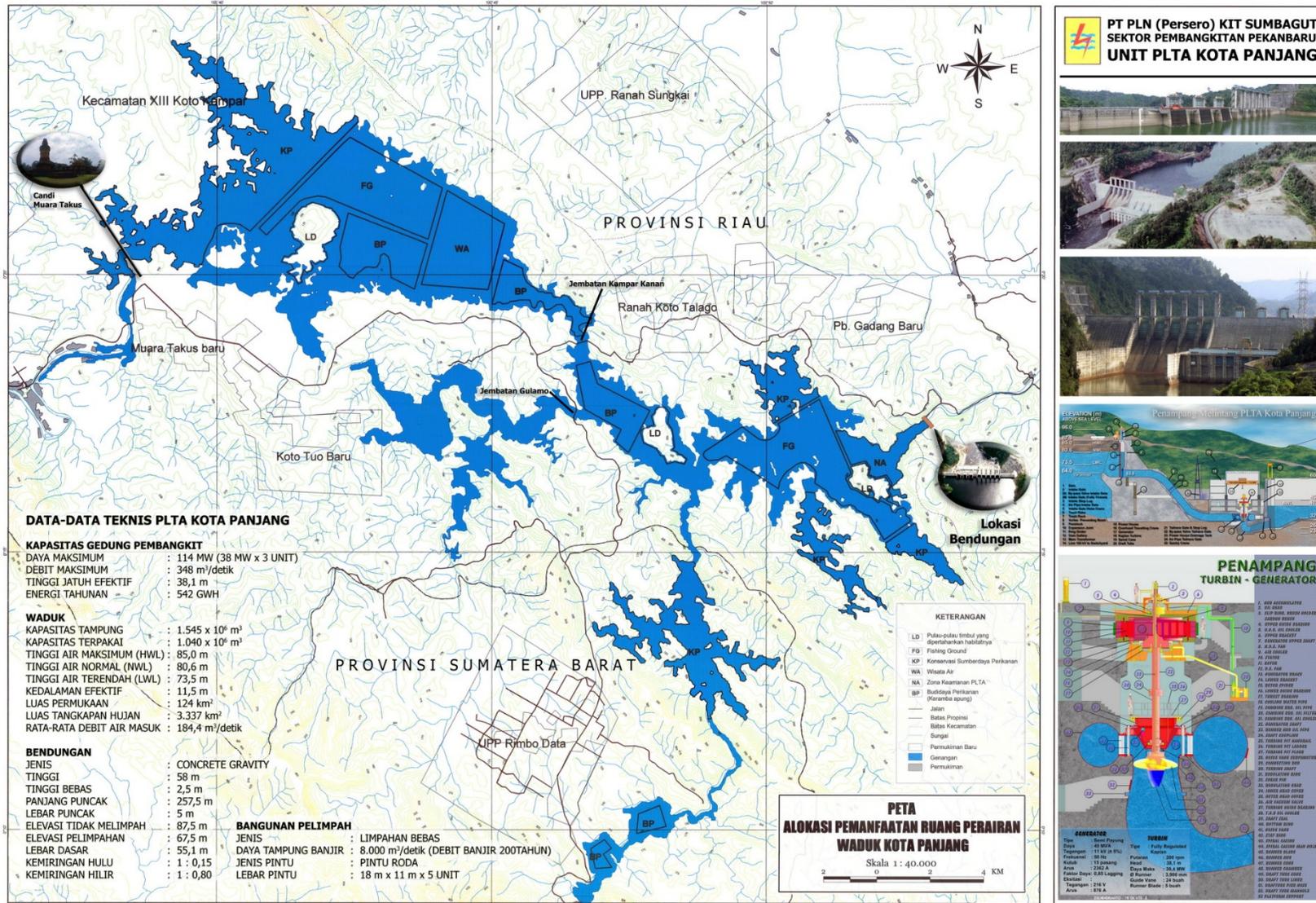
Type Dam: Concrete Gravity

Tinggi: 58,0 m

Panjang puncak: 257,5 m

Volume Dam: 330.000 m³

Last saved: Wednesday, 25 December 2024



ika.docx (33 Kb)

7. Turbin

Type: Vertical Shaft, Kaplan

Kapasitas terpasang: 39.400 Kw × 3 unit

Tinggi efektif: 38,1 m

8. Generator

Type: 3 phase AC

Kapasitas: 45.000 kVA × 3 unit

Voltage: 11 kV

9. 10. Transformator Utama

Type: 3 phase ONAF out door

Kapasitas: 45.000 kVA × 3 unit

Voltage: 11/150 kV

Struktur Organisasi PLTA Kota Panjang

Dalam struktur keorganisasian, PLTA Kota Panjang dipimpin oleh seorang Manajer unit. Untuk menjalankan segala kewajibannya, seorang pemimpin PLTA dibantu oleh kepala seksi disamping itu juga teknisi-teknisi dibidang kelistrikan, mesin-mesin, sipil dan tata usaha.

REFERENSI LENGKAP DRAINASI PERCANDIAN MUARA TAKUS

Elevasi Normal dan Maksimum Waduk

Perbedaan utama antara **elevasi normal** dan **elevasi maksimum** waduk terletak pada fungsi dan tingkat ketinggian permukaan air:

1. Elevasi Normal Waduk

- **Definisi:** Tinggi permukaan air waduk saat beroperasi dalam kondisi normal atau rata-rata.
- **Fungsi:**
 - Digunakan untuk memenuhi kebutuhan operasional seperti irigasi, air baku, pembangkitan listrik, dan ekosistem.
 - Tingkat air yang diharapkan dalam kondisi tanpa banjir.
- **Ruang Tampung:** Di bawah elevasi normal, terdapat kapasitas waduk untuk menyimpan air untuk kebutuhan rutin.

2. Elevasi Maksimum Waduk

- **Definisi:** Tinggi permukaan air tertinggi yang diizinkan dalam kondisi ekstrem, seperti saat terjadi hujan deras atau banjir.

- **Fungsi:**
 - Menunjukkan batas aman ketinggian air untuk mencegah meluapnya waduk atau kerusakan pada struktur bendungan.
 - Mengacu pada kapasitas maksimum waduk, termasuk ruang pengaman (freeboard) di atas elevasi normal.
- **Ruang Tampungan:** Di atas elevasi normal, ruang ini digunakan sebagai tampungan sementara untuk air banjir sebelum dialirkan melalui *spillway*.

Kesimpulan

- **Elevasi Normal:** Untuk kondisi rutin dan operasi sehari-hari.
- **Elevasi Maksimum:** Untuk kondisi darurat, batas aman tertinggi saat kapasitas waduk penuh.
Elevasi maksimum selalu lebih tinggi daripada elevasi normal untuk memberikan margin pengaman.

Elevasi Maksimum Waduk dan Banjir Maksimum

Elevasi maksimum akan terjadi jika banjir maksimum terjadi. Di masa depan dengan tata guna lahan di hulu waduk semakin rusak, maka banjir maksimum akan semakin sering terjadi. Oleh karena itu, dalam perancangan kawasan Percandian Muara Takus, hal ini harus sudah diantisipasi bahwa elevasi maksimum akan lebih sering terjadi.

Kondisi tata guna lahan di hulu waduk memiliki dampak langsung terhadap pola aliran sungai dan potensi banjir maksimum yang dapat terjadi. Berikut adalah analisis lebih rinci mengenai hubungan antara tata guna lahan, banjir maksimum, dan elevasi maksimum waduk:

1. Pengaruh Kerusakan Tata Guna Lahan di Hulu

- **Deforestasi dan Degradasi Lahan**
Penebangan hutan, pertanian tanpa konservasi, atau urbanisasi di hulu waduk menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap air. Akibatnya:
 - Limpasan permukaan meningkat.
 - Debit puncak banjir lebih tinggi dan terjadi lebih cepat.
- **Erosi dan Sedimentasi**
Kerusakan tata guna lahan meningkatkan erosi, sehingga sedimen masuk ke waduk.
 - Kapasitas waduk untuk menampung air berkurang (karena sedimentasi).
 - Air lebih cepat mencapai elevasi maksimum, bahkan dengan curah hujan yang lebih rendah.

2. Dampak Terhadap Elevasi Maksimum Waduk

- **Frekuensi Lebih Tinggi**
Dengan kerusakan hulu yang terus berlanjut, banjir maksimum dapat terjadi lebih sering, sehingga waduk lebih sering mencapai atau mendekati elevasi maksimum.
- **Penggunaan *Spillway* yang Lebih Sering**
Saat elevasi maksimum tercapai, air harus dialirkan melalui *spillway* untuk mencegah kerusakan bendungan. Jika ini terlalu sering terjadi:
 - Menimbulkan risiko kerusakan pada *spillway*.
 - Dapat memicu banjir di wilayah hilir.

3. Upaya Mitigasi

Untuk mengurangi frekuensi terjadinya banjir maksimum dan dampaknya terhadap elevasi waduk, berikut langkah yang dapat diambil:

- **Rehabilitasi Hutan dan Lahan**
Melakukan reforestasi di daerah hulu untuk meningkatkan kapasitas penyerapan air dan mengurangi limpasan.
- **Konservasi Tanah dan Air**
Menggunakan metode seperti terasering, vegetasi penutup tanah, dan sumur resapan di area pertanian untuk mengurangi aliran permukaan.
- **Pengelolaan Waduk yang Adaptif**
Mengatur elevasi normal yang lebih rendah untuk memberikan ruang tampungan tambahan sebagai antisipasi banjir ekstrem.
- **Pengawasan Tata Guna Lahan**
Mengendalikan pembangunan di daerah tangkapan air melalui peraturan tata ruang yang ketat.

Kesimpulan

Jika tata guna lahan di hulu tidak diperbaiki, maka banjir maksimum akan lebih sering terjadi, yang mengarah pada elevasi maksimum waduk yang lebih sering dicapai. Hal ini tidak hanya mengurangi umur waduk akibat sedimentasi, tetapi juga meningkatkan risiko banjir bagi masyarakat di hilir. Oleh karena itu, pengelolaan hulu menjadi kunci utama untuk menjaga keberlanjutan waduk.

Langkah Perancangan Drainasi

Perancangan drainasi di daerah urban bertujuan untuk mengelola air hujan dan mencegah banjir atau genangan air di perkotaan. Proses perancangan ini harus memperhatikan aspek teknis, lingkungan, dan kebutuhan masyarakat. Berikut adalah langkah-langkah utama dalam perancangan sistem drainasi untuk daerah urban:

1. Identifikasi dan Survei Lokasi

- Survei Topografi: Menentukan kemiringan tanah dan aliran alami air, yang akan menjadi dasar perencanaan saluran air.
- Survei Hidrologi: Meliputi pengumpulan data curah hujan, intensitas hujan, dan pola aliran air di daerah tersebut.
- Pengamatan Penggunaan Lahan: Menentukan jenis penggunaan lahan (misalnya, perumahan, industri, jalan) untuk menilai potensi limpasan air.
- Analisis Kualitas Tanah: Menentukan tingkat permeabilitas tanah untuk memprediksi laju serapan air.

2. Analisis Curah Hujan dan Limpasan (Runoff)

- Perhitungan Curah Hujan Rencana: Menggunakan data historis untuk menentukan curah hujan maksimum yang diantisipasi dalam periode tertentu (misalnya, 5 tahun, 10 tahun).
- Perhitungan Limpasan: Berdasarkan jenis permukaan tanah, bangunan, dan lahan keras lainnya yang menghalangi peresapan air. Perhitungan ini akan menentukan volume air yang perlu diatur oleh sistem drainasi.

3. Pemilihan Sistem Drainasi

- Sistem Drainasi Tertutup (Saluran Pipa): Biasanya digunakan di kawasan yang padat penduduk atau dengan ruang terbatas, seperti pusat kota. Saluran ini tertutup dan sering mengalirkan air ke saluran utama atau waduk penampungan.
- Sistem Drainasi Terbuka (Saluran Terbuka): Lebih umum di daerah yang memiliki ruang terbuka. Saluran terbuka juga dapat berfungsi sebagai area resapan dan pengendapan sedimen.
- Sistem Kombinasi: Menggabungkan saluran tertutup dan terbuka untuk memaksimalkan efisiensi, sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

4. Perancangan Komponen Drainasi

- Penentuan Ukuran Saluran: Berdasarkan perhitungan volume limpasan, menentukan ukuran saluran untuk menampung aliran air maksimum.
- Penempatan Kolam Retensi dan Infiltrasi: Kolam retensi menampung air saat hujan lebat dan mengalirkannya perlahan. Kolam infiltrasi membantu menyerap air ke dalam tanah.
- Penerapan Biopori dan Sumur Resapan: Biopori atau sumur resapan membantu meningkatkan peresapan air ke dalam tanah, mengurangi volume air permukaan yang harus dikelola oleh sistem drainasi.
- Penambahan Pintu Air atau Pompa: Di wilayah yang berada di bawah permukaan laut atau daerah dengan aliran air lambat, pompa atau pintu air dapat membantu mengatur aliran.

5. Simulasi dan Uji Sistem Drainasi

- **Simulasi Komputer:** Menggunakan perangkat lunak hidrologi untuk mensimulasikan aliran air pada berbagai skenario curah hujan. Ini membantu mengevaluasi kapasitas sistem dan potensi titik banjir.
- **Uji Lapangan:** Setelah sistem terpasang, melakukan uji lapangan pada musim hujan untuk memastikan drainasi bekerja efektif sesuai rencana.

6. Penerapan Sistem Drainasi Berkelanjutan

- **Green Infrastructure (Infrastruktur Hijau):** Penerapan teknologi ramah lingkungan seperti taman resapan, green roofs, atau bioswale (saluran vegetatif). Infrastruktur ini membantu menyerap dan memperlambat aliran air hujan.
- **Edukasi dan Partisipasi Masyarakat:** Melibatkan masyarakat untuk menjaga kebersihan saluran drainasi dan menerapkan metode resapan air pada area pribadi.

7. Perawatan dan Pemeliharaan Rutin

- **Pembersihan Saluran:** Menghindari penyumbatan akibat sampah atau sedimen yang dapat menghambat aliran.
- **Inspeksi Berkala:** Memeriksa saluran, kolam retensi, dan pompa secara berkala untuk mendeteksi kerusakan atau kebutuhan perbaikan.
- **Peningkatan Kapasitas:** Jika diperlukan, menambah kapasitas drainasi sesuai dengan perkembangan urbanisasi atau perubahan pola cuaca.

Ringkasan

Sistem drainasi yang dirancang dengan baik harus efektif dalam mengalirkan air dan mencegah banjir, namun juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan. Pendekatan yang menggabungkan sistem drainasi konvensional dan infrastruktur hijau dapat menciptakan solusi drainasi yang lebih berkelanjutan di daerah urban.

PELBAGAI PERMASALAHAN UMUM DRAINASI DAN TANGGUL

Untuk menangani permasalahan terkait drainasi kawasan dan ke-sumberdayaairan di kawasan Percandian Muara Takus, maka di bawah ini direkapitulasikan beberapa topik yang mungkin akan digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan dan penyelesaiannya.

Prosedur Hitungan Mekanika Tanah Stabilitas Lereng

Prosedur perhitungan **mekanika tanah untuk stabilitas lereng** bertujuan untuk menentukan apakah lereng tertentu stabil terhadap kemungkinan longsor. Berikut langkah-langkah umumnya:

1. Pengumpulan Data Awal

- **Geometri lereng:** Tinggi lereng, kemiringan, dan panjang.
- **Sifat mekanik tanah:** Parameter kuat geser tanah (kohesi c , sudut geser dalam ϕ), berat volume tanah (γ).

- **Kondisi air tanah:** Tingkat muka air tanah, tekanan pori.
- **Beban eksternal:** Misalnya beban dari struktur di atas lereng atau getaran akibat gempa.

2. Penentuan Bidang Longsor

- Pilih atau asumsikan bidang longsor potensial, seperti:
 - Bidang melengkung (analisis metode lingkaran gelincir, misalnya **Metode Bishop**).
 - Bidang lurus (analisis untuk tanah lapisan).
 - Bidang kompleks (kombinasi).

3. Analisis Stabilitas

Stabilitas lereng biasanya dievaluasi dengan menghitung **faktor keamanan (FoS)**, yang didefinisikan sebagai:

$$FoS = \frac{\text{Gaya Penahan (R)}}{\text{Gaya Penggerak (S)}}$$

dengan:

- **Gaya penahan:** Ditentukan dari kontribusi kohesi c , sudut geser dalam (ϕ), berat volume tanah (γ).
- **Gaya penggerak:** Ditentukan dari gaya geser akibat berat tanah dan tekanan pori.

Metode perhitungan umum:

- **Metode Bishop Sederhana:** Menggunakan lingkaran gelincir.
- **Metode Fellenius atau Swedish Slip Circle:** Untuk kasus sederhana.
- **Metode Janbu:** Cocok untuk lereng kompleks.
- **Analisis numerik:** Menggunakan perangkat lunak (seperti Plaxis atau GeoStudio).

4. Perhitungan Manual (Contoh Sederhana)

Misalkan lereng analisis lingkaran gelincir:

5. Bagi lereng menjadi potongan-potongan (*slice*).
6. Hitung gaya pada setiap potongan (normal, geser, tekanan pori).
7. Tentukan momen penahan dan momen penggerak untuk bidang longsor.
8. Hitung **FoS** dengan rumus yang relevan (misalnya Metode Bishop):

$$FoS = \frac{\sum (cL + (W - uL) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha}$$

dengan:

- L : Panjang bidang geser pada tiap slice.
- W : Berat slice.
- u : Tekanan pori.
- α : Sudut lereng.

5. Interpretasi dan Evaluasi Stabilitas

- Jika $FoS > 1.0$: Lereng dianggap stabil.
- Jika $FoS \leq 1.0$: Lereng tidak stabil dan memerlukan perbaikan.

6. Rekomendasi Perbaikan (jika tidak stabil)

- **Penguatan lereng:** Dinding penahan tanah, geogrid.
- **Penurunan muka air tanah:** Sistem drainasi.
- **Perubahan geometri lereng:** Mengurangi kemiringan.
- **Vegetasi atau pelindung permukaan:** Untuk mencegah erosi.

Analisis stabilitas lereng memerlukan perhatian terhadap detail dan sering dilakukan menggunakan perangkat lunak untuk meningkatkan akurasi perhitungan.

Perangkat Lunak

Berikut adalah beberapa software yang sering digunakan untuk analisis stabilitas lereng:

1. GeoStudio (Slope/W)

- **Fungsi:** Analisis stabilitas lereng dengan berbagai metode (Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price).
- **Keunggulan:**
 - Interaksi visual dan mudah digunakan.
 - Dapat mengintegrasikan analisis stabilitas lereng dengan analisis aliran air tanah dan konsolidasi tanah.
- **Kekurangan:** Berlisensi dan relatif mahal.

2. Plaxis

- **Fungsi:** Analisis elemen hingga (finite element) untuk geoteknik, termasuk stabilitas lereng.
- **Keunggulan:**
 - Cocok untuk kasus kompleks (lereng dengan heterogenitas tanah, beban dinamis, deformasi plastis).
 - Analisis lebih mendalam dibanding metode konvensional.
- **Kekurangan:** Membutuhkan pemahaman teknis lebih tinggi.

3. Slide2/Slide3 (Rocscience)

- **Fungsi:**
 - **Slide2:** Analisis stabilitas lereng 2D.
 - **Slide3:** Analisis stabilitas lereng 3D.
- **Keunggulan:**
 - Dukungan berbagai metode analisis (Bishop, Janbu, Spencer, dll.).
 - Visualisasi hasil yang baik dengan grafik 2D/3D.
- **Kekurangan:** Berbayar, cocok untuk proyek besar.

4. FLAC/FLAC3D

- **Fungsi:** Analisis stabilitas dengan pendekatan elemen hingga (finite difference method).

- **Keunggulan:**
 - Fleksibel untuk kasus nonlinier dan beban dinamis.
 - Dapat menangani kondisi kompleks (tanah-tanah heterogen).
- **Kekurangan:** Penggunaan cukup rumit dan membutuhkan waktu untuk simulasi.

5. MIDAS GTS NX

- **Fungsi:** Simulasi elemen hingga untuk stabilitas lereng dan analisis geoteknik lainnya.
- **Keunggulan:**
 - Antarmuka modern.
 - Cocok untuk analisis 3D dan interaksi tanah-struktur.
- **Kekurangan:** Membutuhkan pelatihan untuk pengguna pemula.

6. RSTAB atau RFEM (Dlubal Software)

- **Fungsi:** Fokus pada stabilitas struktur dan analisis tanah.
- **Keunggulan:**
 - Digunakan untuk perhitungan beban struktur yang memengaruhi stabilitas lereng.
- **Kekurangan:** Biasanya digunakan bersamaan dengan software lain untuk analisis geoteknik.

7. OpenSees

- **Fungsi:** Open-source untuk simulasi struktur dan tanah.
- **Keunggulan:**
 - Gratis dan fleksibel.
 - Dapat digunakan untuk analisis dinamis dan multihazard.
- **Kekurangan:** Memerlukan keterampilan pemrograman (Python atau Tcl).

Pilihan Tergantung Kebutuhan:

- Untuk kasus sederhana: **GeoStudio** atau **Slide2**.
- Untuk simulasi kompleks: **Plaxis**, **FLAC**, atau **MIDAS**.
- Untuk opsi gratis dan fleksibel: **OpenSees**.

Penggunaan software biasanya tergantung pada anggaran proyek, kompleksitas kasus, dan penguasaan teknis pengguna.

Pertimbangan Tanggul Kuno di Candi Muara Takus

Analisis stabilitas lereng tetap diperlukan untuk perbaikan tanggul kuno seperti di **Candi Muara Takus**, meskipun tanggul tersebut tidak terlalu tinggi. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor berikut:

1. Kondisi Tanah dan Usia Tanggul

- **Material Tanah yang Berumur Tua:** Tanggul kuno mungkin dibangun dengan material lokal yang telah mengalami pelapukan atau kehilangan kekuatannya.
- **Degradasi Struktur:** Seiring waktu, material tanggul bisa melemah akibat erosi, tekanan air tanah, atau faktor lain.

2. Pengaruh Air Tanah

- **Candi Muara Takus** memiliki elemen air seperti kanal atau parit. Muka air tanah yang tinggi atau rembesan air dapat melemahkan stabilitas tanggul, meskipun tidak terlalu tinggi.
- Tekanan air pada tanggul dapat menyebabkan **tekanan pori** meningkat, yang mengurangi kekuatan geser tanah.

3. Tujuan Konservasi

- Karena merupakan situs warisan budaya, perbaikan tanggul harus mempertimbangkan stabilitas jangka panjang untuk mencegah kerusakan pada struktur candi.
- **Kegagalan kecil** pada tanggul bisa berdampak besar pada kelestarian lingkungan sekitar candi.

4. Faktor Geometri Lereng

- Meskipun tidak tinggi, lereng tanggul tetap memiliki kemiringan yang perlu dianalisis untuk memastikan tidak ada pergerakan tanah atau longsor mikro yang dapat mempercepat degradasi.

5. Beban Tambahan

- Jika perbaikan melibatkan penggunaan alat berat, pengisian ulang tanah, atau pemasangan struktur tambahan, beban ini harus dihitung untuk memastikan tanggul tetap stabil.

Pendekatan yang Disarankan

Jika tanggul tidak terlalu tinggi, **analisis stabilitas sederhana** bisa dilakukan, seperti:

- Menggunakan metode manual (Metode Fellenius atau Bishop sederhana).
- Memeriksa kondisi tekanan air tanah (jika relevan).
- Menyesuaikan geometri lereng untuk meningkatkan faktor keamanan.

Jika perbaikan melibatkan upaya besar (misalnya, penggunaan material baru atau perubahan desain), perangkat lunak seperti **GeoStudio (Slope/W)** atau **Slide2** dapat digunakan untuk simulasi lebih rinci.

Kesimpulan

Analisis stabilitas tetap dibutuhkan, meskipun sederhana, untuk memastikan perbaikan tanggul Candi Muara Takus aman dan tidak merusak situs cagar budaya tersebut. Hal ini penting untuk menghindari kegagalan struktur di masa depan, terutama karena pengaruh air dan usia tanggul.

Penyelidikan Mekanika Tanah

Penyelidikan mekanika tanah di kawasan Candi Muara Takus sangat penting untuk memastikan kestabilan tanah, mendukung konservasi candi, dan merancang drainase yang sesuai. Lokasinya yang dekat dengan genangan Waduk PLTA Koto Panjang

memerlukan perhatian khusus terhadap kondisi geoteknik. Berikut adalah jenis-jenis penyelidikan mekanika tanah yang diperlukan:

1. Penyelidikan Tanah Permukaan

- **Tujuan:** Untuk mengidentifikasi jenis tanah di sekitar candi, seperti tanah lempung, pasir, atau kerikil, serta mengetahui tingkat erosi.
- **Metode:**
 - **Uji Tanah di Lapangan:** Melibatkan pengambilan sampel tanah di berbagai titik untuk analisis lebih lanjut di laboratorium.
 - **Uji Penetrasi Standar (SPT):** Mengukur kekuatan tanah di lapisan permukaan.

2. Pengujian Stabilitas Lereng

- **Tujuan:** Menentukan potensi longsor atau keruntuhan tebing akibat erosi atau fluktuasi air dari waduk.
- **Metode:**
 - **Pengukuran Sudut Repose:** Menentukan kemiringan maksimum yang dapat ditahan oleh tebing tanpa longsor.
 - **Studi Hidrogeologi:** Memahami pengaruh air tanah terhadap stabilitas lereng.

3. Analisis Konsolidasi Tanah

- **Tujuan:** Memahami potensi penurunan tanah akibat beban atau perubahan tingkat air di waduk.
- **Metode:**
 - **Uji Konsolidasi Oedometer:** Mengukur kapasitas tanah untuk menahan tekanan tanpa mengalami penurunan yang signifikan.
 - **Monitoring Pergerakan Tanah:** Dengan menggunakan alat seperti inclinometer untuk mendeteksi pergerakan lateral tanah.

4. Uji Kuat Geser Tanah

- **Tujuan:** Mengetahui kapasitas tanah dalam menahan gaya geser akibat aliran air atau beban di atasnya.
- **Metode:**
 - **Uji Triaxial:** Mengukur kekuatan geser tanah di laboratorium.
 - **Uji Langsung (Direct Shear Test):** Untuk tanah granular seperti pasir.

5. Pengujian Hidrologi Tanah

- **Tujuan:** Menilai tingkat permeabilitas tanah dan pengaruhnya terhadap drainase kawasan.
- **Metode:**
 - **Uji Permeabilitas:** Mengukur kemampuan tanah untuk menyerap air.
 - **Analisis Air Tanah:** Untuk mengetahui fluktuasi muka air tanah di kawasan sekitar candi.

6. Pengujian Dinamika Tanah

- **Tujuan:** Mengantisipasi dampak getaran, baik dari aktivitas PLTA maupun beban lainnya.
- **Metode:**
 - **Uji Resonansi Tanah:** Untuk mengetahui respons tanah terhadap getaran.

7. Pemetaan Topografi dan Geoteknik

- **Tujuan:** Untuk memahami morfologi kawasan candi dan pola aliran air.
- **Metode:**
 - **Pemetaan Drone atau Lidar:** Memberikan gambaran detail mengenai elevasi dan potensi genangan.
 - **Survey Geofisika (Georadar):** Untuk memetakan struktur bawah permukaan.

8. Analisis Kesesuaian Struktur

- **Tujuan:** Memastikan bahwa struktur candi tidak terdampak oleh fluktuasi air waduk dan pergerakan tanah.
- **Metode:**
 - **Analisis Finite Element:** Simulasi untuk mengetahui interaksi antara tanah dan struktur candi.

Hasil dari penyelidikan ini dapat digunakan untuk mendesain sistem drainase dan pelindung tebing yang efektif, serta untuk merancang strategi konservasi jangka panjang bagi kawasan Candi Muara Takus. Koordinasi dengan ahli geoteknik, hidrologi, dan konservasi sangat diperlukan.

Perlindungan tebing sungai (luar negeri dan dalam negeri)

Perlindungan tebing sungai (*riverbank protection*) memiliki peran penting dalam mengendalikan erosi, melindungi kualitas air, dan mempertahankan ekosistem sungai. Di beberapa negara, metode perlindungan tebing sungai dapat berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan, iklim, serta kebutuhan infrastruktur. Berikut ini adalah ringkasan beberapa metode yang banyak digunakan di dalam negeri dan luar negeri:

1. Metode Internasional

- *Revetment Vegetatif*: Banyak digunakan di negara-negara seperti Amerika Serikat dan Inggris, metode ini melibatkan penanaman vegetasi alami untuk menstabilkan tanah di tebing sungai. Akar tanaman membantu memperkuat struktur tanah dan mencegah erosi. Tanaman yang sering digunakan termasuk rumput lokal, semak, dan pohon kecil.
- *Penggunaan Riprap atau Batu Pecah*: Riprap adalah lapisan batu besar yang ditempatkan di sepanjang tebing sungai untuk mengurangi kecepatan aliran air yang mengenai tebing. Metode ini umum di Kanada dan Eropa, efektif melawan arus deras dan cocok untuk sungai besar dengan debit air tinggi.
- *Geotextile dan Gabion*: Di negara-negara seperti Jepang dan Swiss, penggunaan geotekstil (bahan permeabel yang ditempatkan di bawah lapisan tanah) dan gabion (sangkar kawat yang diisi dengan batu) adalah cara efektif untuk menstabilkan tebing. Gabion dapat menyesuaikan diri dengan kondisi tanah yang bergerak dan tahan lama.
- *Bioengineering atau Rekayasa Bio*: Rekayasa bio menggabungkan teknik konstruksi dan vegetasi untuk perlindungan tebing, seperti metode "fascine" atau pengelompokan ranting yang dipasang di sepanjang tebing untuk memperlambat aliran air. Banyak digunakan di Eropa Utara dan Skandinavia.

2. Metode di Indonesia

- *Bronjong Batu*: Di Indonesia, bronjong batu (gabion) banyak digunakan untuk menahan tanah di tebing sungai. Bronjong cukup populer karena materialnya mudah didapat dan efektif dalam menahan arus air.
- *Tanaman Vetiver*: Vetiver adalah jenis rumput yang memiliki akar panjang dan kuat, efektif menahan tanah agar tidak tererosi. Program penghijauan tebing sungai dengan tanaman vetiver dilakukan di beberapa daerah di Indonesia karena biayanya relatif rendah dan mudah dipelihara.
- *Betonisasi*: Di perkotaan, metode perlindungan tebing dengan betonisasi sering kali digunakan di sungai yang berisiko tinggi erosi, seperti di kota-kota besar Indonesia. Meskipun efektif, metode ini sering dianggap mengurangi kealamian sungai.
- *Penggunaan Tumbuhan Lokal*: Beberapa daerah di Indonesia juga mulai memanfaatkan tanaman lokal yang memiliki akar kuat sebagai pelindung tebing. Ini termasuk bambu, pohon bakau, dan rumput liar yang mampu mengurangi laju erosi secara alami.

Rangkuman Keuntungan dan Kekurangan

- *Keuntungan*: Metode vegetatif dan bioengineering cenderung ramah lingkungan dan mendukung keanekaragaman hayati. Beton dan riprap efektif untuk daerah berarus deras, sementara bronjong batu fleksibel dan mudah disesuaikan dengan kondisi tanah.
- *Kekurangan*: Betonisasi dapat mengurangi estetika alami sungai, dan beberapa metode seperti penggunaan riprap atau gabion memerlukan biaya lebih tinggi. Gabion dan bronjong juga membutuhkan pemeliharaan berkala.

Metode perlindungan tebing sungai harus disesuaikan dengan kondisi setempat dan mempertimbangkan aspek lingkungan serta ekonomi. Pendekatan yang berkelanjutan seperti bioengineering dan vegetasi dapat menjadi pilihan tepat di banyak lokasi, sementara penggunaan material buatan mungkin diperlukan di lokasi yang berisiko tinggi.

Erosi dan sedimentasi tebing sungai di sekitar belokan

Erosi dan sedimentasi pada tebing sungai, terutama di sekitar belokan, adalah proses alam yang disebabkan oleh dinamika aliran air. Di belokan sungai, terdapat pola aliran unik yang memengaruhi kedua sisi tebing:

1. Erosi di Sisi Luar Belokan (*Cut Bank*)

- Penyebab: Air di sisi luar belokan bergerak lebih cepat karena jarak yang lebih panjang dibandingkan sisi dalam. Kecepatan tinggi ini menghasilkan gaya gesek dan energi yang cukup besar untuk mengikis tebing sungai.
- Efek: Terjadi pelebaran sungai, penurunan stabilitas tebing, serta risiko longsor akibat hilangnya material tebing.

2. Sedimentasi di Sisi Dalam Belokan (*Point Bar*)

- Penyebab: Di sisi dalam belokan, aliran air lebih lambat sehingga energi aliran menurun. Akibatnya, material seperti pasir, kerikil, atau lumpur yang terbawa air cenderung mengendap.
- Efek: Terbentuk endapan atau bar sedimen di sisi dalam belokan, yang dapat mempersempit jalur aliran dan mengubah morfologi sungai secara bertahap.

3. Spiral Helikoidal

- Aliran air di belokan membentuk pola spiral helikoidal, di mana air yang bergerak ke bawah di sisi luar belokan berputar kembali ke permukaan di sisi dalam. Pola ini membantu memindahkan sedimen dari sisi luar ke sisi dalam, memperkuat proses sedimentasi di sisi dalam.

4. Dampak pada Ekosistem dan Infrastruktur

- Erosi dapat merusak habitat tebing dan ekosistem sungai, sementara sedimentasi dapat memengaruhi navigasi dan kapasitas aliran air.
- Jika tidak dikelola, kedua proses ini dapat membahayakan infrastruktur di sekitar sungai, seperti jembatan atau tanggul.

5. Upaya Pengendalian

- Revetment: Pelindung tebing dengan batu atau beton untuk mengurangi erosi.
- Vegetasi: Penanaman tanaman di tebing untuk memperkuat tanah.
- Pengendalian Aliran: Penggunaan bendung atau struktur pengatur aliran untuk mengurangi kecepatan air di area rawan erosi.

Proses erosi dan sedimentasi ini adalah bagian alami dari perkembangan sungai, tetapi perlu dikelola dengan baik untuk mencegah kerugian ekologis dan ekonomi.

Penggunaan gabion maccaferri untuk perkuatan tebing sungai

Gabion Maccaferri adalah struktur kawat baja yang diisi dengan batu atau material serupa, digunakan untuk memperkuat tebing sungai dan mencegah erosi. Penggunaannya telah terbukti efektif dalam mengendalikan erosi sekaligus menjaga stabilitas tebing, terutama di kawasan dengan aliran air yang kuat.

1. Fungsi dan Keunggulan Gabion Maccaferri

- **Perkuatan Tebing:** Gabion berfungsi sebagai penghalang yang mampu menyerap energi aliran air, mengurangi kecepatan aliran, dan melindungi tebing dari erosi.
- **Permeabilitas:** Struktur gabion memungkinkan air meresap melalui materialnya, mengurangi tekanan hidrostatik di belakang tebing dan mencegah longsor.
- **Fleksibilitas:** Gabion dapat menyesuaikan bentuknya mengikuti pergerakan tanah, menjadikannya cocok untuk kondisi tebing yang tidak stabil atau bergerak.
- **Durabilitas:** Dengan kawat baja berlapis galvanis, gabion tahan terhadap korosi dan mampu bertahan dalam jangka waktu lama, bahkan di lingkungan yang basah.

2. Aplikasi pada Tebing Sungai

- **Dinding Penahan:** Gabion sering digunakan sebagai dinding penahan di sepanjang tebing sungai untuk mencegah runtuhnya tanah akibat erosi.
- **Pelindung Dasar Tebing:** Dipasang di dasar tebing untuk melindungi area yang paling terpengaruh oleh aliran air.
- **Stabilisasi Tebing Curam:** Pada area dengan kemiringan tinggi, gabion digunakan untuk membentuk tangga-tangga penahan yang memperkuat tanah dan mencegah longsor.

3. Metode Pemasangan

- **Persiapan Lahan:** Tebing dibersihkan dari vegetasi dan tanah yang lepas.
- **Pemasangan Kerangka Gabion:** Kerangka baja dipasang sesuai desain, kemudian diisi dengan batu lokal untuk menekan biaya.
- **Penguncian dan Penyusunan:** Gabion disusun dan dikunci secara bertahap untuk membentuk struktur penahan yang stabil.
- **Penguatan Tambahan:** Vegetasi dapat ditanam di sekitar gabion untuk meningkatkan stabilitas dan memberikan nilai estetika.

4. Contoh Implementasi

- Di Indonesia, penggunaan gabion telah diterapkan di berbagai proyek pengendalian banjir dan perkuatan tebing sungai, seperti di Sungai Citarum dan Sungai Bengawan Solo.
- Secara global, perusahaan seperti Maccaferri menyediakan desain dan material gabion yang dirancang khusus untuk berbagai kondisi sungai, termasuk kawasan dengan aliran air deras atau fluktuasi debit yang tinggi.

5. Manfaat Lingkungan

- Selain memperkuat tebing, gabion mendukung ekosistem sungai dengan menyediakan ruang bagi pertumbuhan vegetasi alami. Struktur porinya juga dapat menjadi habitat bagi organisme air, mendukung biodiversitas lokal.

Penggunaan gabion Maccaferri merupakan solusi efektif yang ramah lingkungan untuk pengelolaan dan perlindungan tebing sungai.

Fungsi utama sumur resapan

Sumur resapan memiliki fungsi utama untuk mengelola dan menyerap air hujan ke dalam tanah, mengurangi volume air permukaan, dan membantu mencegah banjir. Berikut adalah beberapa fungsi utama dari sumur resapan:

1. Mengurangi Genangan dan Banjir: Sumur resapan menampung air hujan dan mengalirkannya secara perlahan ke dalam tanah, mengurangi volume air yang mengalir ke saluran drainasi. Ini membantu mengurangi risiko genangan dan banjir, terutama di daerah urban.
2. Menjaga Ketersediaan Air Tanah: Dengan menyerap air hujan ke dalam tanah, sumur resapan membantu mengisi kembali air tanah atau akuifer. Hal ini penting untuk menjaga ketersediaan air bersih di musim kemarau dan mencegah penurunan muka tanah.
3. Mengurangi Erosi Tanah: Dengan menyerap air secara langsung, sumur resapan membantu mengurangi aliran permukaan yang dapat menyebabkan erosi pada tanah sekitar, terutama di lahan miring atau yang dekat dengan tebing.
4. Meningkatkan Kualitas Air: Air hujan yang diserap melalui sumur resapan mengalami proses filtrasi alami di dalam tanah, sehingga kotoran atau polutan dapat tersaring secara alami. Ini membantu memperbaiki kualitas air tanah di sekitarnya.
5. Mendukung Ekosistem Lingkungan: Dengan menjaga ketersediaan air tanah dan mengurangi aliran permukaan, sumur resapan dapat mendukung keberlanjutan vegetasi lokal dan keseimbangan ekosistem, terutama di daerah-daerah yang rentan terhadap kekeringan atau perubahan iklim.

Secara keseluruhan, sumur resapan adalah salah satu solusi ramah lingkungan yang dapat diterapkan untuk mengelola air hujan dan mendukung keberlanjutan sumber daya air di perkotaan maupun pedesaan.

Sumur resapan sama sekali bukan solusi pengendalian banjir

Anda benar, sumur resapan memang tidak dimaksudkan sebagai solusi utama dalam pengendalian banjir besar, terutama di wilayah yang rentan terhadap banjir akibat debit air yang sangat tinggi. Fungsi utama sumur resapan lebih berfokus pada:

- Mengurangi limpasan air lokal dalam skala kecil hingga menengah,
- Mengelola air hujan untuk mencegah genangan, dan
- Memperbaiki cadangan air tanah dengan menyerap air langsung ke dalam tanah.

Pada kasus banjir besar atau luapan sungai, kontribusi sumur resapan menjadi terbatas. Untuk mengendalikan banjir dalam skala luas dan besar, solusi lain seperti peningkatan kapasitas drainasi utama, pembangunan waduk penahan, sistem kanal, dan tanggul lebih efektif.

Sumur resapan lebih tepat dianggap sebagai bagian dari strategi pengelolaan air yang komplementer dan lebih berperan untuk merespons masalah drainasi lokal atau mengurangi beban sistem drainasi di area tertentu, terutama di lingkungan urban yang berpotensi terjadi genangan setelah hujan.

Fungsi utama biopori

Biopori memiliki fungsi utama sebagai solusi pengelolaan air hujan dan perbaikan kualitas tanah melalui lubang resapan kecil yang dibuat di dalam tanah. Berikut adalah beberapa fungsi utama dari biopori:

1. Meningkatkan Resapan Air: Biopori mempercepat proses penyerapan air hujan ke dalam tanah, mengurangi aliran permukaan, dan membantu mencegah genangan air di sekitar lokasi biopori, khususnya di area perumahan atau perkotaan yang padat.
2. Menambah Kandungan Air Tanah: Dengan memperbanyak titik resapan, biopori membantu menjaga ketersediaan air tanah. Hal ini dapat mendukung kebutuhan air di musim kemarau dan mencegah penurunan muka air tanah.
3. Mengurangi Risiko Erosi: Aliran air permukaan yang berkurang mengurangi potensi erosi tanah, terutama di area dengan curah hujan tinggi atau lahan miring. Biopori juga membantu mempertahankan struktur tanah agar tidak mudah longsor.
4. Menyuburkan Tanah: Biopori biasanya diisi dengan sampah organik seperti daun kering atau sisa makanan. Sampah organik ini akan terurai dan menjadi kompos alami yang meningkatkan kandungan unsur hara dalam tanah, menyuburkan tanaman di sekitar.
5. Mendukung Keanekaragaman Hayati Mikro: Lubang biopori menjadi tempat hidup bagi mikroorganisme tanah, seperti cacing dan bakteri pengurai. Mikroorganisme ini memperbaiki struktur tanah dan membantu proses dekomposisi, yang penting untuk siklus nutrisi di dalam tanah.

Meskipun biopori bukan solusi utama untuk pengendalian banjir skala besar, penerapan biopori dapat menjadi cara efektif dalam meningkatkan resapan air dan memperbaiki kualitas tanah, terutama di lingkungan perkotaan atau lahan dengan tingkat permeabilitas rendah.

SNI yang dikeluarkan oleh PUPR tentang drainasi

Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) mengenai drainasi mengatur pedoman teknis untuk perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan sistem drainasi. Beberapa SNI penting terkait drainasi antara lain:

1. SNI 03-3424-1994 - Tata Cara Perencanaan Teknik Drainasi Perkotaan
 - Standar ini memberikan panduan untuk perencanaan teknis sistem drainasi di wilayah perkotaan, termasuk perhitungan debit, penentuan kapasitas saluran, dan tata letak sistem drainasi. SNI ini menjadi acuan utama dalam mengelola limpasan air di area urban.
2. SNI 8065:2015 - Perencanaan Drainasi Sub-DAS Perkotaan

- Standar ini mengatur tentang perencanaan drainasi pada daerah aliran sungai (DAS) sub-perkotaan, dengan fokus pada pengelolaan limpasan air permukaan yang mencakup metode pengendalian banjir serta pemanfaatan lahan hijau untuk resapan air.
3. SNI 03-2453-2002 - Prosedur Perencanaan Sistem Drainasi Perkotaan Berkelanjutan
 - SNI ini menyediakan pedoman untuk perencanaan drainasi perkotaan dengan pendekatan berkelanjutan yang meminimalkan dampak negatif lingkungan, mengoptimalkan resapan air, dan mempertimbangkan potensi perubahan iklim.
 4. SNI 03-2405-1991 - Prosedur Perencanaan Kolam Retensi untuk Pengendalian Banjir di Daerah Perkotaan
 - Standar ini memberikan petunjuk teknis perencanaan kolam retensi sebagai bagian dari sistem pengendalian banjir di perkotaan. Kolam retensi berfungsi untuk menampung sementara limpasan air hujan.
 5. SNI 03-2851-1992 - Tata Cara Pelaksanaan dan Pemeliharaan Drainasi Perkotaan
 - SNI ini membahas prosedur pelaksanaan dan pemeliharaan infrastruktur drainasi, termasuk perawatan berkala, inspeksi, dan penanganan masalah operasional untuk memastikan sistem drainasi berfungsi optimal.

Untuk lebih detail mengenai standar ini, Anda bisa mengakses dokumen resmi dari Badan Standardisasi Nasional (BSN) atau mengunjungi situs PUPR untuk melihat standar yang tersedia dalam format terbaru.

Situs web PUPR tentang SNI Drainasi

Standar Nasional Indonesia (SNI) yang terkait dengan sistem drainasi dan perencanaan urban telah diatur oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) dan mencakup beberapa pedoman utama untuk drainasi perkotaan dan peresapan air hujan.

Beberapa SNI terkait antara lain:

1. SNI 02-2406-1991: Mengatur tentang Tata Cara Perencanaan Umum Drainasi Perkotaan, yang digunakan sebagai pedoman perencanaan sistem drainasi di wilayah perkotaan. Pedoman ini perlu dilengkapi lebih lanjut untuk pendekatan drainasi yang ramah lingkungan.
2. SNI 03-2453-2002: Menyediakan pedoman teknis untuk perencanaan sumur resapan air hujan. Standar ini menjelaskan cara peresapan air hujan ke dalam tanah, meskipun belum mencakup aspek tambahan seperti tampungan air.
3. SNI 03-1733-2004: Memberikan pedoman umum untuk lingkungan perumahan perkotaan, tetapi hanya bersifat umum tanpa rincian teknis khusus tentang drainasi lingkungan.

SNI tersebut adalah bagian dari upaya pemerintah dalam mendorong konsep drainasi berwawasan lingkungan dengan elemen utama seperti sistem tampungan, resapan, manfaat, dan aliran (TRMA) untuk menangani kelebihan limpasan air ke badan air terdekat.

Untuk detail lebih lanjut, Anda dapat mengakses informasi terkait ini melalui situs web PUPR atau dokumen-dokumen SNI yang terkait.

Drainasi Kawasan untuk bangunan arkeologis yang dikelilingi badan air

Untuk melindungi candi-candi berharga, seperti candi di Indonesia dan situs besar seperti Angkor Wat, pengelolaan drainasi yang baik di sekelilingnya adalah kunci untuk menjaga kestabilan struktur serta mencegah kerusakan akibat air. Berikut beberapa langkah yang sebaiknya diambil:

1. Desain Drainasi yang Efektif dan Ramah Situs:

- Sistem drainasi perlu dirancang agar mampu menangani aliran air hujan tanpa merusak fondasi candi. Saluran-saluran drainasi harus dibangun sedemikian rupa sehingga aliran air diarahkan menjauh dari struktur utama candi, mencegah genangan atau erosi yang dapat mengganggu stabilitas fondasi.
- Saluran bawah tanah atau kanal terintegrasi yang dapat menampung dan mengalirkan air secara efisien dapat diimplementasikan, seperti pada kanal besar di sekitar Angkor Wat yang membantu mencegah genangan di area inti.

2. Perawatan Badan Air Sekitar:

- Jika terdapat badan air alami atau buatan (seperti kolam atau kanal) di sekitar candi, perlu dijaga ketinggian dan kebersihannya. Tingkat air yang terlalu tinggi atau rendah dapat berdampak buruk pada kestabilan tanah dan fondasi bangunan. Di Angkor Wat, misalnya, kanal-kanal ini memainkan peran penting dalam mengatur kelembapan tanah di sekitar fondasi, menjaga stabilitas bangunan dari dampak erosi atau penurunan tanah.

3. Penggunaan Material Lokal dan Metode Tradisional:

- Di beberapa lokasi, penggunaan metode tradisional untuk memelihara drainasi dan material lokal yang tahan lama dapat membantu menjaga integritas bangunan. Di Indonesia, candi sering dibangun dengan struktur bata yang berpori, yang memungkinkan pengaliran air dan mencegah kelembapan berlebihan di dalam bangunan.

4. Pemantauan dan Penelitian Berkala:

- Pemantauan kondisi air tanah dan erosi sangat penting. Teknologi seperti sensor kelembapan tanah, sistem pemantauan hidrologi, serta teknik geoteknik modern bisa digunakan untuk mendeteksi potensi kerusakan. Penelitian berkala juga membantu mengetahui efek dari perubahan cuaca atau musim hujan yang bisa berdampak pada drainasi.

5. Restorasi dan Perbaikan:

- Sistem drainasi alami di sekitar candi-candi tua sering kali memerlukan restorasi agar kembali berfungsi optimal. Contoh restorasi adalah pengerukan dan perbaikan kanal-kanal di sekitar Angkor Wat, yang mengalami pendangkalan dan penumpukan lumpur. Restorasi drainasi ini membantu mencegah banjir lokal dan menjaga kestabilan tanah di sekitar situs.

Upaya-upaya ini membantu mengelola limpasan air dan mengurangi risiko terhadap fondasi bangunan. Keseimbangan yang tepat antara drainasi buatan dan kondisi alami sekitar sangat penting untuk mempertahankan keutuhan situs arkeologis ini.

Drainasi Kawasan situs di Muara Takus dan Muara Jambi

Situs bersejarah seperti Candi Muara Takus di Riau dan Candi Muara Jambi di Jambi membutuhkan pendekatan pengelolaan drainasi yang cermat untuk menjaga kelestarian struktur candi dan sekitarnya. Kondisi tanah yang khas di kedua situs ini—yang terletak di wilayah berawa dan di dekat aliran sungai besar—meningkatkan tantangan dalam manajemen drainasi. Berikut adalah beberapa langkah yang relevan:

1. Restorasi dan Pengelolaan Saluran Air Alami:

- Di Muara Takus, yang berada di dekat Sungai Kampar, serta Muara Jambi yang berdekatan dengan Sungai Batanghari, pemeliharaan dan restorasi saluran air alami sangat penting untuk menghindari banjir di sekitar candi. Saluran-saluran ini dapat berfungsi sebagai kanal pengendali banjir alami, yang membantu mengurangi limpasan air hujan dan mencegah genangan di kawasan candi.

2. Perbaikan Drainasi Tradisional dan Kolam Retensi:

- Kedua situs ini bisa mendapatkan manfaat dari pembuatan atau restorasi kolam retensi yang mampu menampung air hujan berlebih. Kolam retensi ini dapat membantu menjaga kelembapan tanah pada tingkat yang aman bagi fondasi bangunan dan mengurangi limpasan langsung ke situs candi.
- Pembuatan drainasi yang mengikuti kontur dan menghindari tanah dekat candi dapat menjaga kelembapan dan mencegah erosi, sekaligus menjaga kestabilan struktur bangunan candi.

3. Pemantauan Tingkat Air Tanah dan Drainasi yang Ditingkatkan:

- Mengingat kondisi lahan basah di sekitar candi, pemantauan tingkat air tanah menjadi sangat penting untuk mencegah peningkatan kelembapan yang bisa merusak batu atau bata candi. Sistem pemantauan hidrologi dan pengukuran kelembapan tanah dapat membantu memprediksi dan mengatasi perubahan tingkat air tanah akibat musim hujan.

4. Pengelolaan Vegetasi:

- Tanaman dan pepohonan di sekitar situs perlu dikelola dengan baik, karena akar tanaman besar bisa memengaruhi struktur tanah dan drainasi alami. Vegetasi yang terkendali dapat membantu penyerapan air dan mengurangi risiko genangan air tanpa merusak struktur.

5. Peningkatan Infrastruktur Drainasi Modern yang Ramah Situs:

- Infrastruktur tambahan, seperti parit drainasi dangkal atau kanal kecil yang dibuat dengan teknik yang tidak invasif, dapat menjadi opsi untuk mengalihkan limpasan air yang berlebihan ke tempat yang aman, jauh dari situs candi. Infrastruktur ini bisa dirancang agar tidak mengganggu pemandangan alam dan struktur asli candi.

Dengan kombinasi dari restorasi fitur drainasi alami, pengelolaan vegetasi, dan penerapan teknologi modern, kelestarian situs Muara Takus dan Muara Jambi bisa lebih terjamin. Pengelolaan yang efektif diharapkan tidak hanya menjaga kestabilan struktur bangunan candi, tetapi juga melindungi situs dari ancaman kerusakan akibat genangan dan kelembapan yang berlebihan.

Drainasi Kawasan Candi Muara Takus dan Waduk PLTA Koto Panjang

Karena Candi Muara Takus terletak di dekat daerah genangan Waduk PLTA Koto Panjang, perancangan drainasi kawasan harus benar-benar memperhatikan aspek stabilitas tanah dan pengelolaan kelembapan yang disebabkan oleh fluktuasi ketinggian air waduk. Berikut adalah beberapa pendekatan yang dapat diterapkan dalam perencanaan drainasi di kawasan ini:

1. Penguatan dan Stabilitas Tanah:

Waduk berpotensi menyebabkan perubahan kelembapan tanah yang dapat melemahkan fondasi struktur candi. Sistem drainasi yang baik bisa melibatkan lapisan tanah atau geotekstil yang memperkuat stabilitas tanah, terutama di area sekitar fondasi candi, untuk mencegah pengaruh negatif dari perubahan kelembapan akibat fluktuasi waduk.

2. Pengelolaan Fluktuasi Air dengan Kolam Retensi atau Buffer Zone:

Untuk menangani genangan musiman, perlu ada zona penyangga (buffer zone) atau kolam retensi di sekitar kawasan candi. Kolam retensi ini dapat menampung air ketika waduk meluap, sehingga air tidak langsung meresap ke struktur candi. Pengendalian ketinggian air ini harus terus dipantau dan diatur agar tidak merusak atau membanjiri area candi.

3. Pembuatan Kanal atau Parit untuk Mengalihkan Limpasan Air:

Parit atau kanal buatan dapat dibangun di sekitar candi untuk mengalihkan limpasan air dari genangan waduk. Kanal ini bisa dirancang agar mengalirkan air menjauh dari candi menuju area yang lebih rendah atau ke sistem drainasi alami. Pengelolaan yang baik mencegah genangan berkepanjangan yang bisa memicu erosi atau merusak struktur candi.

4. Pemantauan Tingkat Air Tanah secara Berkala:

Karena kedekatan dengan waduk, penting untuk memantau kondisi air tanah di area candi, terutama saat musim hujan atau ketika debit waduk tinggi. Sensor pemantauan atau inspeksi berkala dapat membantu mendeteksi peningkatan kelembapan sebelum menimbulkan kerusakan yang serius.

5. Vegetasi Penyerapan Air:

- Vegetasi dengan akar serabut atau tanaman penyerapan air di sekitar kawasan candi dapat membantu mengurangi risiko genangan dengan menyerap air berlebih.

Namun, jenis tanaman harus dipilih dengan hati-hati agar tidak menimbulkan risiko perusakan struktur.

Dengan adanya PLTA Koto Panjang, pendekatan pengelolaan drainasi di Candi Muara Takus perlu disesuaikan agar bisa mengantisipasi dampak dari fluktuasi air di waduk. Perencanaan ini harus melibatkan koordinasi dengan pengelola waduk dan pihak terkait untuk menjaga kestabilan lingkungan sekitar candi.

Aspek Hidrologi dan Hidraulika Percandian Muara Takus
Laporan Pendukung Perancangan Awal
Padepokan Daring, <http://ugm.id/luk>