Bangunan Tenaga Air: Efisiensi Hidraulika

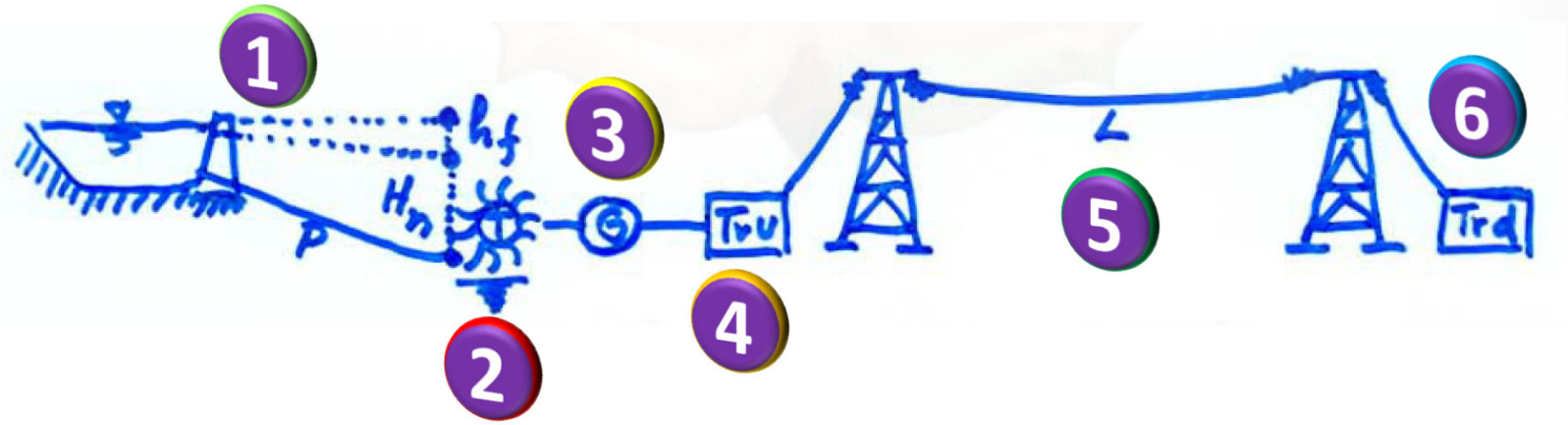
Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik UGM

oleh

Djoko Luknanto

Skema Bangunan Tenaga Air

Efisiensi unsur BTA (1/2)

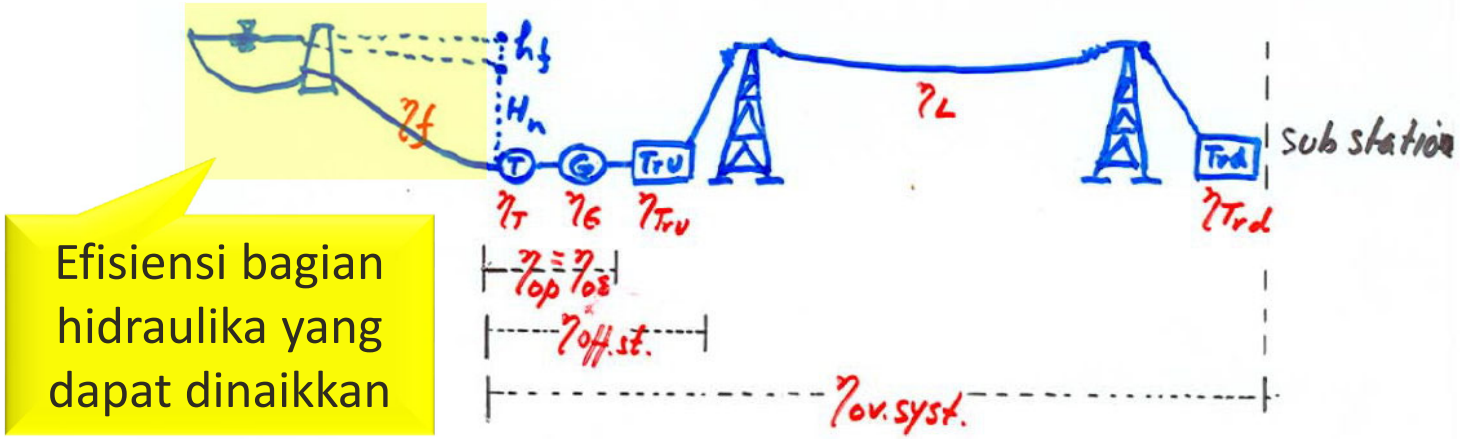


Bagian utama dari sistem PLTA

1. Bangunan Air
2. Turbin
3. Generator
4. *Step Up Transformer*
5. Jaringan tegangan tinggi
6. *Step Down Transformer*

Efisiensi unsur BTA (2/2)

* Contoh efisiensi tiap unsur.



Efisiensi bagian hidraulika yang dapat dinaikkan

η_f = efisiensi gesekan
η_Q = " bocoran } η_H = efisiensi hidrolik ≈ 95%

η_T = " turbin = 85-95% Tergantung macam/tipe dan beban (Lih. gb. TA-40)

η_G = " generator = 95%

$\eta_{Tr U}$ = " trafo up = 98%

η_L = " transmission lines = 95%

$\eta_{Tr d}$ = " trafo down = 98%

Efisiensi Hidraulika η_H

Efisiensi hidraulika (η_H) terdiri dari 2 bagian utama:

1. **Efisiensi kehilangan tenaga (η_f)**, biasanya dibagi 2 yaitu efisiensi karena
   a) Kehilangan primer (*major*), biasanya terjadi karena kehilangan tenaga/energi sepanjang saluran.
   b) Kehilangan sekunder (*minor*), biasanya terjadi karena kehilangan tenaga/energi pada setiap bangunan air, karena pusaran.
2. **Efisiensi kebocoran debit (η_Q)** adalah efisiensi kebocoran debit sepanjang saluran.

$H_n = H_{br} - \sum h_f$ dan $P = 9{,}8\eta Q H_n$ KW → Rp

Tinjauan Kehilangan Tenaga, h_f

Pengaliran dalam pipa, menggunakan Persamaan Darcy-Weisbach:

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

$$\rightarrow h_f = K\frac{V^2}{2g}$$

dengan $K = f\frac{L}{D}$

Rumus umum kehilangan tenaga

$$h_f = K\frac{V^2}{2g}$$

dengan koefisien *K* tergantung kondisi pengaliran dalam saluran

Pengaliran saluran terbuka, menggunakan Persamaan Strickler:

$$V = k_s R^{2/3} I^{1/2} \text{dan } R = \frac{D}{4}$$

$$I = \frac{V^2}{{k_s}^2 R^{4/3}} \text{ dan } I = \frac{h_f}{L}$$

$$\rightarrow h_f = \frac{2gL}{{k_s}^2 R^{4/3}}\frac{V^2}{2g}$$

$$\rightarrow h_f = K\frac{V^2}{2g}$$

dengan $K = \frac{2gL}{{k_s}^2 R^{4/3}}$

Tinjauan Tinggi Tenaga Neto, H_n

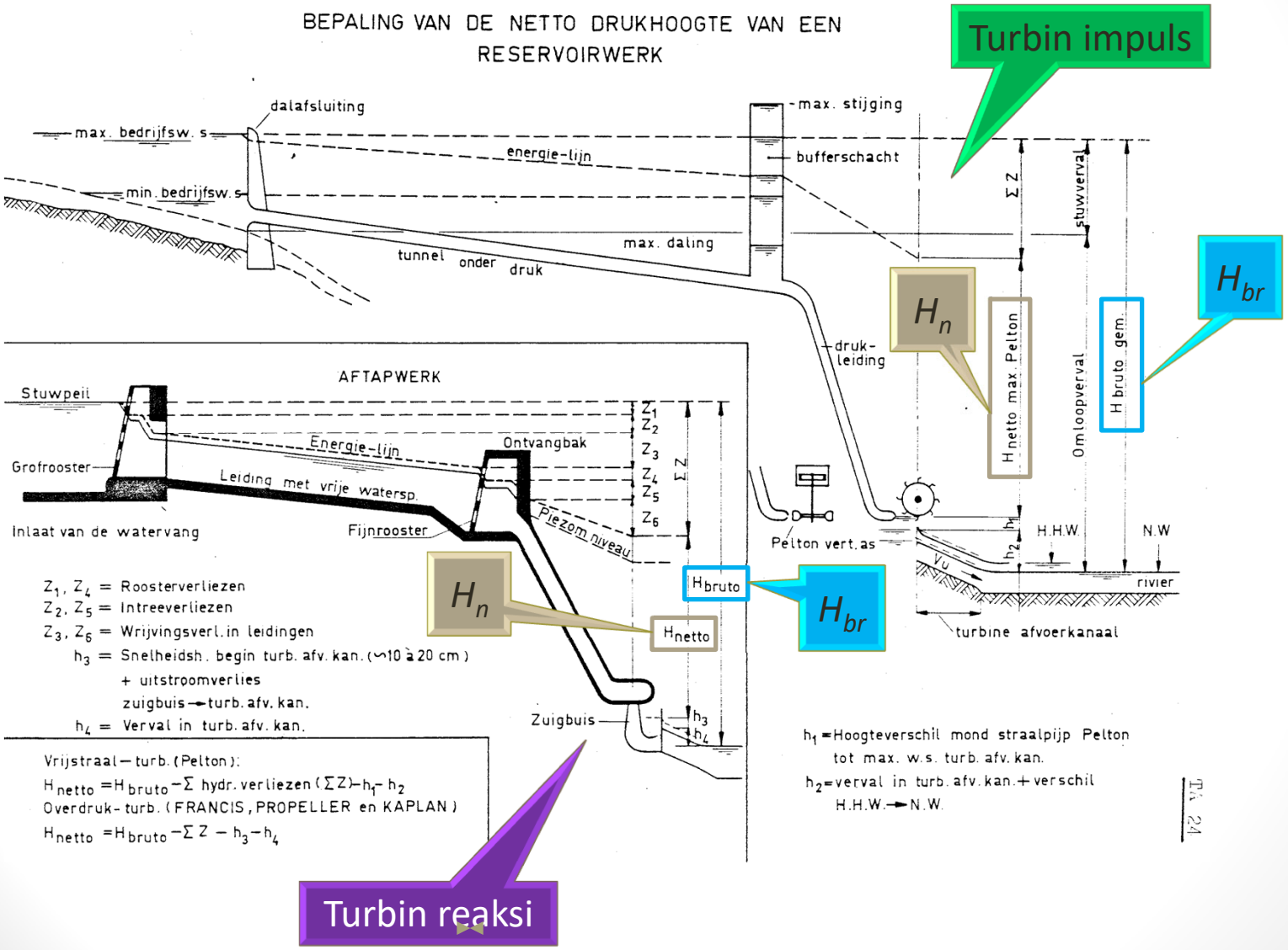
Rumus umum kehilangan tenaga

$$h_f = K\frac{V^2}{2g} = \frac{f(V)}{\ell(D)} = \frac{h(Q)}{\ell(D)}$$

dengan koefisien *K* tergantung kondisi.

- Dari persamaan di atas, h_f berbanding lurus dengan kecepatan, *V*, atau debit, *Q*, membesar, dan berbanding terbalik dengan dimensi saluran atau diameter, *D*.
- Dari persamaan di atas, $H_n = H_{br} - \sum h_f$ berbanding lurus dengan dimensi saluran atau diameter, *D*. Jika diameter membesar, maka H_n juga membesar.

Tinggi Tenaga Bruto & Neto



Tinggi Tenaga Bruto & Neto

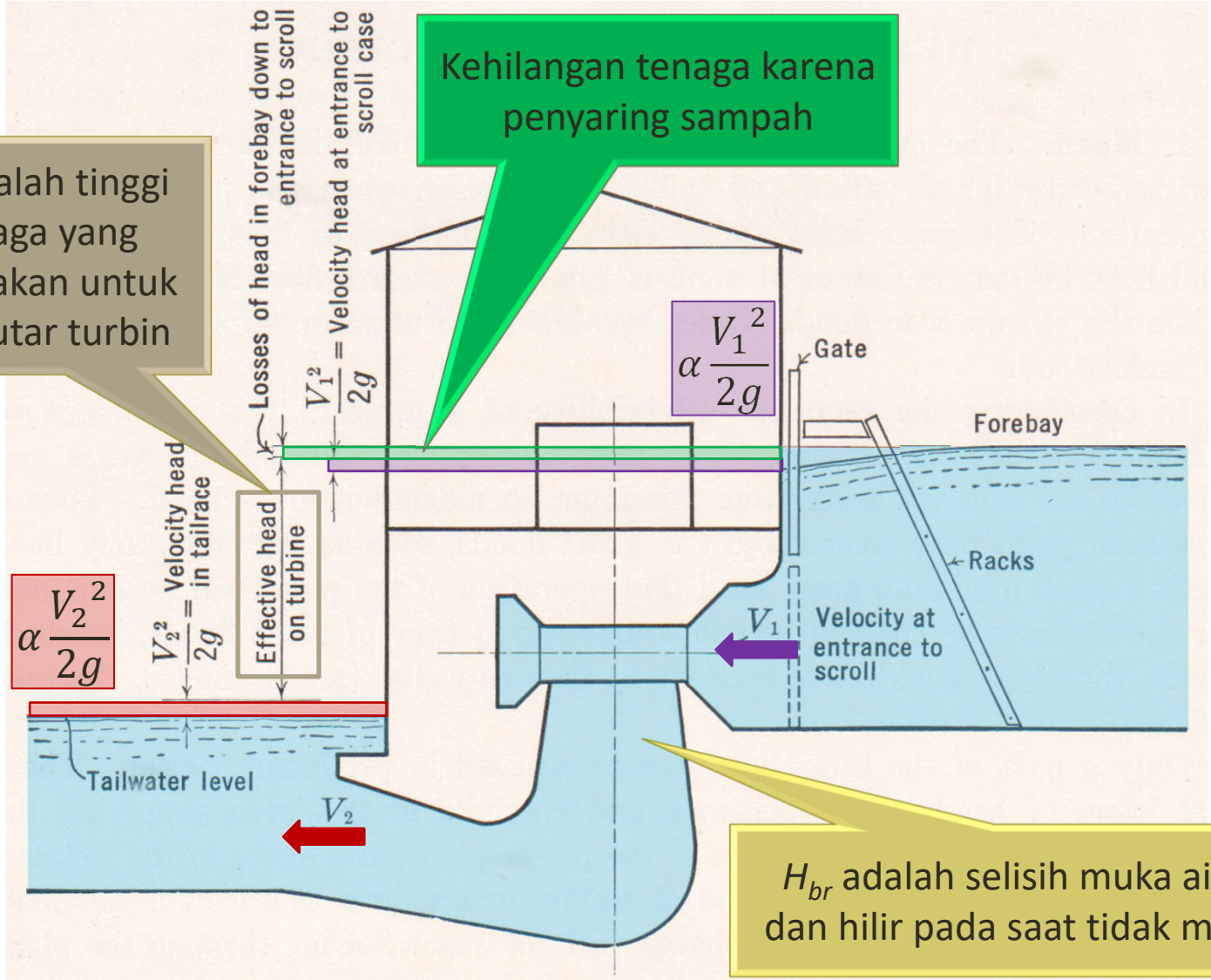


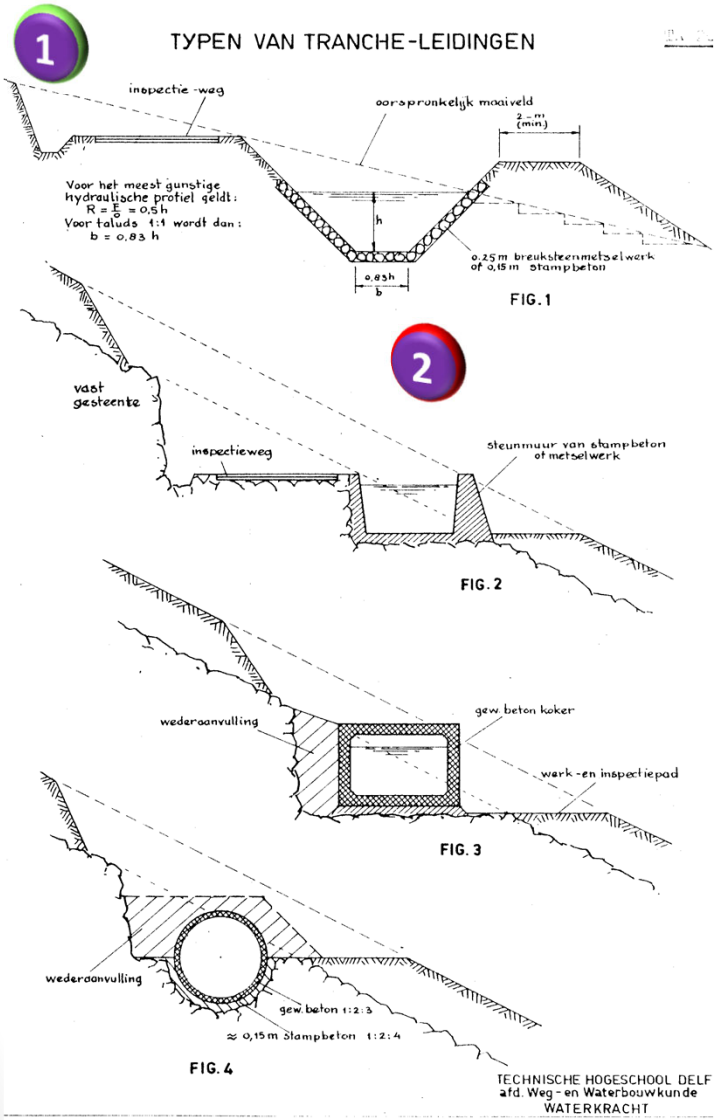
FIG. 1. Effective head on a hydro plant.

Kehilangan tenaga karena penyaring sampah

H_n adalah tinggi tenaga yang digunakan untuk memutar turbin

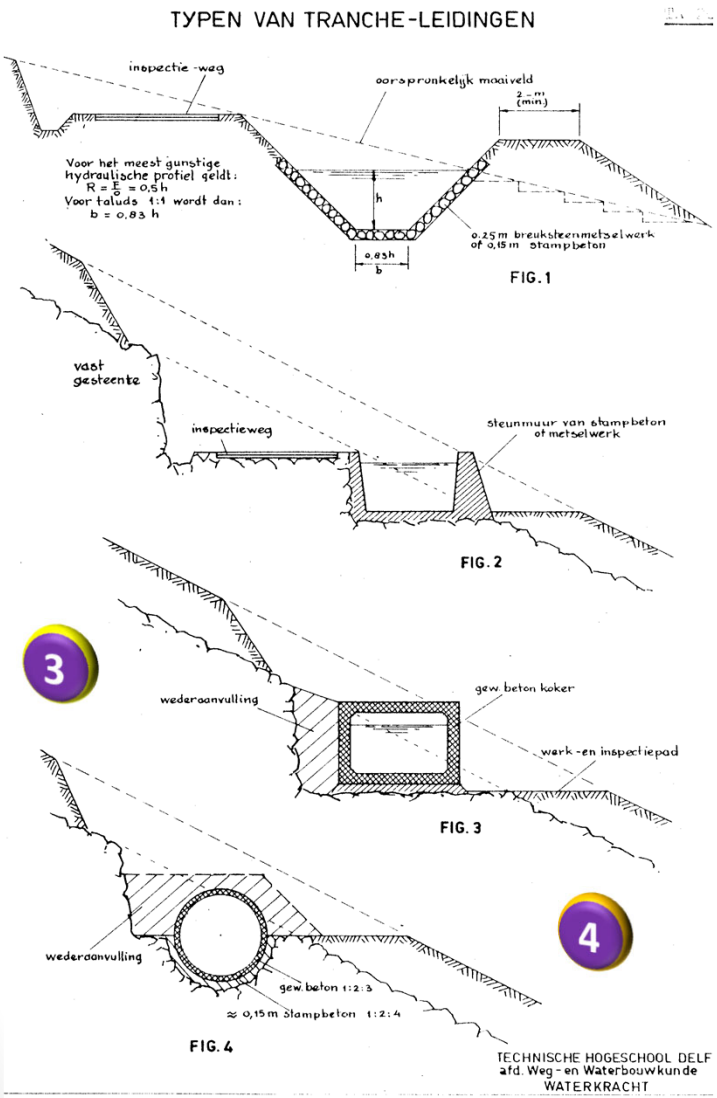
H_{br} adalah selisih muka air hulu dan hilir pada saat tidak mengalir

Efisiensi kebocoran debit (η_Q)



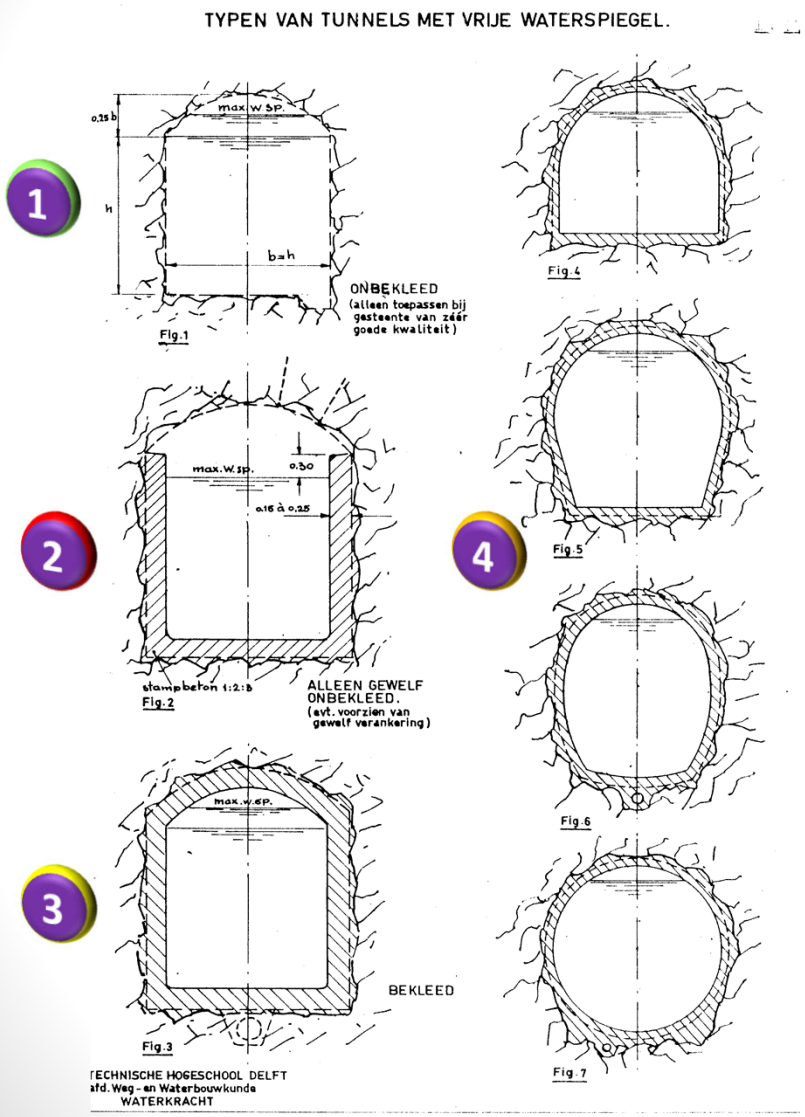
1. Jenis saluran terbuka dengan $Q_{sungai} > Q_{butuh}$, sehingga penguapan air tidak menjadi masalah. Ketersediaan energi besar, sehingga dinding saluran agak kasar, agar lebih murah pelaksanaannya.
2. Sama dengan Butir 1, tetapi dinding saluran lebih halus sehingga kehilangan energi lebih sedikit, namun biaya pembangunan lebih mahal.

Efisiensi kebocoran debit (η_Q)



3. Sama dengan Butir 2, tetapi permukaan saluran tertutup sehingga kehilangan air karena penguapan lebih sedikit, namun biaya pembangunan lebih mahal.
4. Jenis saluran tertekan, sehingga tidak terjadi penguapan air. Biaya pembangunan lebih mahal.

Efisiensi kebocoran debit (η_Q)



1. Jenis terowong dengan dinding langsung dari batuan asli. Dinding saluran kasar. Biaya lebih murah.
2. Sama dengan Butir 1, tetapi dinding saluran lebih halus sehingga kehilangan energi lebih sedikit, namun biaya pembangunan lebih mahal.
3. Sama dengan Butir 2 tetapi bagian atas diberi penahan beton.
4. Sama dengan Butir 3 dengan pelbagai macam bentuk.

Aspek Diameter pada BTA

Jika diameter saluran, *D*, membesar, maka:

1. H_n akan membesar, sehingga menaikkan produksi listrik sehingga pendapatan atas penjualan listrik bertambah.
2. Semakin besar diameter saluran, *D*, maka biaya pembangunan juga semakin membesar.

Oleh karena itu, dalam pembangunan BTA harus dipertimbangkan pemilihan diameter ekonomis, yaitu diameter saluran yang menghasilkan biaya total yaitu

(jumlah biaya operasi – jumlah penjualan listrik) menjadi minimum

atau

(jumlah penjualan listrik - jumlah biaya operasi) menjadi maksimum

Prinsip Diameter Ekonomis (1/2)

Prinsip: jumlah biaya operasi (*A*) dan kehilangan tenaga (*B*) tiap tahun harus minimum.

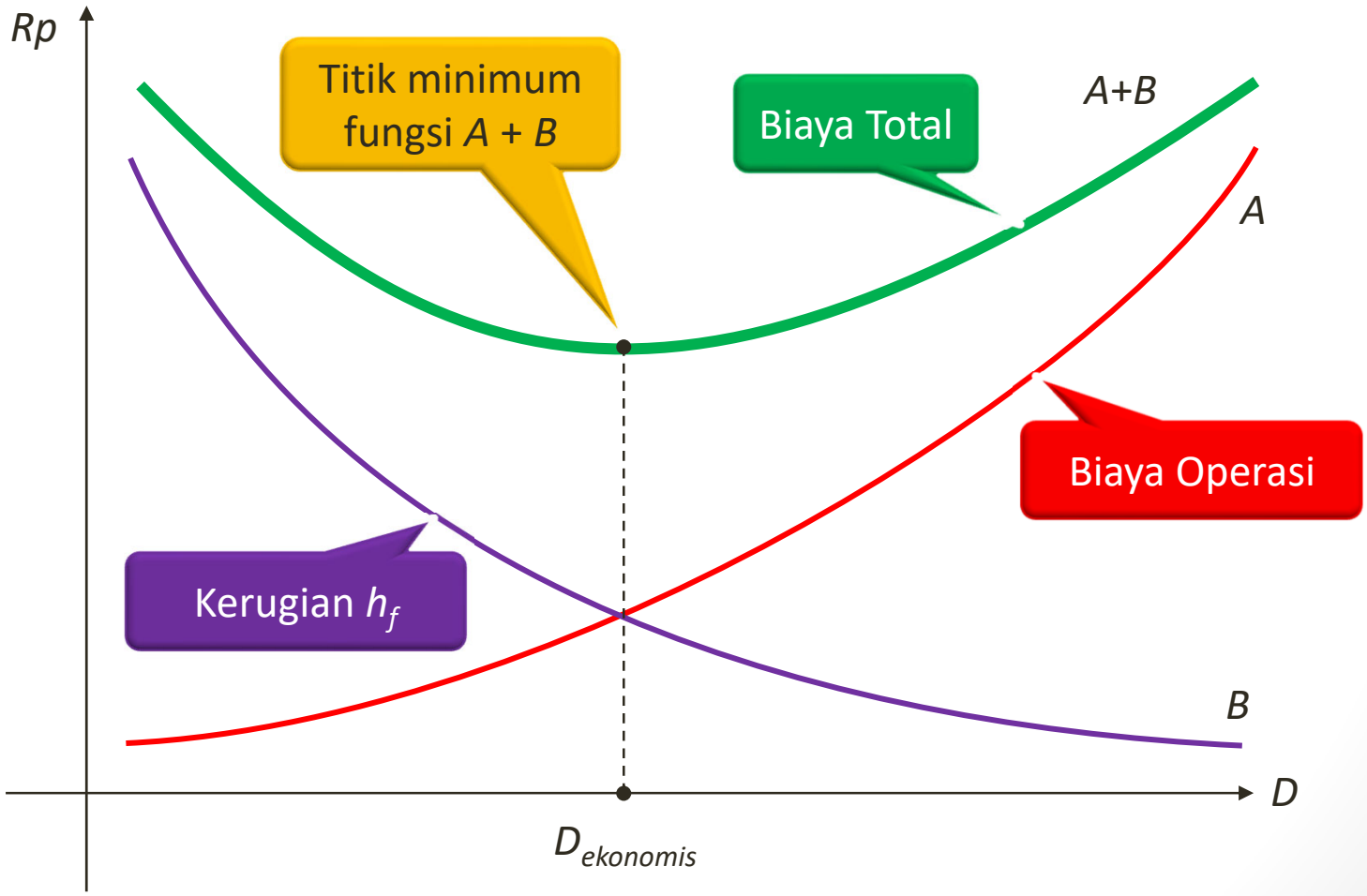
A. Biaya Operasi
   1) Biaya pembangunan dan bunganya selama umur perancangan.
   2) Penyusutan setiap tahun.
   3) Biaya perawatan, termasuk gaji.
   4) dan lain sebagainya.

B. Kerugian Kehilangan Tenaga h_f:

$$P = 9{,}8\eta Q h_f * Rupiah$$

Prinsip Diameter Ekonomis (2/2)

Gunakan matematika untuk <u>meminimumkan</u> fungsi *A* + *B*



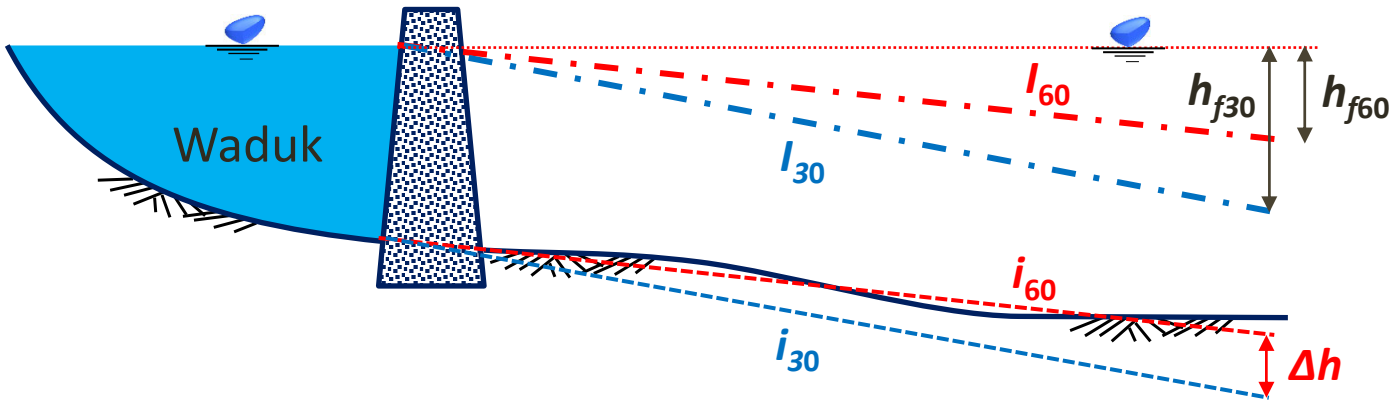
Perancangan Saluran Terbuka dan Tertekan

Pada perancangan saluran baik terbuka dan tertekan, aspek kekasaran dinding saluran sangat penting. Nilai kekasaran (k_s) dinding saluran, biasanya diprakirakan pada saat perancangan. Ketepatan nilai kekasaran ini saat perancangan sangat penting.

$$V = k_s R^{2/3} I^{1/2} \text{ dan } Q = A * V$$

dengan *V*: kecepatan aliran, k_s : koefisien kekasaran dinding saluran Strikler (makin besar nilainya, berarti saluran makin halus secara hidraulika), *R*: radius hidraulika, dan *I*: kemiringan garis enerji.

Prakiraan Nilai Kekasaran, k_s (1/2)



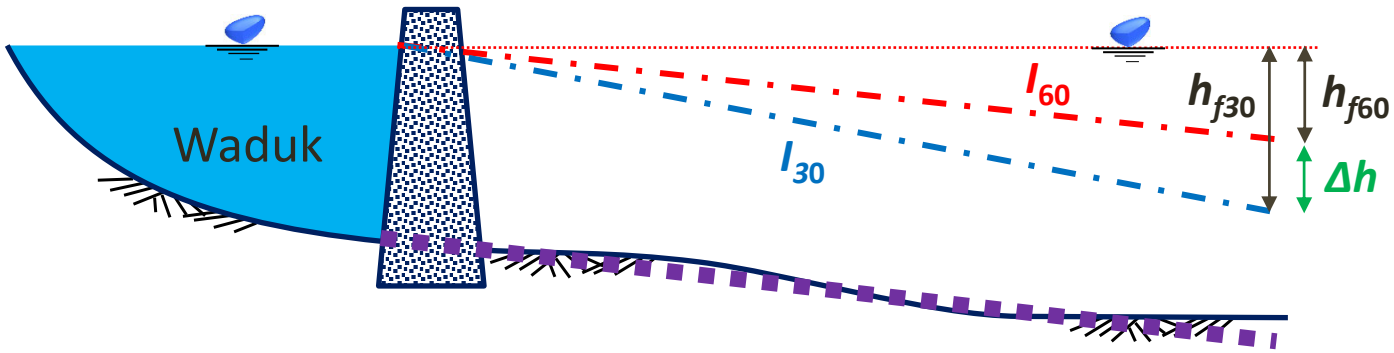
Apa keuntungan menaksir k_s = 60 dan k_s = 30 lebih kasar?

A. Untuk kasus <u>saluran terbuka</u> dengan taksiran awal k_s = 30, maka dibutuhkan kemiringan garis energi I_{30} lebih curam sehingga h_f lebih besar, namun pengerjaan lebih mudah karena lebih kasar.

   Jika ternyata yang terjadi nilai k_s = 60, lebih halus, tetapi dasar saluran sudah terlanjur digali dengan kemiringan i_{30}, selisih kedalaman Δ_h tidak dapat dikembalikan lagi.

   Sehingga dalam kasus saluran terbuka lebih baik menggunakan taksiran nilai k_s lebih halus terlebih dahulu, karena kalau yang terjadi ternyata lebih kasar, maka kemiringan garis enerji I akan menyesuaikan.

Prakiraan Nilai Kekasaran, k_s (2/2)



Apa keuntungan menaksir k_s = 60 dan k_s = 30 lebih kasar?

B. Untuk kasus <u>saluran tertekan</u> dengan taksiran awal k_s = 30, maka dibutuhkan kemiringan garis energi I_{30} lebih curam sehingga h_f lebih besar, namun pengerjaan lebih mudah karena lebih kasar.

Jika ternyata yang terjadi nilai k_s = 60, lebih halus, maka kemiringan garis energi I_{60}, akan menyesuaikan sendiri mengikuti hukum hidraulika.

Sehingga dalam kasus saluran tertekan lebih baik menggunakan taksiran nilai k_s lebih kasar terlebih dahulu, karena kalau yang terjadi ternyata lebih halus, maka kemiringan garis enerji I akan menyesuaikan dan terdapat efek psikologis, diperoleh keuntungan karena nilai produksi bertambah sebesar Δ_h.

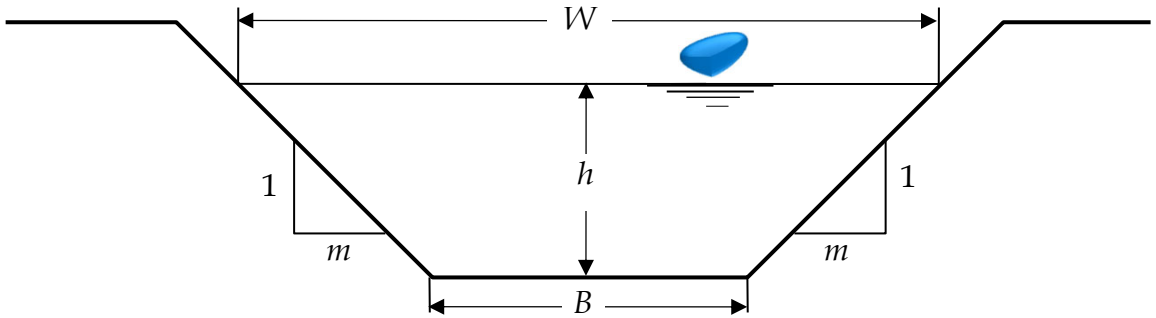
Tampang Lintang Efisien

Sebuah saluran terbuka dikatakan secara hidraulis efisien jika gaya gesek yang dialami selama pengaliran adalah minimum, sehingga debit yang dihasilkan menjadi maksimum.

Dengan perkataan lain: dengan luas tampang basah (*A*) yang sama, nilai keliling basah (*P*) diusahakan menjadi minimum.

Dengan syarat ini maka dengan luas tampang basah yang sama, kecepatan akan menjadi maksimum (karena keliling basah (*P*) diusahakan menjadi minimum), sehingga debit aliran maksimum pula.

Tampang Trapesium Efisien



$$A = (B + mh)h \text{ dan } P = B + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

dengan A: luas tampang lintang, *B:* lebar dasar saluran, *m*: kemiringan tebing saluran (*horisontal*:*vertikal*), *h*: kedalaman air saluran, dan *P*: keliling basah saluran..

Pada nilai *A* konstan, diperoleh nilai *P* sebagai berikut:

$$B = \frac{A}{h} - mh \rightarrow P = \frac{A}{h} - mh + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

agar diperoleh nilai *P* minimum, maka

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

http://luk.staff.ugm.ac.id/ochannel/TampangTrapesiumEfisien.pdf