

BANGUNAN TENAGA AIR

oleh:

P. Mardjikoen

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta
1987

Proyek Serbaguna ("multiple purpose project")

Proyek-proyek ini dimaksudkan untuk tujuan/kegunaan ganda a.l. :

1. pembangkit tenaga listrik (murah) - hydro electric power
2. pengendalian/pencegahan banjir - flood control/protection
3. pengairan - irrigation
4. penyediaan air domestik & industri - domestic & industrial water supply
5. perikanan darat & satwa liar - fish and wildlife
6. lalu lintas air - navigation (inland)
7. pengendalian kadar garam dan sedimen - salinity and sediment control
8. rekreasi dan pariwisata - recreation and tourism
9. penanggulangan pencemaran Air - water pollution abatement

- Contoh : - Proyek Bendungan Aswan (Nile project) di Mesir
US\$ 246 juta
- Tennessee Valley Authority Project di USA (TVA)
 - Niva Project & Jenissei Project di Uni Soviet
 - Damodar Project
 - Bakhra-Nangal Project } di India
 - Snowy Mountain River Scheme di Australia
 - Bhumiphol Project di Thailand
 - Volta River Project di Ghana
 - Tone River Project di Jepang
 - Tsengwen Multipurpose Project di Taiwan
 - Zambesi Dam Project di Afrika Selatan
 - Jabalbur Project, Karanghetas Project, Asahan Project di Indonesia
 - Itaipu Dam Project di Paraguay/Brazil / 12600 MW

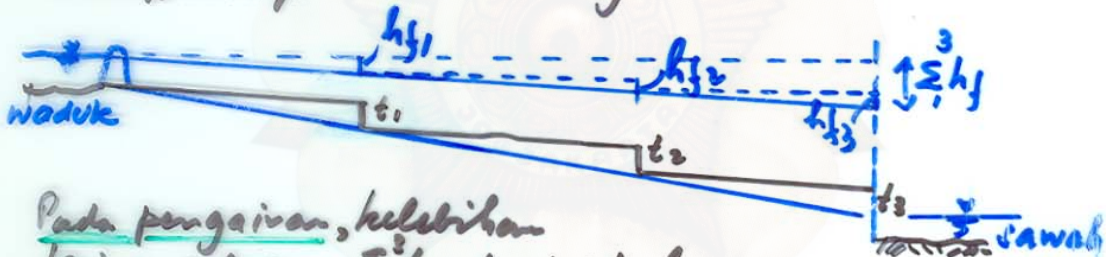
- PLTA Larona pada K. Larona 165 MW
 - PLTA Saguling pada K. Citarum 600 MW
 - " Jabigede " K. Cimank 800 MW
 - " Cirata " K. Citarum 500 MW (500 KV)
- Daya terpasang
(installed capacity)

• Laju kebutuhan tenaga listrik di Indonesia

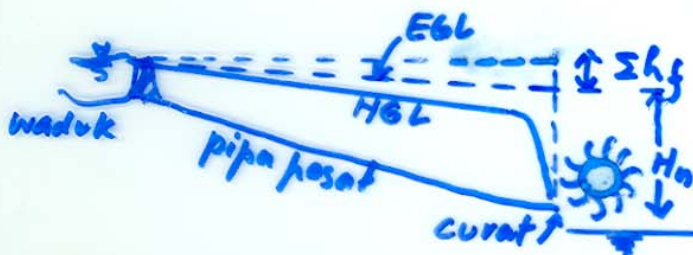
$$P_t = P_0 a^t$$

P_t : kebutuhan sesudah t Tahun
 P_0 : " pada suatu tahun
 t : berapa tahun kemudian
 a : 1.15 (sesudah P.D II)
 = 1.10 (sebelum P.D II)

• Beda prinsip BTA dan Pengairan



Pada pengairan, kelebihan
 terjun sebesar $\Sigma t = t_1 + t_2 + t_3$ harus
 dihematkan dalam bentuk terjunan agar kecepatan air
 di sawah tak terlalu besar \rightarrow erosi.



Pada BTA, Σh_g harus minimal
 agar H_n max, karena
 akan dijual sebagai
 tenaga listrik

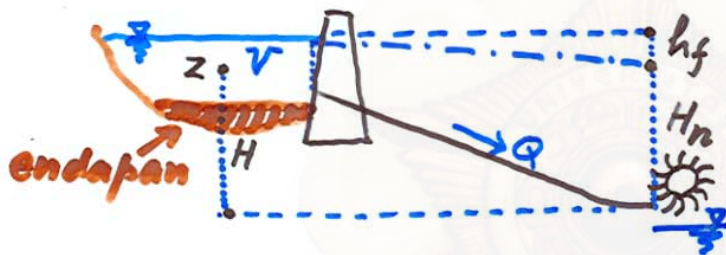
Kecepatan curat : $v_n = \sqrt{2gH_n}$ yang menggerakkan turbin
 impuls. Daya turbin $P = \eta \cdot 13.33 Q H_n$ DK.

DAYA DAN ENERGI.

* Dasar-dasar Tenaga Air ("the constituents of waterpower") :

- debit Q
 - terjun H
- } Keduanya variabel dengan waktu dan tempat, dan harus ditentukan berdasar survei seteliti mungkin selama jangka waktu cukup panjang (10 à 20 tahun).

* Hubungan antara energi dan volum.



$$E = V \gamma H$$

$$E = \text{energi (tm)}$$

$$V = \text{volum (m}^3\text{)}$$

$$\gamma = \text{BJ (t/m}^3\text{)}$$

$$H = \text{terjun (m)}$$

Dalam praktek karena adanya kehilangan tenaga akibat gesekan dll. secara praktis rumus menjadi

$$E_p = \eta V \gamma H$$

η = rendemen atau efisiensi
(tanpa dimensi)

* Hubungan antara daya dan debit.

$$P = Q \gamma H$$

$$P = \text{daya (tm/det)}$$

$$Q = \text{debit (m}^3\text{/det)}$$

$$\gamma = \text{BJ (t/m}^3\text{)}$$

$$H = \text{terjun (m)}$$

Praktis rumus menjadi :

$$P_p = \eta Q \gamma H$$

η = rendemen atau efisiensi

Dalam praktek teknik tenaga satuan-satuan tersebut diatas tidaklah lazim, maka perlu diubah seperti di bawah ini.

* Rumus-rumus transformasi:

$$(a) \quad \underline{1 \text{ tm/det}} = 1000 \text{ kgm/det} \stackrel{1 \text{ DK} = 75 \text{ kgm/det}}{\downarrow} = \frac{1000}{75} \text{ DK} = \underline{13,33 \text{ DK}}$$

$$(b) \quad \underline{1 \text{ tm/det}} = 1000 \text{ kgm/det} \stackrel{1 \text{ kg(f)} = 9,8 \text{ N}}{\downarrow} = 1000 \times 9,8 \text{ Nm/det} = 9800 \text{ W} \\ = \underline{9,8 \text{ kW}}$$

$$(c) \quad \underline{1 \text{ kWj}} \stackrel{1 \text{ tm} = 9,8 \text{ kwdet}}{\downarrow} = \frac{1}{9,8} \times 3600 \text{ tm} = \underline{367 \text{ tm}}$$

* Rumus Daya air dan Tenaga air.

Rumus tenaga air :

$$E_p = \frac{\eta V H}{367} \quad (\text{KwJ})$$

V = volum (m^3)
 H = terjun (m)

Rumus daya air :

$$P_p = 13,33 \eta Q H_n \quad (\text{DK})$$

atau

$$P_p = 9,8 \eta Q H_n \quad (\text{kW})$$

Q = debit (m^3/det)
 H_n = terjun neto (m)

Catatan : $\gamma_{\text{air}} = 1 \text{ t/m}^3$.

EFISIENSI (RENDEMEN) = η

Definisi: Efisiensi suatu sistem (mesin/alat) adalah daya yang keluar dari sistem dibagi dengan daya yang masuk ke sistem tersebut, dikalikan dengan 100%.



$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

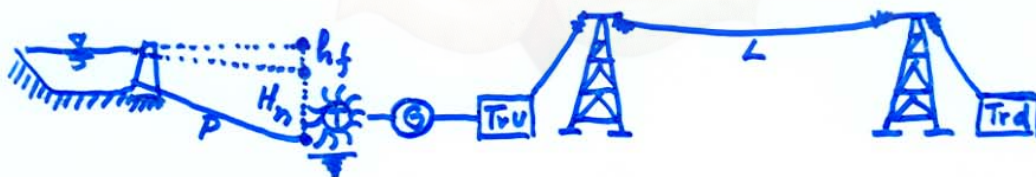
(tanpa dimensi)

Catatan: Jika pembilang dan penyebut dimensinya tidak sama, disebut:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (\text{berdimensi})$$

* Beberapa macam efisiensi.

Dalam sistem bangunan tenaga air lazim terdapat unsur-unsur sbb.:



h_f = kehilangan tinggi tenaga akibat gesekan = 2-5% H_n

H_n = terjun neto

P = pipa pesat

T = turbin

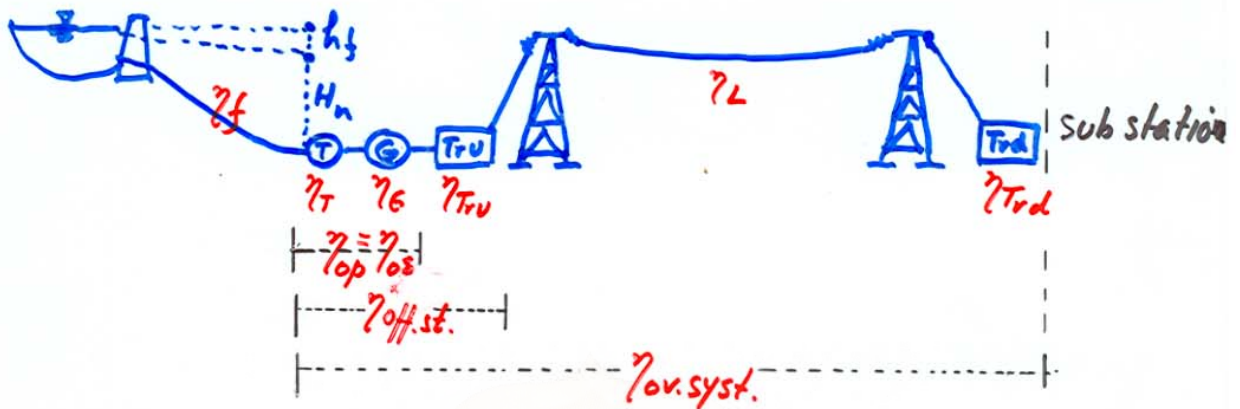
G = generator

Tru = Step up transformer

Trd = Step down transformer

L = high tension lines
= transmission lines

* Contoh efisiensi tiap unsur.



- η_f = efisiensi gesekan }
 η_G = " bocoran } η_H = efisiensi hidrolisik $\approx 95\%$
 η_T = " turbin = 85-95% Tergantung macam/tipe dan beban (Lih. gb. TA-40)
 η_G = " generator = 95%
 η_{Tru} = " trafo up = 98%
 η_L = " transmission lines = 95%
 η_{Trd} = " trafo down = 98%

* Beberapa istilah efisiensi.

$$\left. \begin{array}{l} \text{(a) overall plant efficiency} \\ \text{(b) " station " "} \end{array} \right\} = \frac{\text{daya lepas generator} \times 100\%}{\text{daya masuk turbin}}$$

$$\eta_{op} = \eta_{os} = \eta_T \cdot \eta_G$$

$$\begin{array}{l} \text{(c) off station efficiency = efisiensi lepas sentral} \\ \eta_{off.st.} = \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tru}. \quad (\text{Swedia}) \end{array}$$

$$(d) \text{ overall system efficiency} = \frac{\text{daya lepas trafo down}}{\text{daya masuk turbin}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{ov. syst}} = \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{\text{Tru}} \cdot \eta_L \cdot \eta_{\text{Trd}}$$

catatan: • Karena tiap alat (khususnya turbin) efisiensinya tidak tetap, tetapi tergantung keadaan beban (Lih. gb. TA. 40), maka pernyataan efisiensi seyogyanya dikaitkan dengan keadaan beban. Misalnya pada:

1. full gate point : keadaan beban dengan pintu-pintu terbuka penuh (Q_{max})
Pada keadaan ini tidak dicapai η_{max}
2. full load point : keadaan beban dengan η_{max}
Berarti kehilangan tenaga akibat gesekan minimum.
(Barrows, 1942).

• Semua efisiensi tersebut di atas bila digunakan dalam rumus daya, harus dikaitkan dengan terjun neto (H_n). Ini adalah konsensus!
Misalnya:

$$\begin{aligned} \text{- Daya lepas turbin} &= 13.33 \eta_T Q H_n \text{ (DK)} \\ &= 9.8 \eta_T Q H_n \text{ (Kw)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Daya lepas sentral} &= 13.33 \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{\text{Tru}} Q H_n \text{ (DK)} \\ &= 9.8 \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{\text{Tru}} Q H_n \text{ (Kw)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \text{Daya di substation atau di tempat penjualan} \\
 & = 13.33 \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tru} \cdot \eta_L \cdot \eta_{Trd} \cdot Q H_n \text{ (DK)} \\
 & = 9.8 \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tru} \cdot \eta_L \cdot \eta_{Trd} \cdot Q H_n \text{ (kW)}
 \end{aligned}$$

TERJUN (HEAD) = H.

Di dalam teknik tenaga air dikenal berbagai istilah terjun sbb.:

1. Terjun bruto (Gross head): H_{br} .

Terjun bruto adalah selisih tinggi muka air di reservoir atas dengan tinggi muka air sesudah saluran pembuangan, jika turbin tidak berputar (tidak aliran air).
(Lih. gb. TA-24).

2. Terjun neto (Net head): H_n atau
Terjun efektif (Effective head): H_{eff}

bibedakan 2 macam (menurut ASME = American Society of Mechanical Engineers)

(a) pada turbin reaksi.

Terjun neto adalah selisih antara tenaga total (potensial + kinetik) yang terkandung dalam air tiap satuan berat, sebelum masuk rumah turbin dan sesudah ke luar dari pipa isap (draft tube).

Terjun neto adalah selisih tinggi tekanan dalam pipa pesat sebelum rumah turbin dengan tinggi air belakang, ditambah dengan tinggi kecepatan dalam pipa pesat sebelum rumah turbin, dikurangi dengan tinggi kecepatan disaluran pembuangan. Hal tersebut di atas apabila turbin bekerja (Lih. gb. TA-24).

(b) Pada turbin impuls.

Terjun neto adalah tinggi tekanan ditambah dengan tinggi kecepatan sebelum ujung curat ("nozzle"), dikurangi dengan tinggi titik terendah pada "pitch circle" dari sudu-sudu turbin. Yang terakhir ini umumnya sesuai dengan sumbu ujung curat. (Lih. gb. TA-24 dan TA-36).

3. Terjun rancangan (Design head): H_d

Terjun rancangan adalah terjun neto untuk perancangan turbin oleh pabrik dengan efisiensi yang terbaik. Umumnya terjun rancangan dipilih sedemikian rupa, sehingga pembangkitan tenaga rata-rata setakunnya dengan terjun di atas dan di bawah terjun rancangan, adalah sama.

4. Terjun terukur (Rated head): H_r

Ada 2 definisi tbb.:

- Terjun terukur adalah terjun neto pada keadaan daya turbin yang dijamin oleh pabrik (dalam DK).
- Terjun terukur adalah terjun neto pada keadaan turbin dengan pintu-pintu terbuka penuh ("full gate point") memberikan kapasitas terukur ("rated capacity") generator dalam Kw.

CONTOH HITUNGAN PADA PLTA SIGURAGURA (ASAHAN).

$$H_{br} = 219 \text{ m} \quad \text{Diperkirakan } H_n = 216 \text{ m}$$

$$Q_{rt} = 80 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$Q_{min} = 60 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Efisiensi lepas sentral} = \eta_r \cdot \eta_G \cdot \eta_{Tru} = 86\%$$

$$\begin{aligned} \text{Maka daya lepas sentral} &= \eta \cdot 9.8 Q H_n \text{ Kw} \\ &= 0.86 (9.8) (80) (216) = 145.000 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Volume danau Toba ditaksir = $3 \times 10^9 \text{ m}^3$ (tiap tahun terisi)
 Jika terjun total antara danau Toba dan Selat Malaka yang dapat dimanfaatkan = 800 m
 dan efisiensi overall system semua PLTA pada proyek Asahan ditaksir = 61%, maka jumlah tenaga air yang dapat diproduksi

$$E_{ith} = \frac{\eta V H}{367} = \frac{0.61 (3 \times 10^9) (800)}{367} = 4.10^9 \text{ Kwj.}$$

Jika harga penjualan tenaga listrik = Rp 65/kwh,
maka hasilnya tiap tahun adalah:

$4 \cdot 10^9 \times \text{Rp } 65,- = \text{Rp } 260 \text{ milyar.}$ (Hasil jika seluruh
proyek Asahan telah
selesai)

Perlu diingat bahwa PLTA bersifat

- "self regenerative"
- airnya "cost less"
- tidak seberapa di-
pengaruhi gerakan
buruh.

Keuntungan PLTA →