

BUKU I BAHAN AJAR

BOILER DAN TURBIN

Penyusunan Bahan Ajar Dalam Kurikulum Berbasis
Kompetensi (Kurikulum 2007) ini dibiayai dari PHKI
Politeknik Negeri Bandung
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun Anggaran 2009

Disusun Oleh :
Ir. Haryadi, MT
NIP : 131 911 646



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BANDUNG
2010



HALAMAN PENGESAHAN

1. Identitas Bahan Ajar

- a. Judul Bahan Ajar : Boiler dan Turbin
- b. Mata Kuliah / Semester : Boiler dan Turbin/ V
- c. SKS (T-P) /Jam (T-P) : 2(2-4)/(2-4)
- d. Jurusan : Teknik Mesin
- e. Program Studi : Teknik Mesin
- e. Nomor Kode Mata Kuliah : PBME3153

2. Penulis

- a. Nama : Ir. Haryadi, MT
- b. NIP : 131 911 646
- c. Pangkat / Golongan : III/d
- d. Jabatan Fungsional : Lektor
- e. Program Studi : Teknik Mesin
- f. Jurusan : Teknik Mesin

Bandung, 12 Nopember 2010

Mengetahui,
Ketua KBK

Penulis,

Ir. Ali Mahmudi, MSc.
NIP.

Ir. Haryadi, MT
NIP. 131 911 646

Menyetujui,
Ketua Jurusan / Program Studi

Dr. Carolus Bintoro, Dipl. Ing., MT.
NIP. 131932818



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DESKRIPSI MATA KULIAH	1
CARA PENGGUNAAN.....	1
BAB I.....	2
BOILER.....	2
1.1 Klasifikasi Boiler	2
1.2 Konstruksi dan Bagian-bagian Boiler	3
1.3 Pembakaran dan Bahan Bakar	4
1.3.1 Komposisi Bahan Bakar	5
1.3.2 Nilai Kalor Bahan Bakar.....	5
1.3.3 Jenis-jenis Bahan Bakar.....	6
1.3.4 Perbandingan Berbagai Jenis Bahan Bakar	7
1.4 Boiler Berbahan-bakar Padat	7
1.4.1 Boiler dengan Teknik Pembakaran Unggun Terfluidisasi.....	7
1.4.2 Boiler dengan Teknik Pembakaran Stoker	8
1.4.3 Boiler dengan Teknik Pembakaran Pulverasi.....	10
1.5 Neraca Kalor dan Efisiensi Boiler.....	11
1.5.1 Metode Langsung	11
1.5.2 Metode Tidak Langsung dalam Menentukan Efisiensi Boiler	12
1.6 Peraturan perundangan dan keselamatan	14
1.7 Instrumentasi dan Kontrol pada Boiler	15
1.7.1 Drum Level Control.....	16
1.7.2 Combustion Control.....	17
1.7.3 Master control	18
1.7.4 <i>Fuel flow – air flow control</i>	19
1.7.5 Oxygen control	20
1.7.6 Atomizing Control	22
1.7.7 Blowdown Control.....	23
1.7.8 Steam Temperature Control.....	24
1.8 Pengolahan Air Umpan.....	25
1.8.1 Pengkerakan.....	25

1.8.2	Pembusaan dan priming.....	26
1.8.3	Korosi.....	27
1.9	Perawatan.....	27
1.10	Kesimpulan.....	30
1.11	Soal-soal.....	31
BAB II.....		32
TURBIN UAP.....		32
2.1	Pengantar.....	32
2.2	Termodinamika Pembangkit Daya Tenaga Uap.....	33
2.3	Klasifikasi Turbin Uap.....	35
2.4	Konstruksi Turbin Uap.....	37
2.4.1	Sudu Gerak Turbin Uap.....	38
2.4.2	Sudu Diam.....	39
2.4.3	Governor dan Sistem Kontrol.....	40
2.4.4	Labirin.....	42
2.5	Perawatan dan Perbaikan.....	44
2.6	Kesimpulan.....	46
2.7	Soal-soal.....	47
BAB III.....		48
TURBIN GAS.....		48
3.1	Pengantar.....	48
3.2	Termodinamika Turbin Gas.....	49
3.2.1	Siklus Ideal.....	49
3.2.2	Modifikasi Siklus Ideal.....	51
3.3	Konstruksi.....	52
3.3.1	Kompresor.....	54
3.3.2	Turbin.....	56
3.3.3	Ruang Bakar.....	57
3.4	Siklus Kombinasi.....	59
3.5	Perawatan.....	61
3.6	Kesimpulan.....	61
3.7	Soal-soal.....	61
BAB IV.....		63
TURBIN AIR.....		63
4.1	Pengantar.....	63
4.2	Dasar Mekanika Fluida.....	64
4.2.1	Analisis Dimensional.....	65
4.2.2	Pemodelan.....	66
4.2.3	Kecepatan Spesifik Daya.....	67
4.2.4	Daya pada Turbin.....	69

4.3	Turbin Pelton.....	70
4.4	Turbin Francis	73
4.5	Turbin Kaplan	76
4.6	Kavitasi pada Turbin Air.....	77
4.7	Perawatan Turbin Air.....	78
4.8	Kesimpulan	79
4.9	Soal-soal.....	79
	REFERENSI	81
	GBPP (Garis-garis Besar Program Pengajaran)	82
	SAP (Satuan Acara Perkuliahan).....	83



DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Klasifikasi boiler	3
Gambar I-2 Spreader Stoker	9
Gambar I-3 Chain gerate stoker.....	9
Gambar I-4 Vibrating stoker.....	10
Gambar I-5 Pulverized combination coal burner.....	11
Gambar I-6 <i>Single-element drum level control</i>	16
Gambar I-7 <i>Two-element drum level control</i>	17
Gambar I-8 <i>Three-element drum level control</i>	17
Gambar I-9 <i>Combustion control</i>	18
Gambar I-10 Pembagi beban boiler	19
Gambar I-11 <i>Fuel flow – air flow control</i>	19
Gambar I-12 <i>Fuel flow – air flow control</i> untuk bahan bakar gas.....	20
Gambar I-13 <i>Oxygen control</i>	21
Gambar I-14 <i>Atomizing control</i>	22
Gambar I-15 <i>Blowdown control</i>	23
Gambar I-16 <i>Continuous blowdown control</i>	24
Gambar I-17 <i>Steam termperatur control</i>	24
Gambar I-18 Kerak pada pipa air	26
Gambar II-1 Skema siklus Renkine sederhana	33
Gambar II-2 Siklus Renkine ideal pada bidang T - s.....	33
Gambar II-3 Siklus Renkine dengan pemanasan ulang	34
Gambar II-4 Karakteristik kombinasi turbin Curtis - Rateau	35
Gambar II-5 Karakteristik kombinasi turbin Curtis - Parsons	36
Gambar II-6 Turbin uap dengan kondensasi.....	37
Gambar II-7 Turbin uap ekstraksi atau tanpa kondensasi.....	37
Gambar II-8 Konstruksi turbin uap.....	38
Gambar II-9 Konstruksi sudu turbin impuls dan turbin reaksi.....	39
Gambar II-10 Konstruksi sudu tetap turbin uap	40
Gambar II-11 Skema cara kerja governor kecepatan putar	41
Gambar II-12 Skema cara kerja governor tekanan keluar	41



BAB II

TURBIN UAP

Tujuan Pembelajaran Umum

1. Mahasiswa memahami klasifikasi, prinsip kerja, perhitungan daya, serta dasar-dasar perawatan turbin uap.

Tujuan Pembelajaran Khusus

1. Mahasiswa dapat menjelaskan kelebihan turbin uap.
2. Mahasiswa dapat menghitung kapasitas daya pembangkit daya uap secara termodinamik.
3. Mahasiswa dapat menjelaskan klasifikasi turbin uap.
4. Mahasiswa dapat menjelaskan konstruksi, dan carakerja turbin uap dan bagian-bagiannya.
5. Mahasiswa dapat menjelaskan dasar-dasar perawatan turbin uap

2.1 Pengantar

Turbin uap dikenal sebagai pembangkit daya yang dapat diandalkan dan serba guna, bagi industri dan pembangkit listrik. Bersama dengan boiler, turbin uap dapat beroperasi dengan berbagai bahan bakar, mulai dari sampah, limbah pertanian, biomassa, batubara, sampai nuklir. Uap keluarannya bisa diambil pada berbagai temperatur dan tekanan, untuk dimanfaatkan.

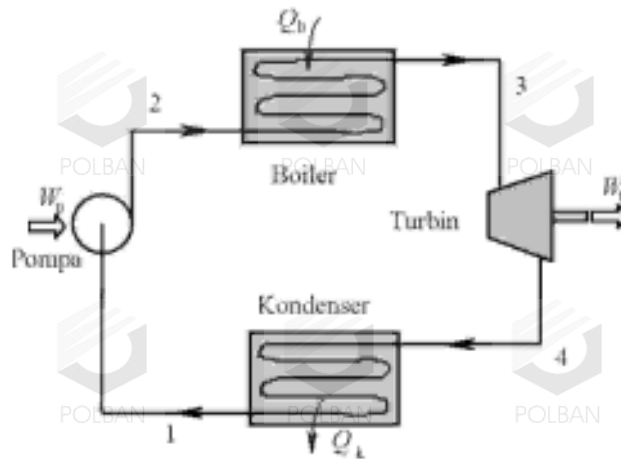
Dengan berkembangnya teknologi manufaktur, material, kontrol, dll.; kapasitas daya yang dihasilkan semakin tinggi, tekanan dan temperatur operasi semakin tinggi, jarak waktu antar overhaul semakin panjang, keandalan semakin tinggi.

Banyak inovasi telah dilakukan oleh para pembuat turbin selama seperempat abad terakhir seperti: exhaust multi-aliran, rotor solid, bantalan putaran tinggi, diameter sudu gerak yang semakin besar, dan berbagai sistem kontrol yang canggih. Pembuat turbin uap besar yang dikenal saat ini tersebar di tiga benua; dari Eropa adalah: ALSTOM Power yang merupakan merger dari ABB Kraftwerke dan GEC Alsthom, Siemen Power Generation dan cabangnya Siemen Westinghouse Power Corporation; dari Jepang adalah: Hitachi, Mitsubishi Heavy Industries, dan Toshiba; dari AS adalah General Electric; dari Rusia adalah Leningrad Metallic Works; Turboatom (Kharkov Turbine Works) dari Ukraina; dari China adalah Shanghai and Dongfang Turbine Works; dari Korea adalah Doosan Heavy Industries and Construction.

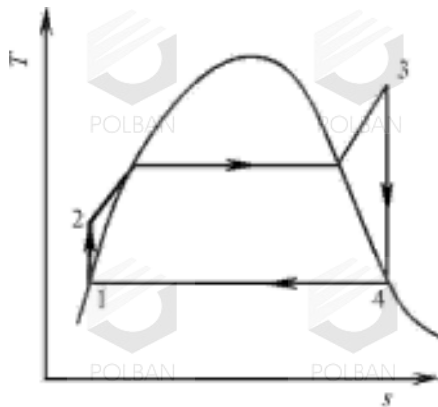
Sebagian besar para pembuat ini dapat menghasilkan turbin uap berkapasitas antara 800 – 1200 MW. Mitshubishi siap mengapalkan turbin uap tunggal berkapasitas 1.400 MW, dan ALSTOM bahkan sampai 1.800 MW.

2.2 Termodinamika Pembangkit Daya Tenaga Uap

Turbin adalah mesin yang mengubah energi fluida menjadi daya poros, dimana fluida mengalir secara kontinu melalui sudu-sudu yang berputar. Turbin uap memanfaatkan energi fluida berupa entalpi uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi. uap pada umumnya digunakan bersama dengan boiler, pompa dan kondenser dalam bentuk siklus Rankine yang biasa digunakan pada PLTU. Berikut ini adalah siklus Rankine sederhana dengan tinjauan termodinamika. Representasi siklus tersebut pada diagram T-s dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II-1 Skema siklus Rankine sederhana



Gambar II-2 Siklus Rankine ideal pada bidang T - s

Proses 1-2: Proses kerja kompresi adiabatik reversibel (isentropik) cairan jenuh di pompa. Jika proses 1-2 adalah proses ideal, maka tidak ada perubahan entropi antara kondisi 1 dan kondisi 2.

$$w_p = h_2 - h_1$$

Proses 2-3: Proses kalor masuk pada tekanan tetap di ketel (boiler)

$$q_b = h_3 - h_2$$

Proses 3-4: Proses kerja ekspansi adiabatik reversibel (isentropik) uap di turbin.

$$w_t = h_3 - h_4$$

Proses 4-1: Proses pelepasan kalor pada tekanan tetap dan reversibel di kondensor .

$$q_b = h_3 - h_2$$

Efisiensi termal siklus Rankine sederhana ideal dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)}$$

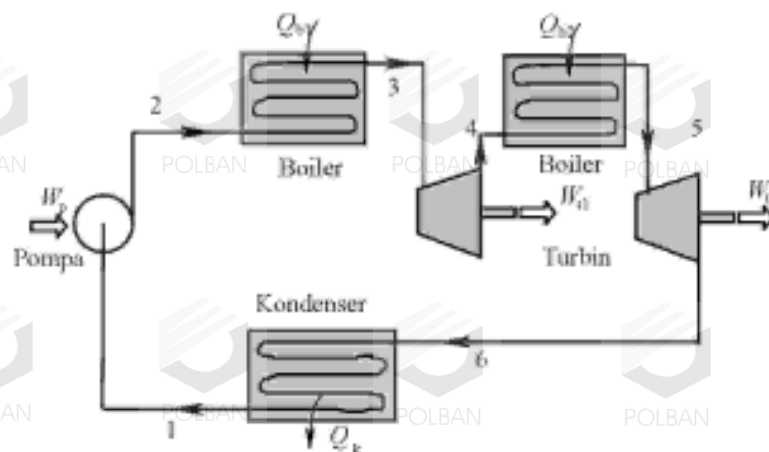
Daya turbin yang dihasilkan,

$$W_t = \dot{m} \times w_t$$

Berikut ini adalah istilah-istilah yang sering digunakan untuk menunjukkan performansi **siklus daya uap** atau **gas**:

- Backwork ratio (BWR) adalah perbandingan antara daya pompa dengan yang dihasilkan turbin.
- Steam rate: penggunaan uap dibagi energi mekanik yang dihasilkan (kg/hp.h).
- Heat rate: penggunaan kalor per satuan energi mekanik atau listrik yang dihasilkan siklus (kcal/kWh).
- Efisiensi isentropik: daya turbin sebenarnya dibagi dengan efisiensi turbin isentropik.

Dalam prakteknya, siklus sederhana seperti di atas dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi maupun alasan lain. Gambar II.3 menunjukkan siklus Rankine yang dimodifikasi dengan pemanasan ulang (reheat).



Gambar II-3 Siklus Rankine dengan pemanasan ulang

-
2. Secara termodinamik: efisiensi pembangkit daya uap dapat ditingkatkan dengan meningkatkan temperatur dan tekanan operasi, serta melakukan modifikasi siklus.
 3. Istilah-istilah yang sering digunakan untuk menunjukkan performansi siklus daya uap atau gas adalah: Backwork ratio (BWR), Steam rate, Heat rate dan efisiensi isentropik.
 4. Berdasarkan cara kerjanya turbin uap dapat dibagi menjadi:
Turbin impuls:
 - a. Turbin impuls satu tingkat (sederhana)
 - b. Turbin impuls kecepatan bertingkat (turbin Curtis)
 - c. Turbin impuls tekanan bertingkat (turbin Rateau)Turbin reaksi (turbin Pearson).
 5. Berdasarkan uap exhaust-nya, turbin uap dapat dibagi menjadi: Turbin uap dengan kondensasi dan turbin uap ekstraksi atau turbin uap tanpa kondensasi (extracting turbine atau noncondensing turbine).
 6. Konstruksi turbin uap, sangat kompleks. Suatu turbin uap haruslah handal, ekonomis, mudah dioperasikan, memiliki konstruksi dan rakitan yang sederhana, mudah dalam perbaikan dan perawatan.
 7. Tindakan perawatan dan perbaikan yang tepat, dapat meningkatkan keandalan, availabilitas dan umur turbin.

2.7 Soal-soal

1. Jelaskan kelebihan dan kekurangan turbin uap.
2. Bagaimana cara meningkatkan efisiensi turbin uap secara termodinamik?
3. Jelaskan klasifikasi turbin uap.
4. Jelaskan cara kerja labirin.
5. Sebuah turbin uap dilengkapi dengan pemanas ulang. Air masuk pompa pada kondisi cair jenuh pada temperatur 40 °C. Tekanan keluar pompa 120 bar. Air dipanaskan oleh boiler hingga mencapai temperatur 650 °C. Diekspansikan sampai tekanan 50 bar, kemudian dipanaskan ulang sampai 650 °C. Laju aliran uap adalah 60 ton per jam. Hitunglah daya turbin, efisiensi termal, dan heat rate dari siklus tersebut. Ulangi perhitungan tersebut bila tanpa pemanasan ulang. Bandingkan hasilnya.
6. Apa perbedaan sudu gerak dan sudu diam turbin impuls dan turbin reaksi?
7. Sebutkan kerusakan mungkin terjadi pada komponen utama turbin uap, dan cara perbaikannya.
8. Jelaskan cara kerja governor kecepatan putar dan ekstraksi otomatis.



BAB III TURBIN GAS

Tujuan Pembelajaran Umum

1. Mahasiswa memahami klasifikasi, prinsip kerja, perhitungan daya, serta dasar-dasar perawatan turbin gas.

Tujuan Pembelajaran Khusus

1. Mahasiswa dapat menjelaskan definisi, keuntungan dan kerugian turbin gas.
2. Mahasiswa dapat menghitung daya dari siklus Brayton ideal sederhana dan modifikasinya, secara termodinamik.
3. Mahasiswa dapat menjelaskan konstruksi, cara kerja dan klasifikasi dari kompresor, turbin gas dan ruang bakar.
4. Mahasiswa dapat menjelaskan siklus kombinasi dan kelebihan-kelebihannya.
5. Mahasiswa dapat menjelaskan perawatan turbin gas.

3.1 Pengantar

Turbin gas adalah mesin konversi energi yang mengubah energi fluida gas panas, yang berupa tekanan dan temperatur tinggi, menjadi energi mekanik poros, dimana fluida mengalir secara kontinyu melalui sudu-sudu yang berputar. Turbin gas pada umumnya digunakan bersama kompresor dan ruang bakar (combustor atau combustion chamber) pada siklus pembangkit daya, yang dikenal dengan siklus Brayton atau siklus Joule. Sering kali, rangkaian ketiga alat ini beserta alat-alat tambahannya (accessories) disebut sebagai turbin gas, karena biasanya sudah dibuat dalam bentuk paket yang kompak.

Sebagai pembangkit daya, turbin gas memiliki keunggulan penting dibanding dengan pembangkit daya lainnya, yaitu tingginya daya yang dibangkitkan untuk berat mesin yang sama. Hal ini membuat turbin gas bisa dikatakan satu-satunya pilihan pembangkit daya yang digunakan pada pesawat udara, kecuali roket yang memang digunakan dalam keantariksaan.

Disamping bisa dianggap bebas getaran, turbin gas juga dapat beroperasi dengan berbagai bahan bakar, seperti: gas alam, minyak diesel, nafta, metana, minyak mentah, gas dengan nilai kalor rendah, minyak bakar yang divaporisasi, bahkan gas biomassa. Hal ini membuat turbin gas menjadi pilihan untuk pembangkit daya pada anjungan lepas pantai. Dengan teknologi material yang semakin maju, turbin gas dapat beroperasi pada temperatur yang lebih tinggi.

Kekurangan turbin gas adalah tidak dapat menggunakan bahan bakar padat, serta efisiensinya yang rendah terutama pada daya rendah, tidak dapat digunakan untuk daya rendah. Namun saat ini efisiensi turbin uap dapat mencapai 45% dengan menggunakan gas alam. Bila dikombinasikan dengan pembangkit daya uap menggunakan HRSG (Heat Recovery Steam Generator) atau WHRB (Waste

-
3. Secara termodinamik, bagaimana meningkatkan efisiensi turbin gas.
 4. Jelaskan jenis-jenis kompror dan turbin menurut cara kerjanya.
 5. Gambarkan skema pembangkit daya siklus kombinasi.
 6. Bagian mana dari turbin gas yang paling banyak mengalami kerusakan.
 7. Jelaskan jenis-jenis pendinginan pada sudu turbin gas.
 8. Jelaskan jenis-jenis ruang bakar, keuntungan dan kerugiannya masing-masing.
 9. Sebuah turbin gas bekerja dengan pemanasan ulang. Temperatur udara masuk kompresor 25°C , pada tekanan 1 bar, kemudian dikompresi hingga mencapai 8 bar. Pemanasan dilakukan hingga temperatur 1100°C . Turbin tingkat pertama mengekspansikan gas asap sampai pada tekanan 4 bar, kemudian dilakukan pemanasan ulang hingga mencapai 1100°C lagi kemudian diekspansikan pada turbin tingkat kedua. Laju aliran massa udara siklus adalah 30 kg/s. Hitunglah daya, BWR dan Heat rate turbin gas tersebut, bila:
 - a. Dengan reheater
 - b. Tanpa reheater, menggunakan satu turbin saja.



BAB IV TURBIN AIR

Tujuan Pembelajaran Umum

1. Mahasiswa memahami klasifikasi, prinsip kerja, perhitungan daya, serta dasar-dasar perawatan turbin air.

Tujuan Pembelajaran Khusus

1. Mahasiswa bisa menjelaskan definisi, kelebihan dan kekurangan pembangkit daya air.
2. Mahasiswa bisa menjelaskan dasar-dasar mekanika fluida yang berhubungan dengan turbin air, serta klasifikasinya
3. Mahasiswa bisa menjelaskan konstruksi, bagian-bagian, dan perhitungan daya turbin Pelton.
4. Mahasiswa bisa menjelaskan konstruksi, bagian-bagian, dan perhitungan daya turbin Francis.
5. Mahasiswa bisa menjelaskan konstruksi, bagian-bagian, dan perhitungan daya turbin Kaplan.
6. Mahasiswa bisa menjelaskan peristiwa kavitasi pada turbin air dan cara menanggulangnya.
7. Mahasiswa bisa menjelaskan dasar-dasar perawatan turbin air.

4.1 Pengantar

Turbin adalah mesin yang mengubah, atau mengekstraksi energi fluida yang mengalir kontinyu menjadi daya poros. Turbin air mengubah energi air berupa energi potensial maupun kinetik air menjadi daya poros.

Turbin air umumnya digunakan pada pembangkit daya tenaga air dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Air. PLTA memiliki kelebihan-kelebihan dibanding dengan PLTU maupun pembangkit listrik lainnya sebagai berikut:

1. Mempunyai efisiensi tinggi
2. Fleksibel dalam pengoperasian: tidak memerlukan waktu lama dalam start up, serta dengan mudah dapat menyesuaikan terhadap perubahan beban, bahkan bisa dioperasikan sebagai pompa sehingga berfungsi seperti baterai.
3. Keausan relatif rendah
4. Bahan energi masukannya terbarukan, dan tidak akan habis selama bisa dijaga kelestariannya.
5. Tidak menghasilkan polusi atmosfer.

6. Reservoirnya bisa digunakan sebagai cadangan air baku, pariwisata, perikanan maupun irigasi.

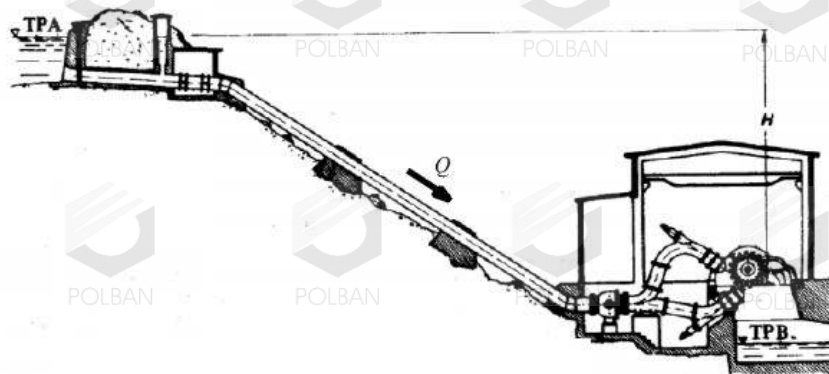
Meskipun begitu PLTA juga memiliki kekurangan-kekurangan diantaranya adalah:

1. Biaya investasi yang lebih besar.
2. Memerlukan lahan yang cukup luas untuk reservoir air, sehingga sangat berpotensi untuk menimbulkan masalah sosial dan lingkungan. Hal ini terutama jika tidak terdapat danau alam, dan harus dibuat waduk atau danau buatan.
3. Walaupun suplai sumber energi PLTA berupa adanya air pada ketinggian selalu ada, namun pada prakteknya umur waduk terbatas, terutama akibat adanya sedimentasi dan berbagai aktifitas manusia lainnya.

Seperti pada turbin uap dan turbin gas, pada turbin air juga dikenal turbin impuls dan turbin reaksi.

4.2 Dasar Mekanika Fluida

Gambar IV-1 menunjukkan instalasi suatu turbin air.



Gambar IV-1 Instalasi suatu turbin air

Daya hidrolik yang diberikan oleh air terhadap turbin adalah:

$$P_H = \rho g Q H$$

Sedangkan daya poros yang dikeluarkan oleh turbin adalah:

$$P_s = \eta_0 \times P_H = \eta_0 \times \rho g Q H$$

$$\eta_0 = \frac{P_s}{\rho g Q H}$$

Efisiensi hidrolik (hydraulic eff.)

$$\eta_H = \frac{P_s + P_m}{\rho g Q H}$$

Dimana:

P_m = rugi-rugi mekanik

P_s = daya poros