

Bab II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bab ini memuat teori-teori yang relevan sesuai dengan tujuan dan manfaat yang akan dicapai. Analisa Hidrologi pada kajian ini dilakukan dalam kaitannya dengan analisa ketersediaan debit, penghitungan debit andalan, penentuan site untuk pembangkit listrik tenaga air, serta penghitungan besarnya daya yang dihasilkan.

2.2 Analisis Data Hidrologi

Hidrologi pada dasarnya bukan merupakan ilmu yang sepenuhnya eksak, tetapi merupakan ilmu yang memerlukan interpretasi lebih lanjut. Dalam arti luas hidrologi dapat dikatakan suatu ilmu peramalan untuk kejadian-kejadian yang akan datang dengan mengolah data-data yang telah diobservasi/diamati.

Data Hidrologi harus memenuhi standar tertentu yang secara statistik dapat dipercaya serta mempunyai ketelitian yang memadai. Cara-cara pengumpulan serta analisa data mempunyai standar sendiri sesuai dengan karakteristik (iklim, geologi dan lain-lain).

2.2.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah tangkapan hujan atau daerah aliran sungai meliputi luas, bentuk geometrik, konfigurasi dan kemiringan tanah, klarifikasi dan statistik aliran serta karakteristik fisiografik lainnya (Sukandarrumidi, 2010).

Daerah Aliran Sungai (DAS) secara umum didefinisikan sebagai suatu hamparan/wilayah/kawasan yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit yang menerima, mengumpulkan air hujan, sedimen dan unsur hara serta mengalirnya melalui anak-anak sungai dan keluar pada sungai utama ke laut atau danau) (Asdak, C. 2004).

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan ekosistem, dimana unsur organisme dan lingkungan biofisik serta unsur kimia berinteraksi secara dinamis dan didalamnya terdapat keseimbangan *inflow* dan *outflow* material dan energi. Untuk itu pengelolaan DAS dapat didefinisikan sebagai bentuk pengembangan wilayah untuk mencapai peningkatan pemanfaatan Sumber Daya Air yang optimum dan berkelanjutan (lestari) termasuk sungainya sebagai pembangkit listrik tenaga air dengan dampak kerusakan minimal.

2.2.2 Presipitasi

Presipitasi adalah nama umum dari uap yang mengkondesasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi (Sosrodarsono, 1987). Presipitasi yang ada di bumi ini diantaranya berupa curah hujan, hujan es, salju dan embun. Pada kajian ini hanya dibatasi pada hujan saja.

Besarnya hujan dicatat dengan mengukur tingginya pada alat ukur hujan dalam satuan millimeter. Selain itu bisa juga dinyatakan dalam intensitas dengan satuan mm/jam. Dalam praktek pengukuran hujan terdapat dua jenis alat ukur hujan, yaitu manual dan otomatis.

a. Alat ukur hujan biasa (*manual rain gauge*)

Data yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan alat ini berupa data hasil pencatatan oleh petugas pada setiap periode tertentu. Alat pengukur hujan ini berupa suatu corong dan sebuah gelas ukur, yang masing-masing berfungsi untuk menampung jumlah air hujan dalam satu hari (hujan harian).



Gambar. 2 Alat Ukur Hujan Manual

b. Alat ukur hujan otomatis (*automatic rain gauge*)

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat ini, berupa data pencatatan secara menerus pada kertas pencatat yang dipasang pada alat ukur. Data hujan yang baik diperlukan dalam melakukan analisis masalah. Data hujan hasil pencatatan yang tersedia biasanya dalam kondisi tidak menerus. Apabila terputusnya rangkaian data hanya beberapa saat kemungkinan tidak menimbulkan masalah, tetapi untuk kurun waktu yang lama tentu akan menimbulkan masalah.

Analisis curah hujan dalam pengembangan sumber daya air terutama dilakukan untuk :

- a. Sebagai masukan model hujan aliran (*rainfall-runoff*)
- b. Sebagai masukan dalam perhitungan kebutuhan air irigasi dan tambak dalam bentuk hujan efektif



Gambar. 3 Alat Ukur Hujan Otomatis

Dari hasil pengamatan berdasarkan pengukuran atau pencatatan data hujan, sebelum digunakan dalam analisis frekuensi terlebih dahulu dianalisa kelengkapan dan konsistensinya dalam hal-hal sebagai berikut :

1. Memperkirakan Data Hujan Yang Hilang

- a. **Cara aljabar**, berlaku apabila perbedaan data hujan untuk jangka waktu tahunan rata-rata antara stasiun hujan yang terdekat kurang 10%, dengan rumus:

$$H_d = \frac{1}{3} (\quad + H_b + H_c) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

H_d = Hujan yang hilang pada stasiun D yang diperkirakan

H_a, H_b, H_c = Data hujan yang teramati masing-masing stasiun A, B dan C

- b. **Cara perbandingan normal**, dipakai apabila data hujan untuk jangka waktu tahunan rata-rata antara stasiun hujan yang terdekat melebihi 10%, dengan rumus :

$$= - \left(\frac{H_d}{R_d} + \frac{H_a}{R_a} + \frac{H_b}{R_b} + \frac{H_c}{R_c} \right) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

H_d = Data hujan yang hilang pada stasiun D yang diperkirakan (dihitung)

R_d = Hujan rata-rata pada stasiun D

H_a, H_b, H_c = Hujan tahunan rata-rata pada masing-masing stasiun A, B dan C

2. Menguji Konsistensi Data Hujan

Data hujan yang akan dianalisa harus konsisten. Data yang tidak konsisten dapat disebabkan karena tumbuhnya pohon didekat alat penakar hujan, pergantian alat dan perubahan metode pencatatan. Salah satu cara menguji konsistensi data adalah dengan analisa kurva massa ganda (*double mas curve analysis*), yang bertujuan menguji reabilitas data (keyakinan pada data yang ada

bisa tidaknya dipercaya), juga untuk mengetahui ketidak homogenitasnya suatu data.

Analisa kurva masa ganda ini dalam studi hidrologi harus dibuat, karena kecuali untuk reabilitas juga digunakan untuk koreksi data. Ketidak homogenitasnya suatu data dapat mempengaruhi hasil perhitungan.

2.3 Kriteria Pengukuran Sungai

Pelaksanaan pengukuran debit sungai dilakukan dengan mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air.

2.3.1 Pembacaan Tinggi Muka Air

Pada waktu akan mengadakan pengukuran debit sungai, harus dicatat terlebih dahulu muka air saat itu yang tertera pada papan duga air, begitu pula setelah selesai melakukan pengukuran. Apabila perbedaan fluktuasi muka air pada waktu mulai mengukur dan pada akhir pengukuran debit sungai lebih besar 4 cm maka, diperlukan koreksi terhadap penghitungan debit sungai sebagai fungsi dari tinggi muka air tersebut.

2.3.2 Pengukuran Lebar Sungai

Pengukuran lebar sungai dilakukan dengan menggunakan alat ukur lebar (*theodolit* dan *water pass*). Jenis alat ukur lebar harus disesuaikan dengan lebar penampang basah dan sarana penunjang yang tersedia.

2.3.3 Pengukuran Kedalaman Sungai

Pengukuran kedalaman sungai dilakukan dengan menggunakan alat ukur kedalaman di setiap vertikal yang telah diukur jaraknya. Jarak setiap vertikal harus

diusahakan serapat mungkin agar debit setiap sub bagian penampang tidak lebih dari 5% dari debit seluruh penampang basah.

2.3.4 Pengukuran Kecepatan Aliran Sungai

Kecepatan aliran rata-rata di suatu penampang basah diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan rata-rata di beberapa vertikal. Sedangkan kecepatan rata-rata di suatu vertikal didapat dari hasil pengukuran kecepatan aliran suatu titik, dua titik, tiga titik atau banyak titik, dimana pelaksanaannya tergantung dari kedalaman aliran dan lebar aliran.

Cara pengukuran tersebut adalah :

1. Pengukuran kecepatan aliran 1 (satu) titik, dilaksanakan pada 0,6 kedalaman (d) dengan 0,2d dari permukaan air.
 - a. Pada 0,6 d dilakukan apabila kedalaman air kurang dari 0,5 m (merawas dan 0,75 m memakai kabel *way, bridge crane*).
 - b. Pada 0,6 d, biasanya untuk mengukur debit banjir apabila pada 0,2 d dan 0,8 tidak dapat dilakukan.

2. Pengukuran kecepatan 2 (dua) titik, dilaksanakan pada 0,2 d dan 0,8 d dari permukaan air bila kedalaman air lebih dari 0,5 m dan kecepatan rata-rata dinyatakan dengan rumus :

$$V = \left(\frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran rata-rata pada suatu vertikal (m/dt)

$V_{0,2}$ = Kecepatan aliran pada titik 0,2 d (m/dt)

$V_{0,8}$ = Kecepatan aliran pada titik 0,8 d (m/dt)

d = Kedalaman air (m)

3. Pengukuran kecepatan aliran tiga titik, dilaksanakan pada titik 0,2 d, 0,6 d dan 0,8 dari permukaan air kecepatan aliran rata-rata dinyatakan dengan rumus :

$$= \left(\frac{\dots}{\dots} \right) + \dots + 0,5 \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran rata-rata pada suatu vertikal (m/dt)

$V_{0,2}$ = Kecepatan aliran pada titik 0,2 d (m/dt)

$V_{0,8}$ = Kecepatan aliran pada titik 0,8 d (m/dtk)

$V_{0,6}$ = Kecepatan aliran pada titik 0,6 (m/dtk)

2.3.5 Perhitungan Debit Sungai

a. Metode Interval Tengah.

Debit sungai dapat dihitung dengan rumus :

$$= (\dots) \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

Q = Debit (m^3/dt)

A = Luas bagian penampang basah (m^2)

V = Kecepatan aliran rata-rata pada luas bagian penampang basah
(m/dt)

Debit pada bagian penampang basah dihitung dengan rumus :

$$= \left(\frac{(\quad)(\quad)}{\quad} \right) \dots\dots\dots (6)$$

$$= \left(\frac{(\quad)(\quad)}{\quad} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

Q_x = debit pada bagian penampang “x” (m^3/dt)

V_x = Kecepatan aliran rata-rata pada kedalaman vertikal “x”
(m^3/dt)

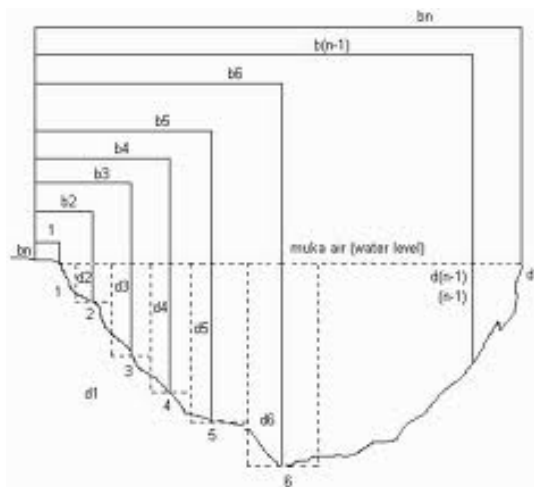
B_x = Jarak vertikal “x” dari titik tetap

$b(x-1)$ = Jarak vertikal sebelum titik “x” dari titik tetap (m)

$b(x+1)$ = Jarak vertikal setelah titik “x” dari titik tetap (m)

dx = Kedalaman pada vertikal “x” (m)

Jumlah debit dari keseluruhan bagian penampang basah adalah debit yang melalui penampang basah sungai pada saat pengukuran dilaksanakan.



Gambar. 4 Penampang Melintang Sungai

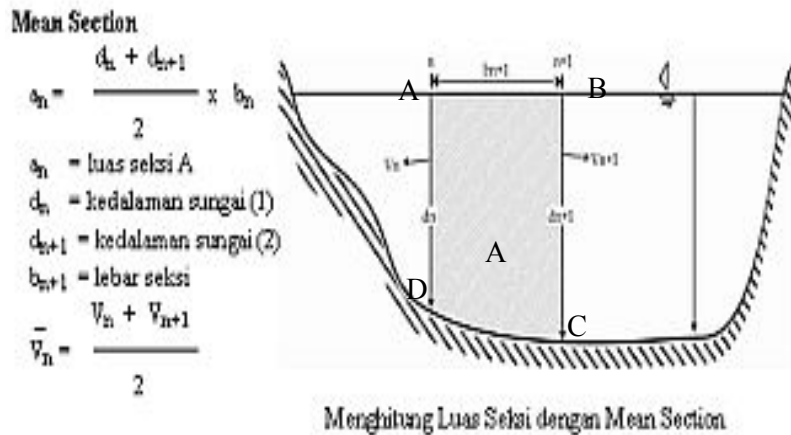
c. Mean Section Method

Yaitu suatu cara perhitungan debit dengan mengalihkan kecepatan air rata-rata pada setiap sub area tersebut.

$$= \text{---} \quad (\text{---}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

- Q_x = Debit sub area ABCD
- V_a = Kecepatan di titik A
- V_b = Kecepatan di titik B
- A = Luas sub area ABCD



Gambar 6. Metode Mean Section

2.4 Analisis Debit Andalan

Untuk menentukan debit andalan dapat digunakan beberapa metode, hal ini tergantung dari data yang tersedia. Data tersebut bisa berupa data hujan tengah bulan atau debit sungai tengah bulan atau bulanan. Jika data tersebut tersedia, maka dapat diambil salah satu saja.

Menghitung Debit Andalan :

1. Data Debit
2. Analisis distribusi frekuensi untuk menentukan tahun atau bulan agar rencana sesuai dengan metode dan tingkat keandalan yang diketahui.
3. Analisis *Basic Month* adalah analisa perhitungan debit hujan dengan menggunakan data rata-rata bulanan dan analisis *Basic Years* adalah analisa perhitungan debit hujan menggunakan data rata-rata tahunan, yaitu sebagai berikut:
 - a. Hasil Perhitungan Debit
 - b. Jumlahkan semua data
 - c. Urutkan data tersebut dari besar ke kecil
4. Hitung Probabilitinya

$$(\%) = \frac{\quad}{\quad} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

P = *Probability* keandalan (%)

m = Nomor urutan data

N = Jumlah data dalam analisis

Debit andalan didalam analisa PLTA biasa digunakan debit andalan 80% hingga 90%. Didalam studi ini digunakan debit anadalan Q 85% berarti akan mempunyai resiko adanya debit-debit lebih kecil dari debit andalan tersebut sebesar 15% banyaknya pengamatan.

2.5 Analisa Site Untuk PLTA

Dalam analisa *free intake* (penentuan *site free intake* potensial) digunakan metode THPE (*Theoretical Hydropower Potential Energy*). Studi potensi tenaga air teoritis ini merupakan studi berdasarkan peta topografi untuk memperoleh site atau daerah bagian dari sungai yang mempunyai potensi tenaga air terbesar secara teoritis. Pada studi THPE digunakan beberapa asumsi, sebagai berikut :

1. Seluruh hujan yang jatuh /terjadi berpotensi dalam membangkitkan energi tanpa memperhitungkan evapotranspirasi dan *losses*, sehingga koefisien pengaliran = 1
2. Beda tinggi antara kedua titik dianggap merupakan titik jatuh.

Dalam memperoleh grafik THPE diperlukan rumus–rumus volume aliran, debit dan energi.

a. Volume Aliran Permukaan

$$= \frac{1}{10^6} \sum_{i=1}^N x_i R_i A_i \quad \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

V = Volume total aliran permukaan di sub basin ($10^6 \text{ m}^3 / \text{th}$)

x = Koefisien Pengaliran = 1

A_i = Catchment Area titik i (km^2)

R_i = Intensitas Hujan (mm /tahun)

N = Jumlah sub basin

b. Volume Akumulatif Hujan dan Debit

$$= \sum \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

ATRV = Akumulatif Total Hujan dan Debit

V_j = Volume Hujan pada masing – masing sub basin

J = 1,2,3,4.....N

Q = *ATRV* x 0,0317 (m³/dt)

c. Energi (E)

$$= 9,80 \quad \text{— ()} \dots\dots\dots (13)$$

$$= 9,80 \quad \text{()} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

E = Energi Tahunan yang dihasilkan

P = Power yang dihasilkan

H = Tinggi Jatuh, beda tinggi antara dua titik (m)

Dengan memperhatikan peta kontur diadakan studi dari hilir ke hulu dengan anggapan bahwa PLTA terletak pada daerah hulu dari sungai.

2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu pembangkitan energi listrik dengan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi

menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan aliran air.

Bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (*power*) yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (**Arismunandar, 1982, 19**):

a. Daya Teoritis

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_{ef} \quad \dots \dots \dots (15)$$

Dimana :

P = Daya yang dihasilkan generator (kw)

n = $n_t \cdot n_g$

n_t = Efisiensi Turbin

n_g = Efisiensi Generator

Q = Debit Pembangkit (m^3 / dt)

H_{ef} = Tinggi Jatuh efektif (m)

b. Daya Turbin

$$P = 9,80 \cdot H \cdot Q \cdot hT \quad hT = e_{\text{isiensturbin}} (\%) \dots \dots \dots (16)$$

c. Daya Generator

$$P = 9,80 \cdot H \cdot Q \cdot hT \cdot hG \quad hG = e_{\text{isiensgenerator}} (\%) \dots \dots \dots (17)$$

2.6.1 Debit Pembangkit

Debit pembangkit adalah besarnya debit yang diperlukan untuk menggerakkan turbin yang dihubungkan ke generator, sehingga dapat menghasilkan energi listrik.

Besarnya debit pembangkit ini dapat ditentukan berdasarkan jumlah air yang bisa disediakan sepanjang waktu.

2.6.2 Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah perbedaan antara elevasi muka air waduk dan elevasi muka air di bak penampungan dikurangi kehilangan tinggi :

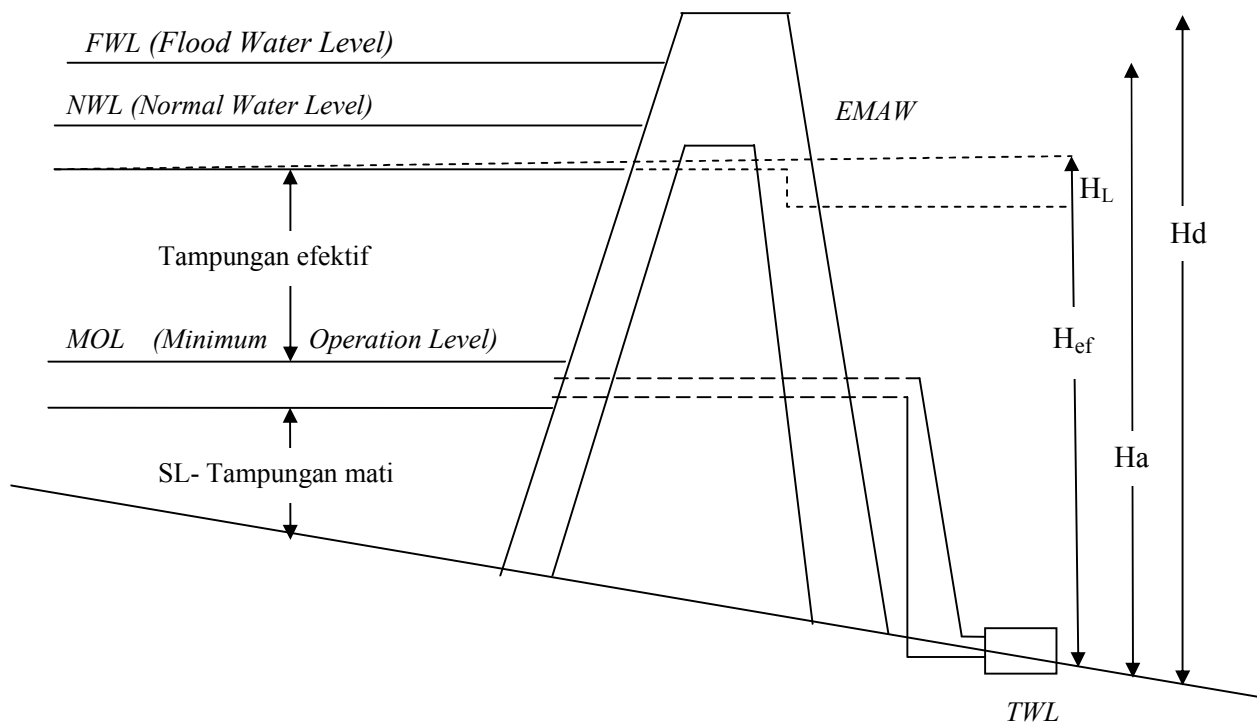
$$= \text{---} - \text{---} - \text{---} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana :

EMAW = Elevasi muka air waduk (+ m)

TWL = Elevasi muka air di bak penampungan di hilir turbin (+ m)

H_L = Kehilangan tinggi (m)



Gambar 7. Unsur – unsur PLTA

Keterangan gambar :

FWL : Elevasi muka air banjir

NWL : Elevasi muka air normal

MOL : Elevasi muka air operasi minimum

SL : Tampungan mati

Ha : Tinggi jatuh rerata

Hd : Tinggi bendungan

2.6.3 Jenis-jenis PLTA

1. Berdasarkan Tinggi Terjun PLTA

a. PLTA jenis terusan air (*free intake*)

Adalah pusat listrik yang mempunyai tempat ambil air (*intake*) di hulu sungai dan mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan kemiringan (*gradient*) yang agak kecil.

Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dan kemiringan sungai.

b. PLTA jenis DAM /bendungan

Adalah pembangkit listrik dengan bendungan yang melintang disungai, pembuatan bendungan ini dimaksudkan untuk menaikkan permukaan air dibagian hulu sungai guna membangkitkan energi potensial yang lebih besar sebagai pembangkit listrik.

c. PLTA jenis terusan dan DAM (campuran)

Adalah pusat listrik yang menggunakan gabungan dari dua jenis sebelumnya, jadi energi potensial yang diperoleh dari bendungan dan terusan.

2. PLTA Berdasarkan Aliran Sungai

a. PLTA jenis aliran sungai langsung (*run of river*)

Banyak dipakai dalam PLTA saluran air/terusan, jenis ini membangkitkan listrik dengan memanfaatkan aliran sungai itu sendiri secara alamiah.

b. PLTA dengan kolam pengatur (*regulating pond*)

Mengatur aliran sungai setiap hari atau setiap minggu dengan menggunakan kolam pengatur yang dibangun melintang sungai dan membangkitkan listrik sesuai dengan beban.

Disamping itu juga dibangun kolam pengatur di hilir untuk dipakai pada waktu beban puncak (*peaking power plant*) dengan suatu waduk yang mempunyai kapasitas besar yang akan mengatur perubahan air pada waktu beban puncak sehingga energi yang dihasilkan lebih maksimal.

c. Pusat listrik jenis waduk (*reservoir*)

Dibuat dengan cara membangun suatu waduk yang melintang sungai, sehingga terbentuk seperti danau buatan, atau dapat dibuat dari danau asli sebagai penampung air hujan sebagai cadangan untuk musim kemarau.

d. PLTA Jenis Pompa (*pumped storage*)

Adalah jenis PLTA yang memanfaatkan tenaga listrik yang berlebihan ketika musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang saat tengah malam, pada waktu ini sebagian turbin berfungsi sebagai pompa untuk memompa air yang di hilir ke hulu, jadi pembangkit ini memanfaatkan kembali air yang dipakai saat beban puncak dan dipompa ke atas lagi saat beban puncak terlewati.

2.6.4 Turbin

A. Teori Pengoperasian

Fungsi turbin adalah mengubah energi ketinggian air menjadi daya putaran poros. Pemilihan jenis turbin air yang dipakai pada PLTA tergantung pada karakteristik *site* tempat lokasi PLTA tersebut, terutama tinggi head serta besar aliran air yang ada. Setiap turbin mempunyai kecepatan putar tertentu, dimana turbin tersebut akan beroperasi dengan efisien terbaik pada kombinasi *head* dan debit tertentu. Kecepatan putar desain turbin sebagian besar ditentukan oleh besar *head* operasi turbin air tersebut. Turbin air dapat dibagi atas head tinggi, head menengah dan head rendah. Pemilihan turbin kebanyakan didasarkan pada *head* air yang didapatkan dan kurang lebih pada rata-rata alirannya. Umumnya, turbin implus digunakan untuk tempat dengan head tinggi. Turbin Kaplan baik digunakan untuk semua jenis debit dan *head*, efisensinya baik dalam segala kondisi aliran.

Turbin kecil (umumnya di bawah 10 MW) mempunyai poros horizontal, dan kadang dipakai juga pada kapasitas turbin 100 MW. Turbin Francis dan Kaplan besarnya biasanya mempunyai poros/sudut vertikal karena ini menjadi penggunaan paling baik untuk head yang didapatkan dan membuat instalasi generator lebih ekonomis. Poros Pelton bisa vertikal maupun horizontal karena ukuran turbin lebih kecil dari head yang didapat atau tersedia. Beberapa Turbin Implus menggunakan beberapa semburan air, tiap semburan dapat meningkatkan kecepatan spesifik dan keseimbangan gaya poros.

Aliran air diarahkan langsung menuju sudu-sudu melalui pengarah, menghasilkan daya pada sirip. Selama sudu berputar, gaya bekerja melalui suatu

jarak, sehingga menghasilkan kerja. Dalam proses ini, energi ditransfer dari aliran air ke turbin. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu turbin reaksi dan turbin impuls. Kepresisian bentuk turbin air, apapun desainnya, semua digerakkan oleh suplai tekanan air.

Disamping itu dari segi beroperasinya turbin air dibedakan atas turbin impuls dan turbin reaksi seperti pada tabel berikut ini :

Tabel. 1 Klasifikasi Jenis Turbin Air.

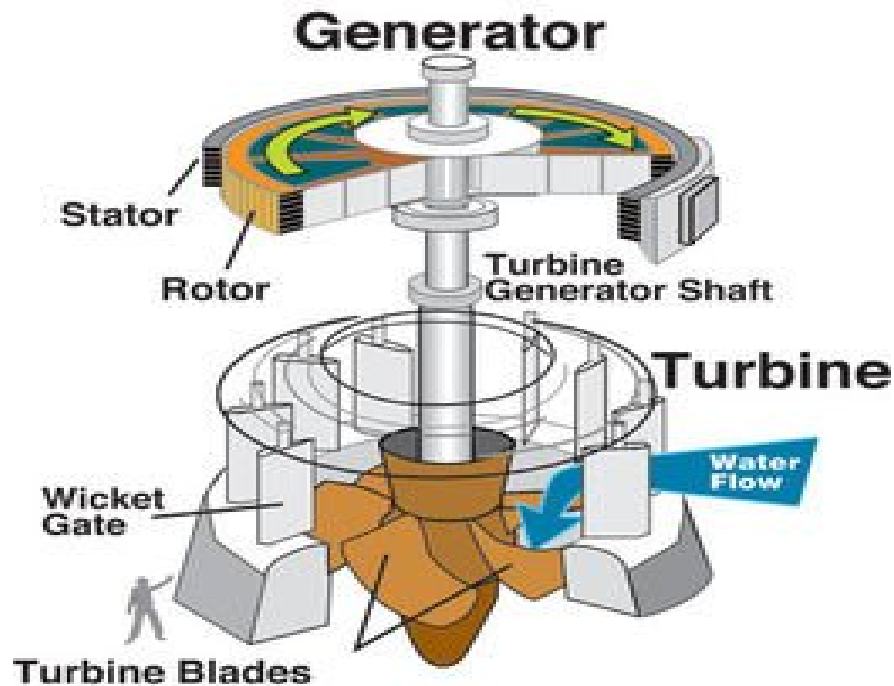
Kelompok Turbin	Head Tinggi	Head Menengah	Head Rendah
Turbin impuls	Pelton Turgo	Cross-flow Multi-jet pelton Turgo	Cross-flow
Turbin Reaksi		Francis	Propeller Kaplan

Turbin reaksi digerakkan dengan air, yang merubah tekanan sehingga melewati turbin dan menaikkan energi. Turbin reaksi harus menutup untuk mengisi tekanan air (pengisap) atau mereka harus sepenuhnya terendam dalam aliran air. Hukum ketiga Newton menggambarkan transfer energi untuk turbin reaksi turbin air yang paling banyak digunakan adalah turbin reaksi. Turbin reaksi digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium.

Turbin impuls merubah aliran semburan air. Semburan turbin membentuk sudut yang membuat aliran turbin. Hasil perubahan momentum (impuls) disebabkan tekanan pada sudu turbin. Sejak turbin berputar, gaya berputar melalui kerja dan mengalihkan aliran air dengan mengurangi energi. Sebelum mengenai sudu turbin, tekanan air (energi potensial) dikonversi menjadi energi kinetik oleh sebuah *nose*

dan difokuskan pada turbin. Tidak ada tekanan yang dirubah pada sudu turbin, dan turbin tidak memerlukan rumahan untuk operasinya.

Hukum kedua Newton menggambarkan transfer energi untuk turbin impuls. Turbin impuls paling sering digunakan pada aplikasi turbin tekanan sangat tinggi.

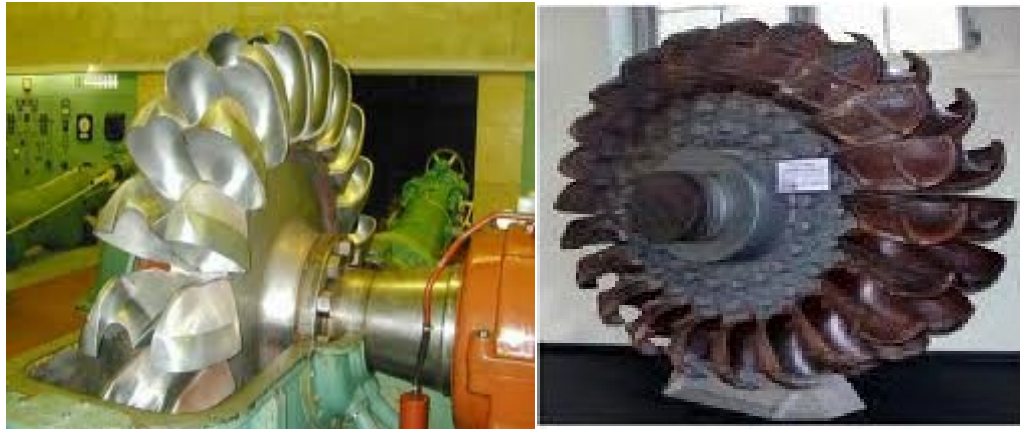


Gambar 8. Generator

1. Turbin Pelton

Turbin Pelton, bersama-sama turbin Turgo dan turbin aliran silang (*cross-flow*) termasuk dalam kelompok turbin impuls. Karakteristik umum dari turbin impuls adalah pemasukan air ke dalam *runner* pada tekanan atmosfer. Turbin ini ditemukan sekitar tahun 1880 oleh seorang Amerika yang bernama Pelton, sehingga turbin ini disebut sebagai turbin Pelton. Turbin pelton tersusun dari satu set sudu gerak berbentuk mangkuk yang dipasang pada roda gerak/runner.

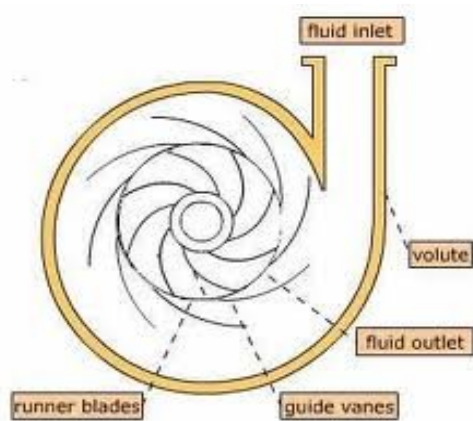
Jika mangkuk-mangkuk tersebut didorong pancaran air berkecepatan tinggi/jet dari nosel, maka *runner* turbin pelton tersebut akan berputar menghasilkan energi mekanik yang dapat menggerakkan generator.



Gambar 9. Turbin Impuls dan Turbin Pelton

2. Turbin Francis

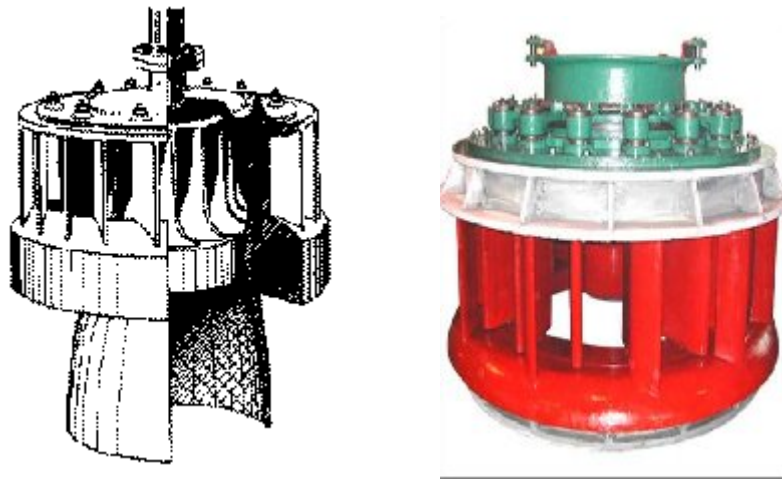
Turbin Francis dapat berupa *volute-case* ataupun *type open-flume*. Konstruksi rumah keong (*spiral case*) memungkinkan air terdistribusi secara *uniform* sepanjang perimeter dari *runner* dan *guide vane* menyalurkan air tersebut pada sudut yang tepat. Sudu runner merupakan profil yang kompleks dan terendam air. Dorongan air ke sudu runner memindahkan energy air ke runner sebelum air tersebut keluar turbin lewat *draft tube*. Turbin Francis biasanya mempunyai *guide-vane* yang diatur (*adjustable*). Gerakan *guide vane* ini mengatur aliran air yang masuk ke runner dan biasanya dihubungkan dengan system governor yang mengatur besar laju aliran air. Jika aliran air berkurang maka, efisiensi turbin juga turun.



Gambar 10. Turbin Francis

3. Turbin Propeller

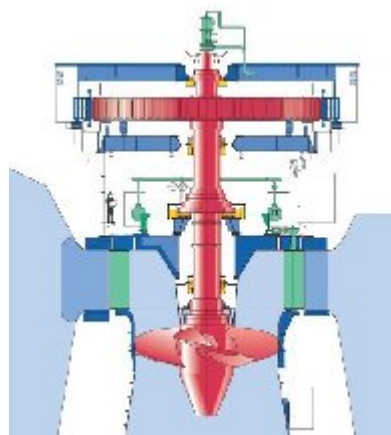
Pada dasarnya turbin propeller terdiri dari sebuah propeller (balong-balong), yang sama bentuknya dengan balong-balong kapal laut, yang dipasang pada tabung setelah pipa pesat. Poros turbin menyambung keluar dari tabung. Turbin propeller biasanya mempunyai tiga sampai enam sudu, biasanya tiga sudu untuk turbin yang mempunyai head sangat rendah dan aliran air diatur oleh sudu statis atau *wicket gate* yang dipasang tepat di hulu propeller. Turbin propeller ini dikenal sebagai *fixed blade axian flow turbine* karena sudut sudu rotornya tidak dapat diubah. Efisiensi operasi turbin pada beban sebagian (*part-flow*) untuk turbin jenis ini sangat rendah.



Gambar 11. Turbin Propeller

4. Turbin Kaplan

Untuk *hydropower* yang berskala lebih besar maka, dipakai turbin propeller yang lebih canggih. Pada turbin ini sudu propeller dan *wicket gate* dapat diukur sehingga efisiensinya pada saat beroperasi pada beban rendah (*part-flow*) tetap baik. Turbin dengan *variable pitch* ini dikenal sebagai turbin Kaplan.



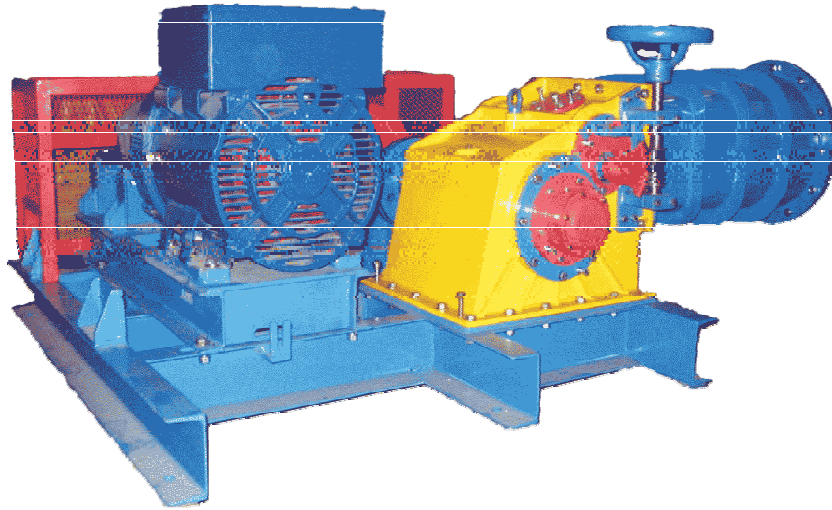
Gambar. 12 Turbin Kaplan

5. Turbin *Crossflow*

Salah satu turbin jenis impuls yang banyak dipakai pada listrik tenaga mikrohidro adalah turbin *cross-flow* (aliran silang). Turbin *cross-flow* merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh Anthony Michell (Australia), Donat Banki (Hongaria) dan Fritz Ossberger (Jerman). Michell memperoleh hak paten atas desainnya pada tahun 1903. Turbin jenis ini pertama-tama diproduksi oleh perusahaan Weymouth. Turbin ini juga sering disebut sebagai turbin Ossberger, yang memperoleh hak paten pada tahun 1992. Perusahaan Ossberger tersebut sampai sekarang masih bertahan dan merupakan produsen turbin *cross-flow* yang terkemuka di dunia.

Turbin ini mempunyai runner yang berbentuk seperti drum dan mempunyai 2 (dua) atau lebih piringan paralel yang masing-masing dihubungkan oleh susunan sudu yang berbentuk lengkung.

Dalam pengoperasian turbin *cross-flow* ini sebuah nosel empat persegi mengarahkan pancaran air (jet) ke sepanjang *runner*. Pancaran air tersebut mendorong sudu dan memindahkan sebagian besar energy kinetiknya ke turbin. Pancaran air tersebut lalu melewati *runner* dan kembali mendorong bagian sudu yang lain sebelum keluar dari *runner*, memindahkan sebagian kecil energi kinetiknya yang masih tersisa.



Gambar. 13 Turbin Crossflow

B. Pompa Penyimpanan

Turbin tipe ini pompa penyimpanannya hidroelektrik, dapat mengalirkan dan pengoperasian pompa untuk memenuhi reservoir tinggi selama listrik tidak beroperasi dan kemudian kembali ke turbin untuk membangkitkan daya selama permintaan listrik tidak beroperasi. Biasanya berupa desain turbin Deriaz atau Francis.

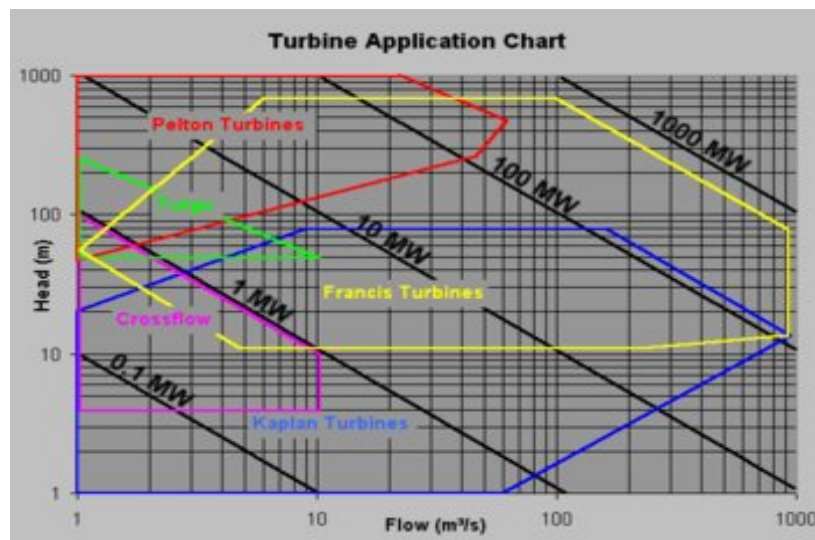
C. Efisiensi

Turbin air modern dioperasikan pada efisiensi mekanis lebih dari 90% (tidak terpengaruh efisiensi termodinamika).

D. Desain dan Aplikasi

Pemilihan turbin kebanyakan didasarkan pada head air yang didapatkan dan kurang lebih pada rata-rata alirannya. Umumnya, turbin impuls digunakan untuk tempat dengan head tinggi, dan turbin reaksi digunakan untuk tempat dengan head rendah. Turbin Kaplan baik digunakan untuk semua jenis debit dan head, efisiensinya baik dalam segala kondisi aliran.

Turbin kecil (umumnya di bawah 10 MW) mempunyai poros horisontal, dan kadang dipakai juga pada kapasitas turbin mencapai 100 MW. Turbin Francis dan Kaplan besar biasanya mempunyai poros/sudu vertikal karena ini menjadi penggunaan paling baik untuk head yang didapatkan, dan membuat instalasi generator lebih ekonomis. Poros Pelton bisa vertikal maupun horisontal karena ukuran turbin lebih kecil dari head yang didapat atau tersedia. Beberapa turbin impuls menggunakan beberapa semburan air tiap semburan untuk meningkatkan kecepatan spesifik dan keseimbangan gaya poros.



Gambar 14. Aplikasi Penggunaan Jenis Turbin

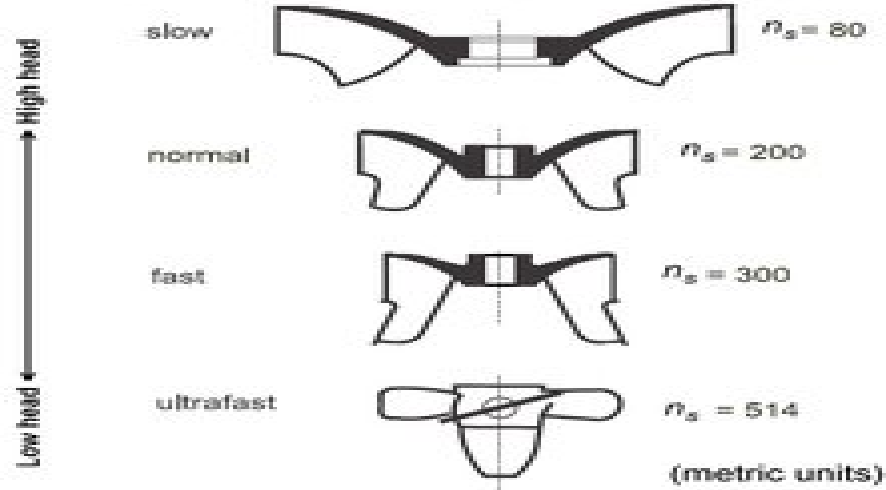
Tipe Penggunaan Head :

- a. Kaplan : $2 < H < 40$ (H=head dalam meter)
- b. Francis : $10 < H < 350$
- c. Pelton : $50 < 1300$
- d. Turgo : $50 < H < 250$

Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik (ns), menunjukkan bentuk dari turbin itu dan tidak berhubungan dengan ukurannya. Hal ini menyebabkan desain turbin baru yang diubah skalanya dari desain yang sudah ada dengan performa yang sudah diketahui. Kecepatan spesifik merupakan kriteria utama yang menunjukkan pemilihan jenis turbin yang tepat berdasarkan karakteristik sumber air. Kecepatan spesifik dari sebuah turbin juga dapat diartikan sebagai kecepatan ideal, persamaan geometris turbin, yang menghasilkan satu satuan daya tiap satu satuan head. Kecepatan spesifik turbin diberikan oleh perusahaan (dengan penilaian yang lainnya) dan selalu dapat diartikan sebagai titik efisiensi maksimum. Perhitungan tepat ini menghasilkan performa turbin dalam jangkauan head dan debit tertentu.

Perbandingan Bentuk Turbin dan Kecepatan Spesifik



Gambar 15. Perbandingan Bentuk Turbin dan Kecepatan Spesifik

Gambar diadaptasi dari European Community's Layman's Guidebook (*on how to develop a small hydro site*).

$$= \frac{\overline{\quad}}{\overline{\quad}}, \quad = \dots\dots\dots (19)$$

$$= \frac{\Omega}{\overline{\quad}} \overline{\quad}, \quad \Omega = \dots\dots\dots (20)$$

Kecepatan spesifik juga merupakan titik awal dari analisis desain dari sebuah turbin baru. Sekali kecepatan spesifik yang diinginkan diketahui, dimensi dasar dari bagian-bagian turbin dapat dihitung dengan mudah.

Hukum Affinity mengijinkan keluaran turbin dapat diperkirakan berdasarkan dari test permodelan. Replika miniatur dari desain yang diusulkan, diameter sekitar

satu kaki (0,3 m), dapat diuji dan hasil pengukuran laboratorium dapat digunakan sebagai kesimpulan dengan tingkat keakuratan yang tinggi. Hukum Affinity didapatkan dari penurunan yang membutuhkan persamaan antara test permodelan dan penggunaannya.

Debit yang melalui turbin dikendalikan dengan katub besar atau pintu gerbang yang disusun diluar sekeliling pengarah turbin. Perubahan head dan debit dapat dilakukan dengan variasi bukaan pintu, akan menghasilkan diagram yang menunjukkan efisiensi turbin dengan kondisi yang berubah-ubah.

Putaran liar

Putaran liar turbin air adalah kecepatan saat debit maksimum dengan tanpa beban poros. Turbin didesain untuk bertahan dari gaya mekanis dengan kecepatan ini. Perusahaan akan memberikan putaran liar yang diijinkan.

E. Pemeliharaan



Gambar 16. Retakan Kelelahan Pada Turbin Francis

Sebuah turbin Francis dalam masa akhir penggunaannya, menunjukkan lubang kavitasi, dan kerusakan besar. Dapat dilihat bekas perbaikan sebelumnya dengan las stainless steel.

Turbin didesain untuk bekerja dalam jangka waktu puluhan tahun dengan sangat sedikit pemeliharaan pada elemen utamanya, interval pemeriksaan total dilakukan dalam jangka waktu beberapa tahun. Pemeliharaan pada sudu, pengarah dan *part* lain yang bersentuhan dengan air termasuk pembersihan, pemeriksaan dan perbaikan part yang rusak.

Keausan umumnya adalah lubang akibat kavitasi, retakan kelelahan dan pengikisan dari benda padat yang tercampur dalam air. Elemen baja diperbaiki dengan pengelasan, umumnya dengan las stainless steel. Area yang berbahaya dipotong atau digerinda, kemudian dilas sesuai dengan bentuk aslinya atau dengan profil yang diperkuat. Sudu turbin tua mungkin akan mempunyai banyak tambahan *stainless steel* hingga akhir penggunaannya. Prosedur pengelasan yang rumit mungkin digunakan untuk mendapatkan kualitas perbaikan terbaik.

Elemen lainnya yang membutuhkan pemeriksaan dan perbaikan selama pemeriksaan total termasuk bantalan, kotak paking dan poros, motor servo, sistem pendingin untuk bantalan dan lilitan generator, cincin seal, elemen sambungan gerbang dan semua permukaan.

F. Pengaruh Pada lingkungan

Turbin air mempunyai pengaruh positif dan negatif bagi lingkungan. Turbin adalah salah satu penghasil tenaga terbersih, menggantikan pembakaran bahan bakar

fosil dan menghapuskan limbah nuklir. Turbin menggunakan energi terbarukan dan didesain untuk beroperasi dalam jangka waktu puluhan tahun. Turbin memproduksi sumber energi listrik dunia dengan jumlah yang besar.

Dalam sejarah turbin juga mempunyai konsekuensi negatif. Putaran sudu atau gerbang pengarah dari turbin air dapat mengganggu ekologi natural sungai, membunuh ikan, menghentikan migrasi dan mengganggu mata pencaharian manusia. Contohnya, suku Indian Amerika di Pasific Northwest mempunyai mata pencaharian memancing ikan salmon, tapi pembangunan dam secara agresif menghancurkan jalan hidupnya. Hingga akhir abad ke-20, dapat dimungkinkan untuk membangun sistem pembangkit tenaga air yang mengalihkan ikan dan organisme lainnya dari saluran masuk turbin tanpa kerusakan atau kehilangan tenaga yang berarti. Sistem akan memerlukan sedikit pembersihan tetapi pada dasarnya lebih mahal untuk dibangun. Di Amerika Serikat sekarang menahan migrasi ikan adalah ilegal, sehingga tangga ikan harus disediakan oleh pembangun bendungan.