

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi

Definisi energi, energi merupakan kemampuan untuk melakukan usaha. Energi merupakan besaran yang kekal, artinya energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain. Pada dasarnya sumber energi di dunia banyak dan tersebar dimana-mana. Tetapi hanya sebagian saja yang dimanfaatkan oleh manusia yaitu energi dari minyak bumi, bahan fosil dan gas alam, sedangkan sumber energi lain seperti sampah dedaunan, kayu, angin, air, matahari, dan gelombang pasang sedikit sekali dimanfaatkan. Menurut dari sumber didapatnya energi, energi terbagi menjadi 2 antara lain :

1. Sumber Energi Tak Terbaharui

Ialah sumber daya alam yang apabila digunakan secara terus-menerus akan habis. Sumber energi ini yaitu yang berasal dari minyak bumi, bahan fosil, dan gas alam. Semua sumber ini memerlukan proses yang panjang untuk mendapatkannya dan kemudian dapat dimanfaatkan, sebagai contoh minyak bumi membutuhkan proses berjuta-juta tahun. Sebaliknya, pengekplotasiannya dilakukan terus-menerus dan bisa dibayangkan pasti persediaannya akan menipis dan mungkin akan habis. Hal inilah mengakibatkan harga minyak bumi dunia melonjak dengan tajam sampai mendekati 100 dolar AS/barel. Menurut data *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025 yang dikeluarkan oleh Departemen

Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Oleh karena itu sekarang ini para ahli berlomba untuk mencari alternatif sumber energi.

Biasanya sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui berasal dari barang tambang (minyak bumi dan batu bara) dan bahan galian (emas, perak, timah, besi, nikel dan lain-lain). Sumber energi ini banyak digunakan disegala sektor sekarang ini. Dan berikut adalah hasil tambang dan galian.

a. Minyak Bumi

Minyak bumi berasal dari hewan (*plankton*) dan jasad-jasad renik yang telah mati berjuta-juta tahun.

- Avtur untuk bahan bakar pesawat terbang.
- Bensin untuk bahan bakar kendaraan bermotor.
- Kerosin untuk bahan baku lampu minyak.
- Solar untuk bahan bakar kendaraan diesel.
- LNG (*Liquid Natural Gas*) untuk bahan bakar kompor gas.
- Oli ialah bahan untuk pelumas mesin.
- Vaseline ialah salep untuk bahan obat.
- Parafin untuk bahan pembuat lilin.
- Aspal untuk bahan pembuat jalan (dihasilkan di Pulau Buton)

b. Batu Bara

Batu bara berasal dari turmbuhan purba yang telah mati berjuta-juta tahun yang lalu. Batu bara banyak digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan industri dan rumah tangga. Dimanfaatkan untuk bahan bakar industri dan rumah tangga.

- Biji Besi untuk peralatan rumah tangga, pertanian dan lain-lain.
- Tembaga merupakan jenis logam yang mempunyai warna kekuning-kuningan, lunak dan mudah ditempa.
- Bauksit sebagai bahan dasar pembuatan alumunium.
- Emas dan Perak untuk perhiasan.
- Nikel untuk bahan pelapis besi agar tidak mudah berkarat.
- Gas alam untuk bahan bakar kompor gas.
- Mangan untuk pembuatan pembuatan besi baja.
- Besi dan Timah besi berasal dari bahan yang bercampur dengan tanah, pasir dan sebagainya. Besi merupakan bahan endapan dan logam yang berwarna putih. Timah berasal dari bijih-bijih timah yang tersimpan di dalam bumi.

2. Sumber Energi Terbaharui

Konsep energi terbaharui diperkenalkan pada tahun 1970 sebagai bagian dari usaha mencoba bergerak melewati pengembangan bahan bakar nuklir dan fosil. Definisi paling umum adalah sumber energi yang dapat dengan cepat diisi kembali oleh alam, proses berkelanjutan. Di bawah definisi ini, bahan bakar nuklir dan fosil tidak termasuk ke dalamnya. Sumber energi ini belumlah banyak dimanfaatkan oleh banyak orang. Sumber energi ini dapat berasal dari alam

sekitar yaitu angin, air, *biogas*, *biomass* dan energi matahari. Beberapa contoh energi terbarukan antara lain :

a. Energi *Geothermal*

Energi ini merupakan energi pancaran dan radiasi yang dapat digunakan untuk memasak. *Geothermal* adalah energi yang dihasilkan dengan cara mengambil panas bumi. Ada 3 macam *power plants* yang digunakan untuk mendapatkan energi dari energi *geothermal*, yaitu *dry steam*, *flash*, dan *binary*. *Dry steam plants* mengambil uap panas bumi dan langsung digunakan untuk menggerakkan turbin yang memutar generator penghasil listrik. *Flash plants* mengambil air panas, biasanya bersuhu lebih dari 200⁰C, dari tanah yang kemudian mendidih pada saat naik ke permukaan dan kemudian dipisahkan antara air panas dan uap panas yang dialirkan ke turbin. Untuk *binary plants*, air panas mengalir melalui *heat exchangers*, mendidihkan cairan organik yang memutar turbin. Uap panas yang dimampatkan dan sisa dari cairan *geothermal*, dari ketiga cara diatas disuntikkan lagi ke batuan panas agar menghasilkan panas lagi. Energi *geothermal* berasal dari penguraian radioaktif di pusat Bumi, yang membuat Bumi panas dari dalam, dan dari matahari, yang membuat panas permukaan bumi.

b. Energi *Sustainable*

Seluruh energi terbaharui secara definisi juga merupakan energi *sustainable*, yang berarti mereka tersedia dalam waktu jauh ke depan yang membuat perencanaan bila mereka habis tidak diperlukan. Meskipun

tenaga nuklir bukan energi diperbaharui, namun pendukung nuklir dapat *sustainable* dengan penggunaan reaktor *breeder* menggunakan *uranium-238* atau *thorium* atau keduanya. Di sisi lain banyak penentang nuklir menggunakan istilah *sustainable* sebagai sinonim untuk energi terbaharui, dan oleh karena itu tidak memasukkan nuklir ke dalam energi terbaharui modern (*sustaniable*).

c. Energi Surya

Karena kebanyakan energi terbaharui pusatnya adalah "energi surya" istilah ini sedikit membingungkan. Namun yang dimaksud di sini adalah energi yang dikumpulkan langsung dari cahaya matahari. Tenaga surya dapat digunakan untuk:

Menghasilkan listrik menggunakan sel surya

- Menghasilkan listrik menggunakan pembangkit tenaga panas surya
- Menghasilkan listrik menggunakan menara surya
- Memanaskan gedung, secara langsung
- Memanaskan gedung, melalui pompa panas
- Memanaskan makanan, menggunakan oven surya.

d. Energi Angin

Karena matahari memanaskan permukaan bumi secara tidak merata, maka terbentuklah angin. Energi kinetik dari angin dapat digunakan untuk menjalankan turbin angin, beberapa mampu memproduksi tenaga 5 MW. Tenaga keluaran adalah fungsi kubus dari kecepatan angin, maka turbin tersebut paling tidak membutuhkan angin dalam kisaran (20 km/jam), dan

dalam praktek sangat sedikit wilayah yang memiliki angin yang bertiup terus menerus. Namun begitu di daerah pesisir atau daerah di ketinggian, tersedia angin yang cukup konstan. Pada tahun 2005 telah ada ribuan turbin angin yang beroperasi di beberapa bagian dunia, dengan perusahaan "*utility*" memiliki kapasitas total lebih dari 47.317MW. Kapasitas merupakan output maksimum yang memungkinkan dan tidak menghitung "*load factor*". Ladang angin baru dan taman angin lepas pantai telah direncanakan dan dibuat di seluruh dunia. Ini merupakan cara penyediaan listrik yang tumbuh dengan cepat di abad ke-21 dan menyediakan tambahan bagi stasiun pembangkit listrik utama. Kebanyakan turbin yang digunakan menghasilkan listrik sekitar 25% dari waktu (*load factor* 25%), tetapi beberapa mencapai 35%. *Load factor* biasanya lebih tinggi pada musim dingin. Ini berarti bahwa turbin 5 MW dapat memiliki *output* rata-rata 1,7 MW dalam kasus terbaik.

e. Energi *Biomass*

adalah sumber *renewable energy* atau energi terbarukan karena energi ini berasal dari matahari. Melalui proses fotosintesis, tanaman menangkap tenaga matahari. Tumbuhan biasanya menggunakan fotosintesis untuk menyimpan tenaga surya, air, dan CO₂. Bahan bakar *bio* adalah bahan bakar yang diperoleh dari *biomass* - *organisme* atau produk dari metabolisme mereka, seperti kotoran dari sapi merupakan energi terbarukan. Biasanya bahan bakar *bio* dibakar untuk melepas energi kimia yang tersimpan di dalamnya. Riset untuk mengubah bahan bakar *bio*

menjadi listrik menggunakan sel bahan bakar adalah bidang penelitian yang sangat aktif. Dalam hal ini *biomass* berfungsi sebagai aki tempat penyimpanan energi surya. *Biomass* yang diproduksi dengan teknik pertanian, seperti *biodiesel*, *ethanol*, dan *bagasse* (seringkali sebuah produk sampingan dari pengkultivasian Tebu) dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam atau pendidih. Pembuatan *biomass* harus melalui beberapa proses seperti berikut: harus dikembangkan, dikumpulkan, dikeringkan, difermentasi dan dibakar. Seluruh langkah ini membutuhkan banyak sumber daya dan infrastruktur.

f. Energi Air (*Hydropower*)

Energi dapat digunakan dalam bentuk gerak atau perbedaan suhu. Karena air ribuan kali lebih berat dari udara, maka aliran air yang pelan pun dapat menghasilkan sejumlah energi yang besar. Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Tenaga air (*Hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai. Kalau listrik yang dihasilkan tidak terlalu besar, teknologi yang digunakan disebut *microhydro*, listrik dari cara ini maksimal menghasilkan 100 kW. Sejak awal abad 18 kincir air banyak dimanfaatkan sebagai penggerak

penggilingan gandum, penggergajian kayu dan mesin tekstil. Memasuki abad 19, turbin air mulai dikembangkan. (Prayitno, 2005)

B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energy. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relative murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada system irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun (Ismono, 1999). Pada gambar 1 dapat kita lihat contoh gambar dari PLTMH



Gambar 1. Pembangkit Listrik Mikrohidro (Laymand, 1998)

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air ini biasa dimanfaatkan sebagai

sumber daya (*resources*) penghasil listrik yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bias dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada volume aliran air per satuan waktu (*flow capacity*), sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bias dikatakan “energi putih”, dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari

putaran poros turbin akan diubah menjadi sebuah energi listrik oleh sebuah generator.

Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 m dapat dihasilkan listrik 400 watt. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 kW digolongkan sebagai mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan.

Berdasarkan output yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air dibedakan sesuai pada tabel berikut :

Tabel 1. Pembangkit listrik berdasarkan daya

No.	Jenis turbin	Daya
1.	<i>Large-Hydro</i>	> 100 MW
2.	<i>Medium-Hydro</i>	15 MW – 100 MW
3.	<i>Small-Hydro</i>	1 MW – 15 MW
4.	<i>Mini-Hydro</i>	100 kW
5.	<i>Micro-Hydro</i>	5 kW – 100 kW
6.	<i>Pico-Hydro</i>	5 kW

(Laymand, 1998)

1. Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

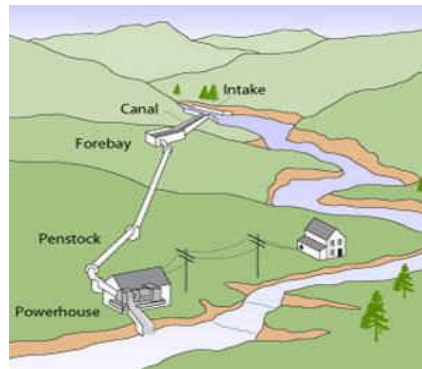
- a. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
- b. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
- c. Tidak menimbulkan pencemaran.
- d. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
- e. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Pembangkit listrik tenaga air skala *piko* pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik (Doland J, 1984).

3. Komponen-Komponen PLTMH

Pada gambar 2 dapat kita lihat bentuk skema dari PLTMH



Gambar 2. Skema PLTMH (Laymand, 1998)

Komponen PLTMH secara umum terdiri dari :

a. Bendungan (*Weir*) dan *Intake*

Pada umumnya instalasi PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air jenis aliran sungai atau saluran irigasi langsung, jarang yang merupakan jenis waduk (bendungan besar). Konstruksi bangunan *intake* untuk mengambil air langsung dapat berupa bendungan (*weir*) yang melintang sepanjang lebar sungai atau langsung membagi aliran air sungai tanpa dilengkapi bangunan bendungan. Lokasi *intake* harus dipilih secara cermat untuk menghindarkan masalah di kemudian hari. Pada gambar 3 dapat kita lihat gambar bendungan (*weir*) dan *intake*.



Gambar 3. Bendungan (*weir*) dan *intake* (Laymand, 1998)

b. Bak Pengendap (*Settling Basin*)

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir. Pada gambar 4 dapat kita lihat Bak pengendap (*Settling Basin*).



Gambar 4. Bak Pengendap (Laymand, 1998)

c. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan. Pada gambar 5 dapat kita lihat saluran Pembawa (*Headrace*).



Gambar 5. Saluran Pembawa (Laymand, 1998)

d. *Headtank* (Bak Penenang)

Fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah *penstock* dan *headrace*, dan untuk pemisahan akhir kotoran

dalam air seperti pasir, kayu-kayuan. Pada gambar 6 dapat kita lihat Bak Penenang (*Headtank*).



Gambar 6. Bak Penenang (Laymand, 1998)

e. *Penstock* (PipaPesat).

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay tank*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter *penstock*, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*). Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, *aksesibility*, berat, sistem penyambungan dan biaya. Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*fiction losses*) seminimal mungkin. Ketebalan *penstock* dipilih untuk menahan tekanan hidrolis dan *surge pressure* yang dapat terjadi. Pada gambar 7 dapat kita lihat *Penstock*.



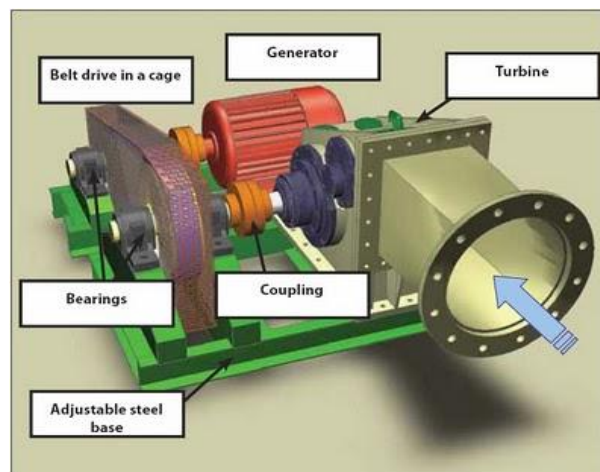
Gambar 7. Penstock (Laymand, 1998)

f. Turbin Air

Turbin berfungsi mengubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik pada generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

g. Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Berikut gambar dari Generator



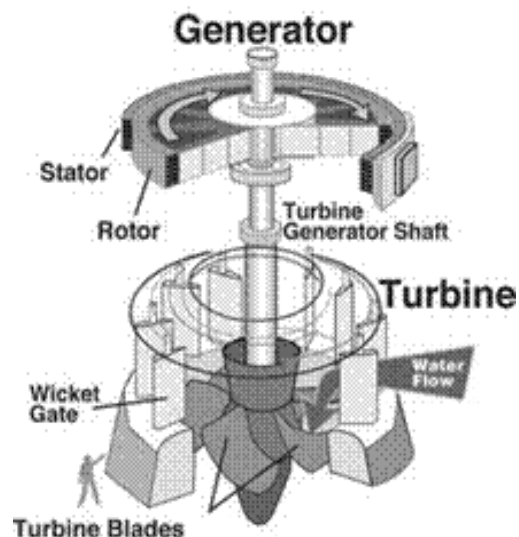
Gambar 8. Generator (Laymand, 1998)

C. Turbin Air

Berikut jenis dari turbin air :

1. Turbin *Francis*

Turbin *Francis* merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara *tangensial*. Sudu pengarah pada turbin *Francis* dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat. Gambar 9 menunjukkan sketsa dari turbin *Francis*.

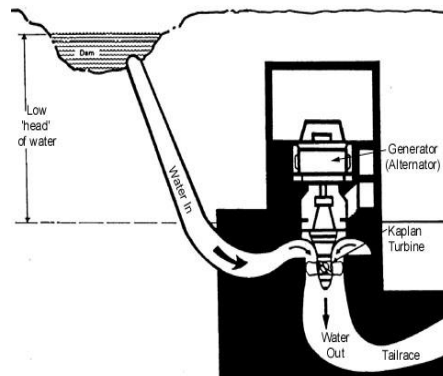


Gambar 9. Turbin *Francis* (Haimerl, L.A., 1960)

2. Turbin *Kaplan & Propeller*

Turbin *Kaplan* dan *Propeller* merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari *Propeller* seperti pada perahu. *Propeller*

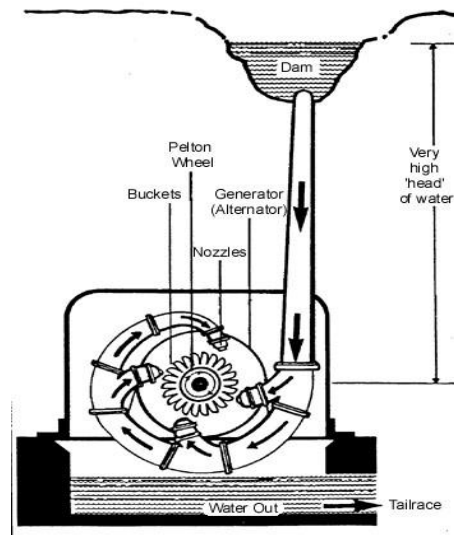
tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu. Gambar 10 merupakan bentuk dari turbin *Kaplan*.



Gambar 10. Turbin *Kaplan* (Haimerl, L.A., 1960)

3. Turbin *Pelton*

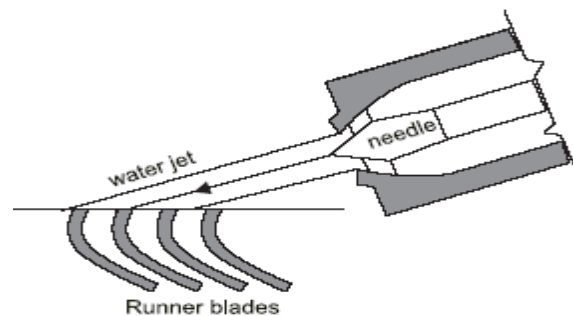
Turbin *Pelton* merupakan turbin impuls. Turbin *Pelton* terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut *nozzle*. Turbin *Pelton* adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin ini cocok digunakan untuk *head* tinggi. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi *konversi* energi kinetik menjadi energi mekanis. Turbin *Pelton* untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 m tetapi untuk skala mikro *head* 20 m sudah mencukupi. Gambar 11 merupakan bentuk dari turbin *Pelton*.



Gambar 11. Turbin *Pelton* (Haimerl, L.A., 1960)

4. Turbin *Turgo*

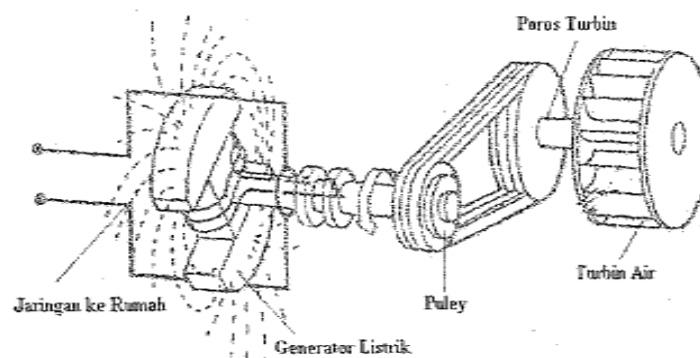
Turbin *Turgo* dapat beroperasi pada head 30 m s/d 300 m. Seperti turbin *Pelton* turbin *Turgo* merupakan turbin *impulse*, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nozzle* membentur sudu pada sudut 20° . Kecepatan putar turbin *Turgo* lebih besar dari turbin *Pelton*. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Pada Gambar 12 menunjukkan bentuk turbin *Turgo*.



Gambar 12. Turbin *Turgo* (Laymand, 1998)

5. Turbin *Cross-Flow*

Turbin Cross-Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama *A.G.M. Michell* pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh *Prof. Donat Banki* sehingga turbin ini diberi nama *Turbin Banki* kadang disebut juga *Turbin Michell-Ossberger* (Haimerl, L.A., 1960). Pada dasarnya turbin ini bekerja menggunakan tenaga jatuhan air sehingga turbin akan berputar, dan putaran itu akan menggerakkan generator yang akan menghasilkan listrik. Berikut gambar 13 prinsip kerja turbin *Cross-Flow*.



Gambar 13. Prinsip kerja turbin *Cross-Flow* (Haimerl, 1960)

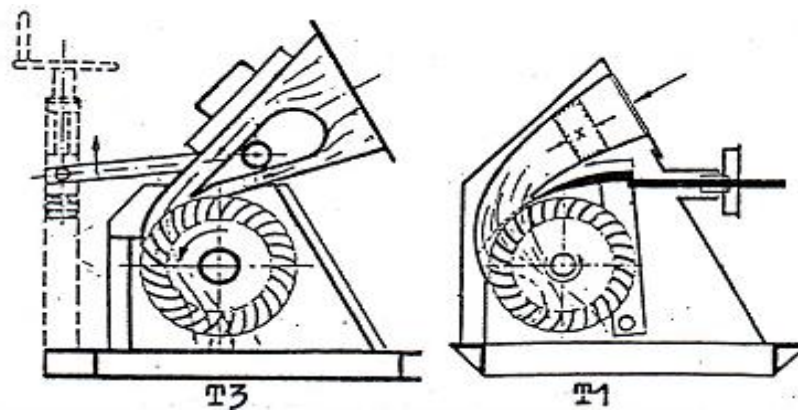
Pemakaian jenis *Turbin Cross-Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena

ukuran Turbin *Cross-Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter Turbin *Cross-Flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin *Cross-Flow* mencapai 82 % (Haimerl, L.A., 1960). Tingginya efisiensi Turbin *Cross-Flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*. Untuk Turbin *Cross Flow* dengan $Q/Q_{mak} = 1$ menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%, disamping itu untuk perubahan debit sampai dengan $Q/Q_{mak} = 0,2$ menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap (Meier, Ueli,1981).

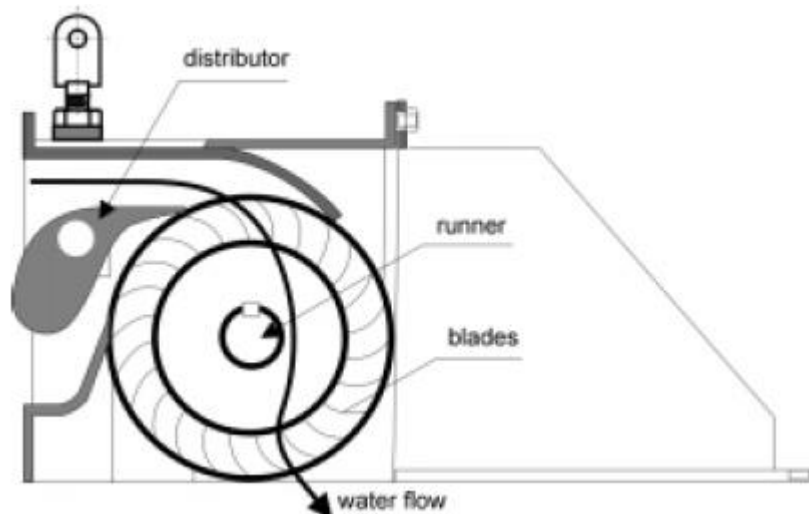
Turbin *Cross-Flow* dapat dioperasikan pada debit $20 \text{ m}^3/\text{s}$ hingga $10 \text{ m}^3/\text{s}$ dan head antara 1 s/d 200 m. *Turbin Cross-Flow* secara umum dapat dibagi dalam dua tipe yaitu (Meier, Ueli, 1981)

1. Tipe T1, yaitu *Turbin Cross-Flow* kecepatan rendah .
2. Tipe T3, yaitu *Turbin Cross-Flow* kecepatan tinggi.

Kedua tipe turbin tersebut lebih dijelaskan oleh gambar.



Gambar 14. Dua Tipe *Turbin Cross-Flow* (Meier, Ueli, 1981)



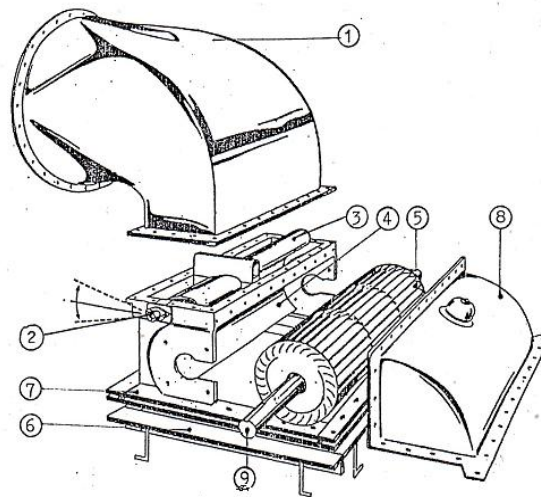
Gambar 15. *Turbin Cross-Flow* (Laymand, 1998)

Dari kesederhanaannya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka Turbin *Cross-Flow* yang paling sederhana. Sudu-sudu Turbin *Pelton* misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang. Demikian juga *runner* Turbin *Francis*, *Kaplan* dan *Propeller* pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang. Tetapi *runner* Turbin *Cross-Flow* dapat dibuat dari material baja sedang (*mild steel*) seperti *ST.37*, dibentuk dingin kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini semuanya dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup. Dari kesederhanaannya itulah maka Turbin *Cross-Flow* dapat dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat.

Dari beberapa kelebihan Turbin *Cross-Flow* itulah, maka sampai saat ini pemakaiannya di beberapa negara lain terutama di Jerman Barat sudah tersebar luas, bahkan yang dibuat oleh pabrik Turbin *Ossberger* sudah mencapai 5.000 unit lebih, sebagaimana diungkapkan oleh Prof. Haimerl (1960) dalam suatu artikelnya.

Selanjutnya Prof. Haimerl (1960) menyatakan pula bahwa setiap unit dari turbin ini dapat dibuat sampai kekuatan kurang lebih 750 kW, dapat dipasang pada ketinggian jatuh antara 10 m sampai 200 m dengan

debit air sampai 3.000 l/s. Cocok digunakan untuk PLTMH, penggerak instalasi pompa, mesin pertanian, workshop, bengkel dan lain sebagainya.



Gambar 16. Model Rakitan Turbin *Cross-Flow* (Haimerl, L.A., 1960)

Keterangan :	1. <i>Elbow</i>	6. Rangka pondasi
	2. Poros katup	7. Rumah turbin
	3. Katup	8. Tutup turbin
	4. Nozel	9. Poros runner
	5. <i>Runner</i>	

Komponen-komponen turbin yang penting adalah sebagai berikut :

a. Sudu Pengarah

biasanya dapat diatur untuk mengontrol kapasitas aliran yang masuk turbin.

b. Roda Jalan atau *Runner* Turbin

pada bagian ini terjadi peralihan energi potensial fluida menjadi energi mekanik.

c. Poros Turbin

pada poros turbin terdapat runner dan ditumpu dengan bantalan radial dan bantalan axial.

d. Rumah Turbin

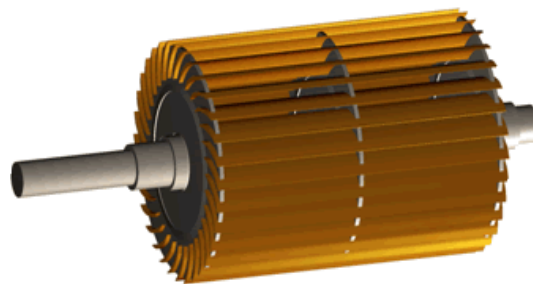
biasanya berbentuk keong atau spiral, berfungsi untuk mengarahkan aliran masuk sudu pengarah.

e. Pipa Hisap

Berfungsi mengalirkan air yang ke luar turbin ke saluran luar.

Turbin *Cross-Flow* menggunakan *nozzle* persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis.

Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin.



Gambar 17. *Runner Cross-Flow* (Cole, 2004)

Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Dalam hubungan dengan

reservoir air maka *head* adalah beda ketinggian antara muka air pada *reservoir* dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. (James J.Doland, 1984).

D. Klasifikasi Turbin air

Dengan kemajuan ilmu Mekanika fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbullah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Dari itu maka masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistim, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

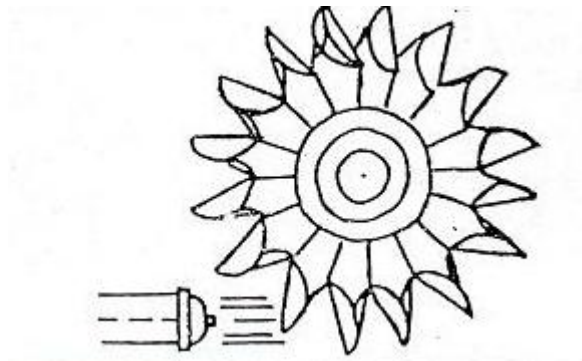
Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria (Dietsel, 1989).

1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

a. Turbin Aliran *Tangensial*

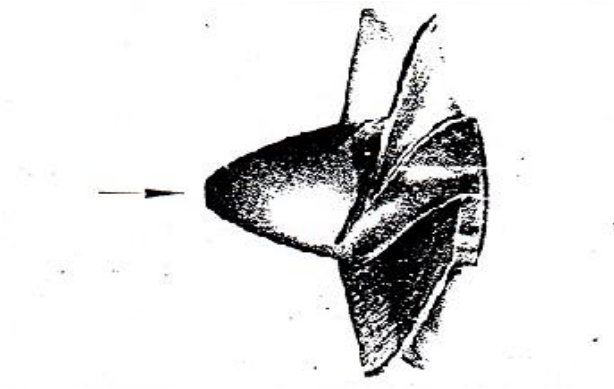
Pada kelompok turbin ini posisi air masuk *runner* dengan arah *tangensial* atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, contohnya Turbin *Pelton* dan Turbin *Cross-Flow*.



Gambar 18. Turbin Aliran *Tangensial* (Haimerl, L.A., 1960)

b. Turbin Aliran Aksial

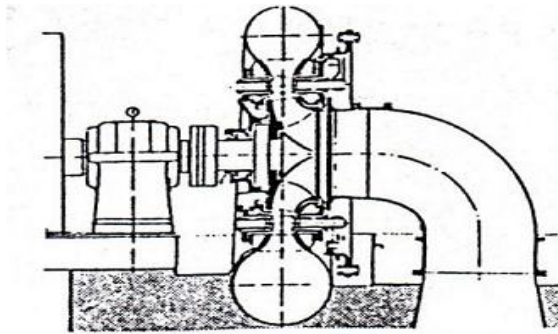
Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, Turbin *Kaplan* atau *Propeller* adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini. Gambar 19 menunjukkan Model Turbin Aliran *Aksial*.



Gambar 19. Model Turbin Aliran *Aksial* (Haimerl, L.A., 1960)

c. Turbin Aliran *Aksial - Radial*

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. Turbin *Francis* adalah termasuk dari jenis turbin ini. Gambar 20 menunjukkan Model Turbin Aliran *Aksial – Radial*.



Gambar 20. Model Turbin Aliran *Aksial- Radial* (Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

2. Berdasarkan Perubahan Momentum *Fluida Kerjanya*.

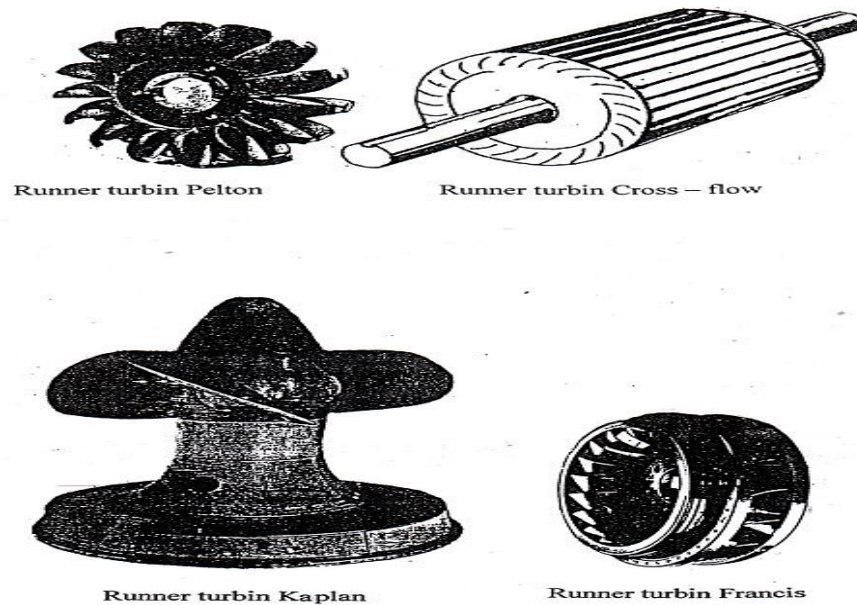
Dalam hal ini turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu :

a. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain : Turbin *Pelton* dan Turbin *Cross-Flow*.

b. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya : Turbin *Francis*, Turbin *Kaplan* dan Turbin *Propeller*.



Gambar 21. Empat Macam *Runner Turbin Konvensional* (Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

E. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

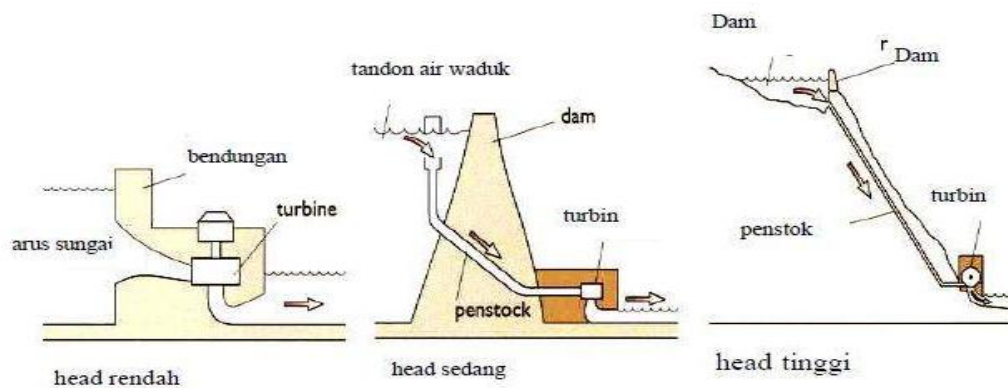
Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik.

Faktor tinggi jatuhan air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin *Pelton* efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sementara turbin *Propeller* sangat efektif beroperasi pada *head* rendah. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia (Ismono, 1999).

Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (*Propeller*) dapat mencapai

putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut (Keller², 1975) dikelompokkan menjadi:

- *Low head power plant*
- *Medium head power plant*
- *High head power plant*



Gambar 22. Tingkat *head* sumber air (Vienna, 1981)

Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (N_s)

Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (*Propeller*) dapat mencapai putaran

yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *Cross-Flow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. Faktor tersebut seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik, N_s ", yang didefinisikan:

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H_{efs}^{\frac{5}{4}}} \dots\dots\dots(1)$$

diketahui :

N_s = kecepatan spesifik turbin (*rpm*)

N = Kecepatan putaran turbin (*rpm*)

H_{efs} = Tinggi jatuh efektif (*m*)

P = Daya turbin *output* (*kW*)

Output turbin ditentukan dengan persamaan (Fox dan Mc Donald, 1995)

$$P = \rho \times Q \times H \times \eta \times g \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

P = Daya Turbin (*Watt*)

Q = Debit air (m^3/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Gaya grafitasi (m/s^2)

H = Efektif Head (*m*)

η = Efisiensi turbin

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-

masing, tabel 2. menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional .

Tabel 2. Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton dan kincir air</i>	$10 \leq N_s \leq 35$
2.	<i>Francis</i>	$60 \leq N_s \leq 300$
3.	<i>Cross-Flow</i>	$40 \leq N_s \leq 200$
4.	<i>Kaplan dan propeller</i>	$250 \leq N_s \leq 1000$

(Celso Penche, 1998)

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat didestimasi (diperkirakan).

2. Berdasarkan Head dan Debit.

Dalam pemilihan jenis turbin, hal spesifik yang perlu diperhatikan antara lain menentukan tinggi *head* bersihnya dan besar debit airnya. berikut adalah pengertian tentang *head* dan debit.

a. Head Bersih (*Net Head*)

Head bersih adalah selisih antara *head* ketinggian kotor dengan *head* kerugian di dalam sistem pemipaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro tersebut. *Head* kotor (*gross head*) adalah jarak *vertical* antara permukaan air sumber dengan ketinggian air keluar saluran turbin (*tail race*) untuk turbin reaksi dan keluar nozel untuk turbin impuls.

Head kerugian didalam sistem pemipaan yaitu berupa *head* kerugian didalam pipa dan *head* kerugian pada kelengkapan perpipaan seperti sambungan , katup, percabangan, *difuser*, dan sebagainya.

- a) *Head* kerugian aliran didalam pipa (*Major Losses*) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Fox dan Mc Donald, 1995)

$$H_f = f \frac{L.V^2}{D.2g} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

V = Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (*m/s*),

f = Keofisien kerugian gesek,

g = Percepatan grafitasi (*9,8 m/s²*),

L = Panjang pipa (*m*)

D = Diameter dalam pipa (*m*)

- b) *Minor losses*

Head kerugian aliran didalam sistem kelengkapan pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Penche, C, 1998) :

- *Inlet loss* (h_e)

$$H_e = \frac{f_e.V_p}{2.g} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

h_e = *Inlet loss* (*m*)

f_e = Keofisien bentuk di *inlet* biasanya

f_e = Koefisien 0,5 dalam skema mikrohidro

- *Valve loss* (h_v)

$$H_v = \frac{f_v.V_p}{2.g} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

$h_v = \text{Valve loss (m)}$

$f_v = \text{Keofisien jenis katup (valve)}$

$f_v = \text{Koefisien 0.1 (katup butterfly)}$

- *Bend loss* (loses belokan) = H_o

$$H_o = 10\% (H_f + H_e + H_v) \dots\dots\dots(6)$$

c) Maka besar total rugi-rugi (*losses*) yang terjadi adalah:

$$\text{Rugi-rugi (Losses)} = \text{Major Losses} + \text{Minor losses} \dots\dots\dots(7)$$

d) Sehingga nilai *Head* bersih setelah dikurangi rugi-rugi adalah

$$H_{net} = H_{gross} - \text{Losses} \dots\dots\dots(8)$$

Namun karena *head* kerugian pada kelengkapan pipa kecil maka kerugian ini dapat diabaikan.

Tabel 3. Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan *head* (Dietsel, 1989)

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
<i>Kaplan dan Propeller</i>	$2 < H < 20$
<i>Francis</i>	$10 < H < 350$
<i>Pelton</i>	$50 < H < 1000$
<i>Crossflow</i>	$6 < H < 100$
<i>Turgo</i>	$50 < H < 250$

b. Kapasitas Aliran (Debit)

Debit aliran adalah volume air yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. Debit air adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang

lain debit atau aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan *meter* kubik per detik (m^3/s). Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air tersebut.

Debit dapat dihitung dengan Persamaan (Penche, C, 1998) :

$$Q = A \cdot V \text{ (} m^3/s \text{)} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

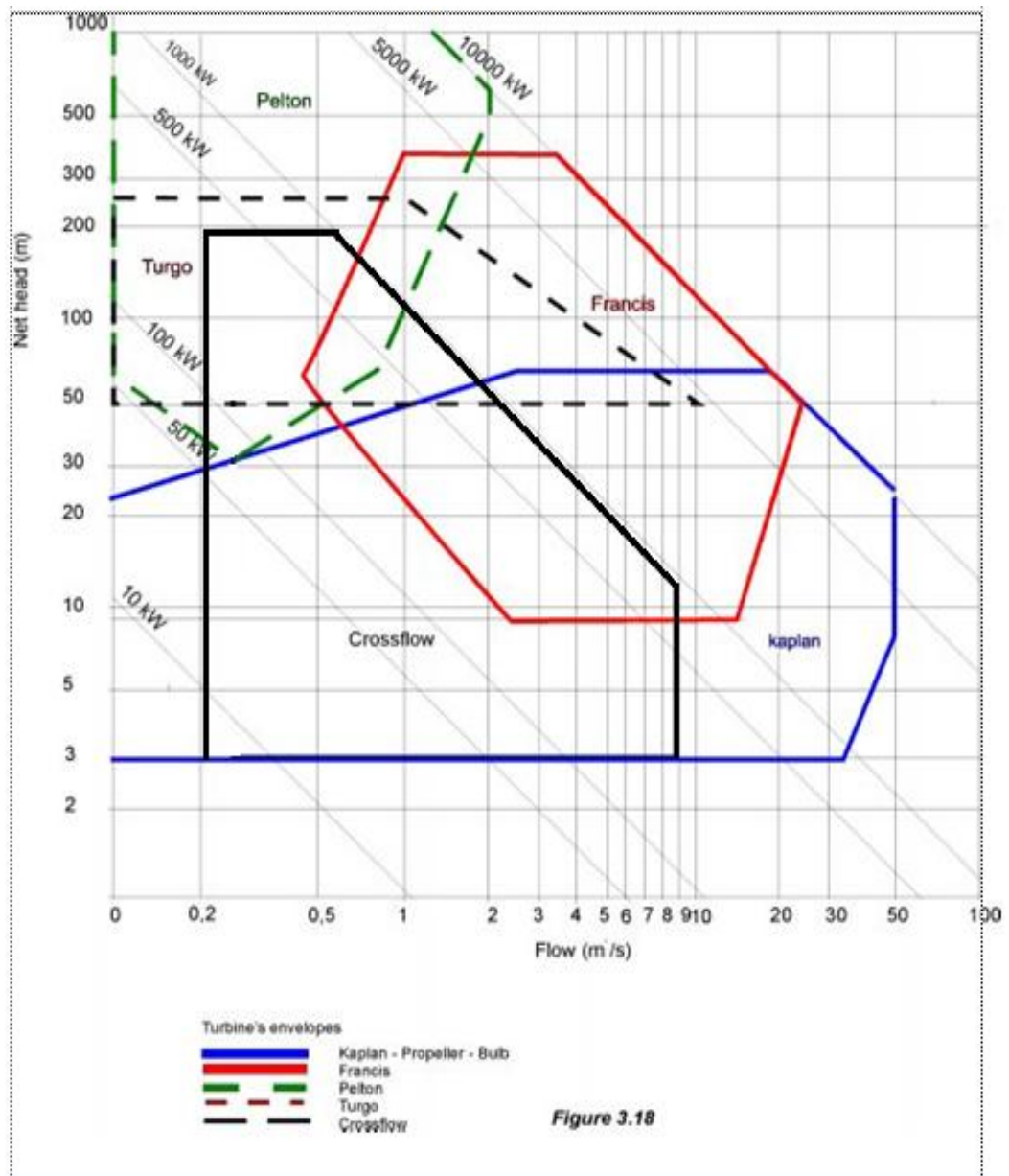
Q = Debit (m^3/s)

A = Luas bagian penampang basah (m^2)

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

Berikut ini pemilihan pengoperasian turbin air berdasarkan *head* dan debit:

- a) *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 m tetapi debit air yang besar, maka Turbin *Kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- b) *Head* yang sedang antara 10 m sampai 200 m dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah Turbin *Francis* atau *Cross-Flow*.
- c) *Head* yang tinggi yakni di atas 200 m dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis *Pelton*.



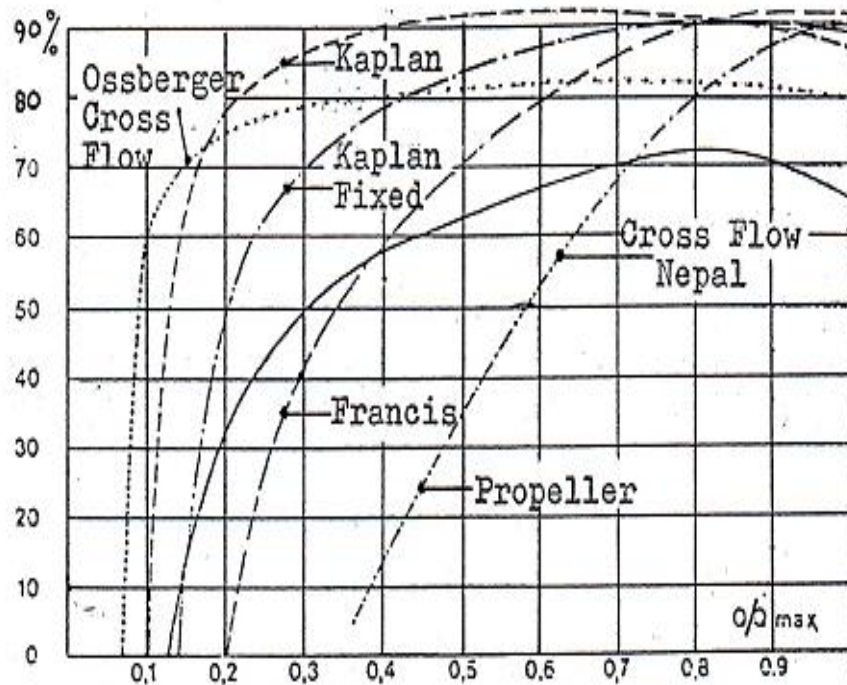
(Laymand, 1998)

Grafik 1. Pemilihan pengoperasian jenis turbin berdasarkan *head* dan *flow*

3. Berdasarnya Nilai Efisiensinya

- 0.8 - 0.85 untuk turbin *Pelton*
- 0.8 - 0.9 untuk turbin *Francis*
- 0.7 - 0.8 untuk turbin *Cross-Flow*
- 0.8 - 0.9 untuk turbin *Propeller/Kaplan*

Kurva di bawah ini akan lebih menjelaskan tentang perbandingan efisiensi dari beberapa turbin konvensional. Pada gambar 21 dapat kita lihat grafik efisiensi beberapa turbin.



Grafik 2. Efisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel (Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

Dari kurva tersebut ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya.

F. Daya Yang Dihasilkan Turbin.

Dari kapasitas air V dan tinggi air jatuh H diperoleh Daya keluaran turbin.

Daya keluaran turbin dihitung menggunakan persamaan (SKAT, 1990)

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

$P_a =$ Daya air (kW)

$Q =$ Kapasitas air (m^3/s)

$\rho =$ Massa jenis air (kg/m^3)

$g =$ Gaya gravitasi (m/s^2)

$H =$ Tinggi air jatuh (m).

Dan efisiensi turbin:

$$\eta_T = \frac{P_t}{P_a} \dots\dots\dots(11)$$

Maka daya turbin yang diperoleh

$$P_t = P_a \cdot \eta_T \dots\dots\dots(12)$$

$$P_t = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_T \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

$P_t =$ Daya Turbin (kW)

$\eta_T =$ Efisiensi turbin

Secara sederhana dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi jatuh air, dengan kapasitas aliran sama, akan mempunyai energi potensial yang lebih besar dibandingkan dengan tinggi jatuh air yang lebih rendah.