

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Aditya, Y. P. (2016). Melakukan penelitian dengan beberapa modifikasi pada blower angin, sehingga dapat digunakan untuk memanfaatkan energy pikohidro yang ada. Beberapa modifikasi yang dilakukan meliputi: melepas motor penggerak, pembuatan poros, membalik dan memotong penguat sudu pada impeller, juga membuat penutup pada lubang dan pemasangan seal bearing pada spiral case. Pengambilan data peformansi turbin menggunakan dynamo meter sabuk rem dengan variasi bukaan katup untuk besar debit suplai turbin. Besar variasi bukaan katup meliputi $1/3, 1/2, 3/4$ dan 1 (putaran). Parameter yang diambil dari penelitian ini adalah besar debit yang digunakan, besar gaya pada turbin, juga kecepatan putar poros turbin. Dari parameter tersebut dapat dihitung besar torsi dan daya yang dihasilkan untuk mengetahui performansi turbin.

Ambarita (2011). Menyimpulkan bahwa komposisi penggunaan energi di Indonesia masih sangat didominasi energi yang berasal dari fosil, yaitu sebanyak 95%. Dan energi air (hydro power) masih hanya menyumbang 3,4%. Sementara potensi energi air di Indonesia cukup besar. Energi air kapasitas besar memiliki potensi 75,67GW sementara yang sudah dimanfaatkan sebesar 4,2 GW atau hanya 5,55%. Energi air kapasitas kecil mempunyai potensi 458,75 MW, sementara yang sudah dimanfaatkan 86 MW atau hanya 17,22%.

A. Khomsah (2015). Menyimpulkan bahwa dalam penelitian ini dirancang satu set alat uji picohydro mendekati kondisi nyata, berkaitan dengan kinerja turbin tertentu. Generator 3-phase dengan output 1-fase yang digunakan dalam penelitian ini, serangkaian kapasitor C-2C dipasang pada output generator bintang sirkuit. Dalam penelitian ini untuk mengetahui kinerja optimal dari sistem picohydro, dua variasi seri kapasitor yang digunakan dalam penelitian ini. Turbin crossflow dengan desain sesuai rencana, digunakan sebagai penggerak utama. Pengujian dilakukan simulasi di mana energi kinetik air dari

pompa drive turbin, turbin energi rotary lebih lanjut akan mendorong generator. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa output daya dan efisiensi meningkat dengan menurunnya nilai kapasitor. Kesesuaian antara variabel perencanaan turbin dan variabel eksperimen menghasilkan kinerja yang optimal, efisiensi maksimum 29,88% dengan daya optimal 85 Watt.

Bactiar (2015). Melakukan pengembangan gagasan revolusi terhadap system kincir air yaitu kincir air yang dapat diurai menjadi beberapa komponen sehingga akan memudahkan pada proses pengangkutan, perakitan dan pemasangan di lapangan. Disamping itu perawatan kincir air akan menjadi relative lebih mudah karena jika ada salah satu komponen tersebut dapat mudah dilepas dari roda kincir induk dan dapat segera dibawa ke bengkel untuk diperbaiki. Sistem kincir yang telah dibangun ini dikenal dengan nama Kincir Air Sistem Knock Down disingkat KASKD yang mampu membangkitkan daya lebih besar dibanding kincir kayu yang dioperasikan masyarakat selama ini. Penelitian tahunan pertama ini berhasil membangun system KASKD sebagai penggerak generator listrik dan salah satu solusi selama ini tentang masalah tidak beroperasinya ribuan kincir air di pedesaan Sumatera Barat. Keberhasilan pembangunan KASKD ini akan menjadi proyek percontohan untuk desa-desa di sekitarnya. Tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian eksperimen ini ialah survey ke lokasi pengujian, perencanaan sistem dan kompoen KASKD, proses pembuatan komponen dan perakitan KASKD. Tahap selanjutnya adalah pengujian yang merupakan tahapan terakhir untuk mengetahui prestasi KASKD sebagai luaran dari penelitian ini. Diketahui efisiensi optimal diperoleh pada debit maksimal 150 lt/det yaitu efisiensi penggerak mula KASKD 77,5%, efisiensi transmisi 93%, dan efisiensi sistem KASKD 75%. Direncanakan pada penelitian tahun ke dua nanti KASKD dirancang untuk dua fungsi yaitu pada siang hari difungsikan untuk menggerakkan rice milling dan pada malam hari KASKD difungsikan untuk menggerakkan generator listrik.

Irsyad (2010). Melakukan pengujian pada turbin air tipe Darrieus dengan sudu hydrofoil berdasarkan standar NACA 6512. Tujuannya untuk mengetahui kinerja turbin air sumbu vertikal berupa torsi dan efisiensi. Model

ini di uji pada saluran air tertentu dengan variasi laju aliran air 0.5229 m/s, 0,6807 m/s, dan 0,858 m/s serta variasi diameter turbin yaitu; 28 cm, 32 cm, 36 cm dan 40 cm. Nilai torsi dan efisiensi aktual (hasil pengujian) dibandingkan dengan torsi dan efisiensi teoritik. Nilai Torsi aktual dan teoritik berbanding lurus dengan diameter turbin dan laju aliran. Torsi terbesar terjadi pada diameter turbin 40 cm dan laju aliran 0,858 m/s sebesar 0.7618 Nm (aktual). Sedangkan nilai efisiensi aktual terbesar yaitu pada diameter 40 dan laju aliran 0.858 m/s sebesar 14.7 %.

Irawan, H. N. (2018) Melakukan penelitian ini bermaksud untuk mengoptimalkan cara kerja blower angin sebagai turbin air menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Proses simulasi menggunakan *Ansys Fluent 18.0 Academic Version* dapat dibedakan menjadi 3 yaitu *Pre-Processing*, *Processing*; dan *Post-Processing*. Simulasi ini menggunakan sudu 5,6 dan 7 dengan variasi katup bukaan penuh, katup bukaan $\frac{3}{4}$, katup bukaan $\frac{1}{2}$ dan katup bukaan $\frac{1}{3}$.

Hasil simulasi dan pengolahan data menunjukkan bahwa jumlah sudu berpengaruh pada unjuk kerja blower angin *sentrifugal* sebagai turbin air. Unjuk kerja paling tinggi didapat pada turbin dengan jumlah sudu 7 dengan daya turbin 45,38 watt dengan laju aliran massa sebesar 5,66 kg/s dan torsi 0,99 Nm pada kecepatan putar 435 rpm. Efisiensi maksimum dihasilkan pada turbin dengan jumlah sudu 7 sebesar 29,43 % pada kecepatan putar 570 rpm.

Riyan, R. L. (2018). Melakukan simulasi dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*) software *ANSYS Fluent 16.0* dibagi menjadi 3 bagian yaitu *Pre-Processing*, *Processing* dan *Post-Processing*. Simulasi ini menggunakan sudu yang berjumlah 6 dengan 4 variasi bukaan katup yaitu variasi katup bukaan penuh, katup bukaan $\frac{3}{4}$., katup bukaan $\frac{1}{2}$. dan katup bukaan $\frac{1}{3}$ dimana masing-masing katup memiliki 5 variasi kecepatan putar turbin.

Hasil penelitian dan pengolahan data menunjukkan bahwa bukaan katup dan kecepatan putar berpengaruh terhadap unjuk kerja blower *sentrifugal* sebagai turbin air. Semakin besar bukaan katup maka daya yang dihasilkan semakin tinggi pada kecepatan tertentu. Unjuk kerja blower sentrifugal

sebagai turbin air tertinggi dihasilkan oleh variasi katup bukaan penuh pada kecepatan 370 rpm dengan daya sebesar 33,77 Watt, dengan torsi sebesar 0,87 N.m dan laju aliran massa sebesar 4,84 / serta Efisiensi yang dihasilkan sebesar 23,69 %.

Suwoto. G. (2012). Menyimpulkan bahwa tahap awal pada penelitiannya adalah menyiapkan pompa sentrifugal yang akan dimodifikasi, mengukur impeller dan lebar saluran rumah pompa yang akan dimodifikasi sebagai patokan ukuran runner turbin yang akan dibuat. Merubah sudut sudu impeller, ketirusan shock draft as impeller diperpendek agar tidak ada celah air masuk dan memperlebar impeller agar seluruh air akan menumbuk runner turbin.

Agar perubahan lebar runner tidak menimbulkan perubahan debit, maka jumlah sudu runner turbin diperbanyak. Yang sudu awalnya berjumlah 6 diperbanyak menjadi 16 sudu. Tahap selanjutnya adalah uji karakteristik turbin. Uji coba dilakukan pada instalasi pengujian turbin air. Parameter yang diukur adalah debit dan head, untuk menghitung daya input turbin serta putaran turbin dan torsi yang bekerja pada poros turbin untuk menghitung daya output turbin. Berdasarkan pada hasil pengujian, turbin air hasil modifikasi pompa sentrifugal untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro, daya output turbin maksimum yang dihasilkan adalah 114,876 watt dengan putaran turbin 1315 rpm yang dioperasikan pada debit 0,0034 m³/det, head 23 m dan menghasilkan efisiensi turbin 21,98 %.

Sutisno (2007). Menyimpulkan bahwa energi listrik yang disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), masih belum dirasakan secara menyeluruh oleh masyarakat terutama masyarakat pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Desa diseluruh nusantara yang sudah terjangkau jaringan listrik sampai tahun 2006 baru mencapai 47 %. Sisanya adalah daerah pelosok yang belum terjangkau jaringan listrik. Beberapa desa yang belum terjangkau jaringan listrik memiliki potensi mikrohidro yang belum dimanfaatkan, potensi mikrohidro di Indonesia yang telah dimanfaatkan kurang lebih 64 MW sedangkan potensinya diperkirakan sebesar 460 MW.

Nugraha (2013). Menyimpulkan bahwa pembangkit listrik tenaga pikohidro menggunakan turbin propeller open flume merupakan suatu

pembangkit yang memanfaatkan aliran sungai yang memiliki head yang rendah sebagai tenaga penggerakannya. Pikohidro dengan menggunakan turbin propeller open flume tidak memerlukan pipa penstock dan konstruksi rumah pembangkit. Turbin propeller open flume merupakan turbin reaksi yang beroperasi pada head rendah yaitu kurang dari 6 meter. Turbin propeller open flume memiliki konstruksi yang sederhana dan harga yang relative murah.

Sugiri (2011). Menyimpulkan bahwa dalam perancangan dan pembuatan roda jalan (*runner*) turbin aliran silang mempunyai pengaruh yang besar terhadap efisiensinya. Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan dan konstruksi roda jalan (*runner*) turbin aliran silang diantaranya adalah jumlah sudu, ketebalan sudu, kelengkungan sudu dan bentuk profil sudu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu roda jalan terhadap efisiensi turbin aliran silang. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan jumlah sudu turbin yang cocok agar kerja turbin menjadi optimal. Penelitian dilakukan dengan studi eksperimental menggunakan roda jalan berdiameter 80 mm, panjang 130 mm, variasi jumlah sudu 18, 20 dan 22 buah dengan ketebalan sudu 2 mm. Pengujian dilakukan pada sistem Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD). Ketinggian muka air/*head* yang digunakan pada pengujian adalah 2,5 m. Putaran roda jalan diukur menggunakan tachometer, daya keluaran diukur menggunakan power meter dan torsi turbin diukur dengan torsi meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada pengujian dengan tinggi muka air/*head* turbin 2,5 m, ketebalan sudu 2 mm dan jumlah sudu 20 buah sebesar 76 %. Daya yang dibangkitkan generator terbesar pada ketinggian turbin 2,5 m, jumlah sudu 20 buah sebesar 191 watt.

2.2 DasarTeori

2.2.1 Blower

Blower berfungsi menghasilkan udara bertekanan (penghembus) dengan memanfaatkan putaran *impeller* dengan sudu - sudu tertentu dan *body* blower yang berbentuk rumah keong (*volute*). Sehingga dalam pengaplikasian selain

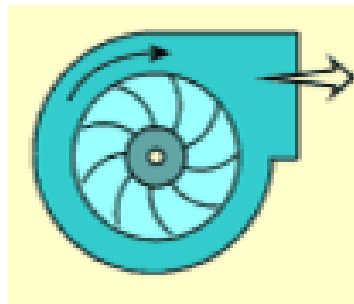
digunakan untuk penghembus juga digunakan untuk menghisap udara. Blower, pompa dan *fan* memiliki prinsip kerja yang sama. Bedanya, bila pompa untuk mengalirkan cairan, blower dan *fan* mengalirkan gas atau udara. Secara umum blower dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu:

1. Sentrifugal Blower

Blower sentrifugal pada dasarnya terdiri dari satu *impeller* atau lebih yang dilengkapi dengan sudu – sudu yang dipasang pada poros yang berputar dan diselubungi oleh sebuah rumah (*casing*). Udara memasuki casing secara horizontal akibat perputaran poros, maka ruang pipa masuk menjadi *vacum* lalu udara dihembuskan keluar. Dari bentuk sudut *blade impeller* ada 3 jenis yaitu:

a. *Backward Curved Blade*

Backward Curved Blade mempunyai susunan *blade* secara paralel (*multi blade*) keliling *shroud*, hanya arah dan sudut *blade* akan mempunyai sudut yang optimum dan merubah energi kinetik ke energi potensial (tekanan secara langsung). Blower ini didasarkan pada kecepatan sedang, akan tetapi memiliki *range* tekanan dan volume yang lebar sehingga membuat jenis ini sangat efisien untuk *ventilator*. Bentuk blower sentrifugal jenis *Backward Curved Blade* dapat dilihat pada gambar 2.1.

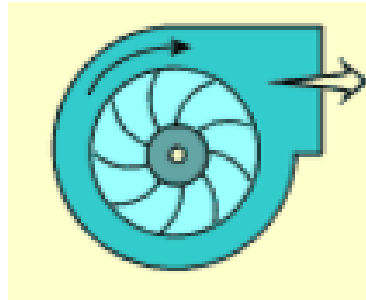


Gambar 2.1 Blower *Backward Curved Blade* (www.reitznorthamerica.com)

b. *Forward Curved Blade*

Forward Curved Blade adalah bentuk *blade* yang arah lengkungan bagian ujung terpasang diatas searah dengan putaran roda. Pada *forward curved* terdapat susunan *blade* secara paralel (*multi blade*)

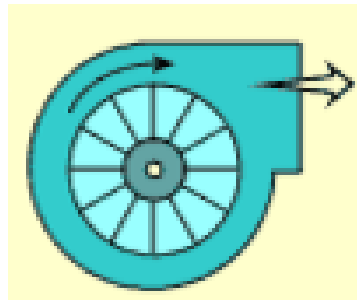
keliling *shroud*. Karena bentuknya, maka pada jenis ini udara atau gas meninggalkan *blade* dengan kecepatan yang tinggi sehingga mempunyai *discharge velocity* yang tinggi dan setelah melalui housing *scroll* sehingga diperoleh energi potensial yang besar. Bentuk blower sentrifugal jenis *Forward Curved Blade* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Blower *forward Curved Blade* (www.reitznorthamerica.com)

c. Radial Blade

Didalam pemakaiannya *Radial Blade* dirancang untuk tekanan statis yang tinggi pada kapasitas yang kecil. Namun demikian perkembangan saat ini jenis bentuk *radial blade* dibuat pelayanan tekanan dan kecepatan putaran tinggi. Bentuk blower sentrifugal jenis *Radial Blade* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Blower *Radial Blade* (www.reitznorthamerica.com)

2. Positive Displacement Blower

Pada jenis ini gas atau udara dipindahkan volume per volume dalam ruangan yang disebabkan adanya pergerakan elemen *impeller* yang berputar karena adanya penambahan massa gas atau udara yang dipindahkan. Jenis *positive displacement blower* yang sering digunakan adalah *rotary blower* yaitu:

➤ Vane Blower

Digunakan untuk kapasitas yang kecil dengan fluida yang bersih. Ditinjau dari bentuk dan cara kerja elemen *impeller vane blower* dibagi menjadi dua *type* yaitu: *Slading vane* dan *Fleksibel vane*.

1. *Slading vane*

Impeller yang berputar terdapat suatu mekanisme yang dapat bergerak *slading* (keluar masuk) didalamnya disebut *vane*. Karena gerakan *impeller* eksentrik terhadap *casing* maka terjadilah perubahan ruang dimana udara atau gas dialirkan oleh *vane* tersebut. Jumlah *vane* untuk satu blower bervariasi tergantung besarnya kapasitas dan tekanan discharger yang diinginkan.

2. *Flexible vane*

Pada bagian luar *impeller* terdapat sirip – sirip yang *flexible* dan karena gerakan *impeller* eksentrik terhadap *casing* maka *vane* akan diperoleh tekanan udara yang ada diruang *casing* lalu tekanan udara atau gas itu dipindahkan keluar.

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkitan listrik mikrohidro adalah pembangkitan listrik dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Mikrohidro berasal dari kata *micro* yang berarti kecil dan *hydro* artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

Generator yang digunakan untuk mikrohidro dirancang mudah untuk dioperasikan dan dipelihara, didesain menunjang keselamatan, tetapi peralatan dari listrik akan menjadi berbahaya bila tidak digunakan dengan baik. Pemanfaatan tenaga air oleh manusia telah dilakukan sejak ribuan tahun yang lalu, dimulai dengan pembuatan kincir air yang ditempatkan pada aliran air. Energi yang dihasilkan pada mulanya dimanfaatkan secara mekanik. Pada

awal abad ke-19 perkembangan mini hidro di dunia, khususnya di Eropa, sangat pesat. Energi mekanik dan energi listrik yang dihasilkan disalurkan ke industri di sekitar lokasi stasiun pembangkit.

Dengan berkembangnya proyek-proyek mega hidro di tahun 1930-an, pengembangan mini hidro sangat menurun, bahkan diabaikan oleh pemerintah. Sehubungan dengan kerugian ekologi yang ditimbulkan oleh proyek-proyek mega hidro dan naiknya harga minyak bumi, industri mini hidro bangkit kembali sekitar empat puluh tahun yang lalu. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik, pemerintah dibanyak negara membuka kesempatan kepada swasta untuk terlibat dalam pengembangan mini hidro dan mikro hidro.

Berdasarkan kapasitas keluarannya, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat diklasifikasikan padatable 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi PLTA (Khurmi, 1977)

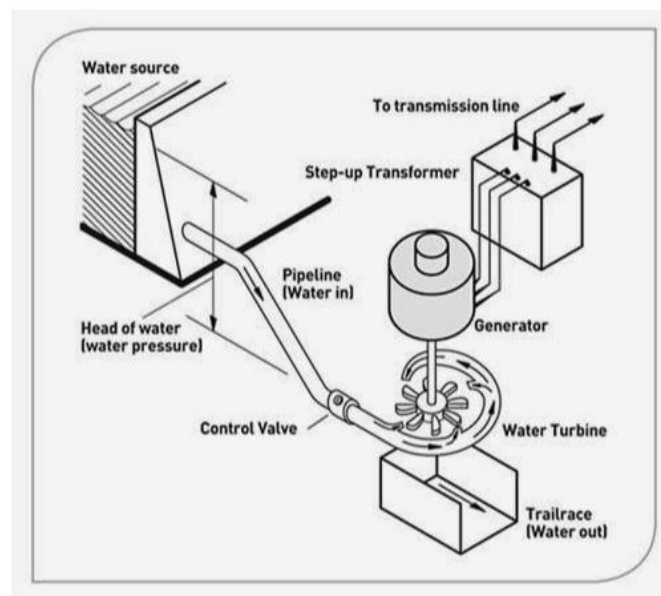
No	Jenis PLTA	Kapasitas
1	PLTA Besar	> 100 MW
2	PLTA Menengah	15 - 100 MW
3	PLTA Kecil	1 - 15 MW
4	PLTA(mini hidro)	100 kW - 1 MW
5	PLTA (mikro hidro)	5 kW - 100 kW
6	Pico hidro	< 5 kW

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), biasa disebut mikrohidro, adalah suatu pembangkit listrik kecil yang menggunakan tenaga air dengan kapasitas tidak lebih dari 100 kW yang dapat berasal dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan debit air (Prayogo, 2003). Umumnya PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air jenis run-off river dimana head diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama pada suatu tempat dimana head yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan melalui pipa pesat air diterjunkan untuk memutar turbin

yang berada di dalam rumah pembangkit. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

2.2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit tenaga listrik mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. (Energi Potensial - Energi Mekanik - Energi Listrik) bisa dilihat pada Gambar 2.4.



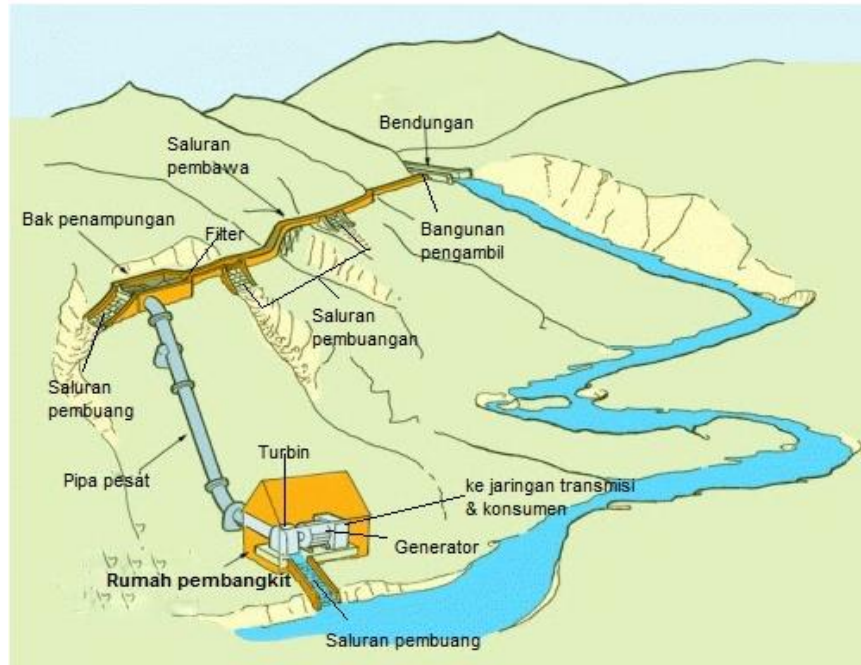
Gambar 2.4 Prinsip Kerja PLTMH (Khurmi, 1977)

2.2.4 Bagian-bagian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Mikro hidro atau yang disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata miko yang berarti kecil dan hidro berarti air.

Secara teknis mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air, turbin dan generator. Mikrohidro mendapat energy dari aliran air yang memiliki

perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya mikrohidro memanfaatkan energy potensial jatuhan air. Semakin tinggi jatuhan air (head) maka semakin besar energy potensial air yang dapat diubah menjadi energy listrik.



Gambar 2.5 Sistem PLTMH(Khurmi, 1977)

1. Waduk (*reservoir*)

Waduk adalah danau yang dibuat untuk membandung sungai untuk memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi.

2. Bendungan (*dam*)

Dam berfungsi menutup aliran sungai-sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan.

3. Bak Penenang (*Forebay*)

Bak penenang berfungsi untuk mengontrol perbedaan debit dalam pipa pesat (penstock) dan saluran pembawa karena fluktuasi beban, disamping itu juga sebagai pemindah sampah terakhir (tanah, pasir, dan kayu) dalam air yang mengalir. Bak penenang dilengkapi saringan (trashrack) dan pelimpas (spillway). Suwoto. G. (2012)

$$V_f = A_f \times h_f \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

V_f = Volume desain bak penenang (m^3)

A_f = Luas bak penenang (m^2)

h_f = Tinggi muka air pada bak penenang (m)

4. Saringan (*Sand trap*)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran-kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.

5. Pintu pengambilan air (*Intake*)

Pintu Pengambilan Air adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan.

6. Pipa pesat (*penstok*)

Penstock adalah saluran penghubung antara bak penenang (forebay) menuju turbin. Fungsinya untuk mengalirkan air dari saluran penghantar menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin. Konstruksinya harus diperhitungkan agar dapat menerima tekanan besar yang timbul termasuk tekanan dari pukulan air. Pipa pesat merupakan bagian yang cukup mahal, untuk itu pemilihan pipa yang tepat sangat penting. Pipa ini direncanakan untuk dapat menahan tekanan tinggi dan berfungsi untuk mengalirkan air dari pengambilan (intake) menuju bak penenang. Untuk mendapatkan diameter pipa dapat dihitung dengan persamaan padapersamaan 2.2. Suwoto. G. (2012).

$$v = Q/A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

A = Luas pipa pesat (m^2)

Q = Debit pembangkit (m^3/dt)

V = Kecepatan aliran pada pipa pesat (m/dt)

7. Katup utama (*main valve atau inlet valve*)

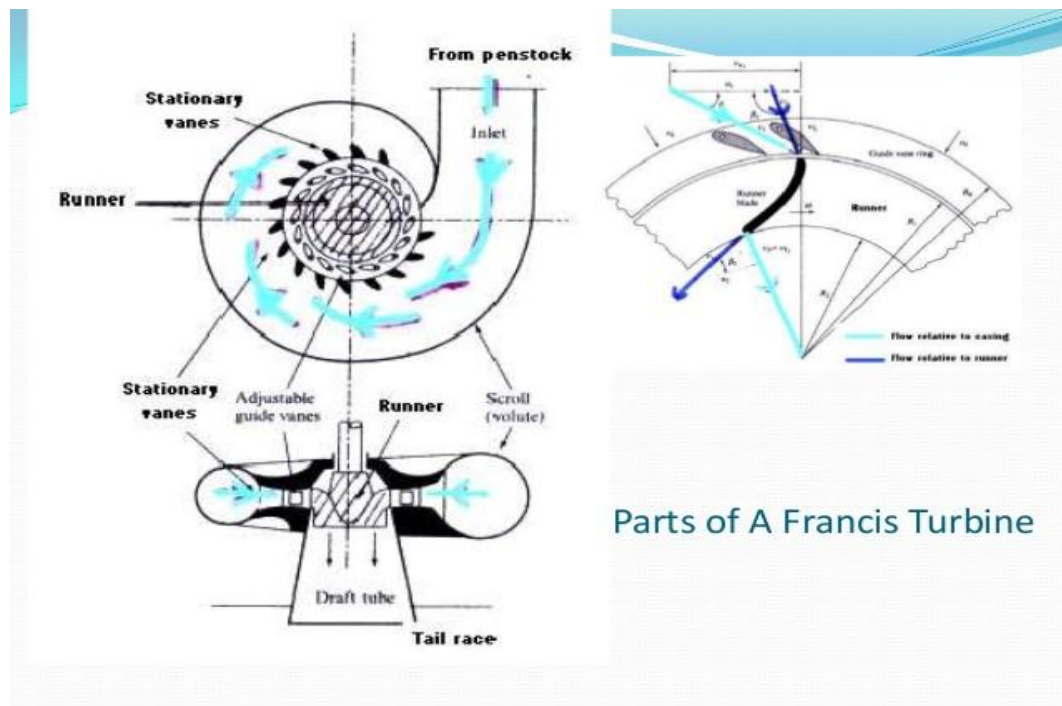
Katup utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, Menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

8. *Power House*

Gedung Sentral merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang control. Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit adalah :

a. Turbin

Turbin merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Pada gambar 2.6 contoh dari turbin francis yang cara kerjanya sama dengan turbin air yang diteliti pada penelitian saat ini.



Gambar 2.6 Turbin Francis. (Khurmi, 1977)

b. Generator

Generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam volt ampere (VA) atau dalam kilo volt ampere (kVA).

- c. Penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk, roda atau langsung pada porosnya.
- d. Sabuk atau puli digunakan jika putaran permenit (rpm) turbin belum memenuhi putaran motor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator.
- e. Roda gerigi mempunyai sifat Yang sama dengan puli.
- f. Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran motor pada generator.

2.2.5 Jenis-Jenis Turbin

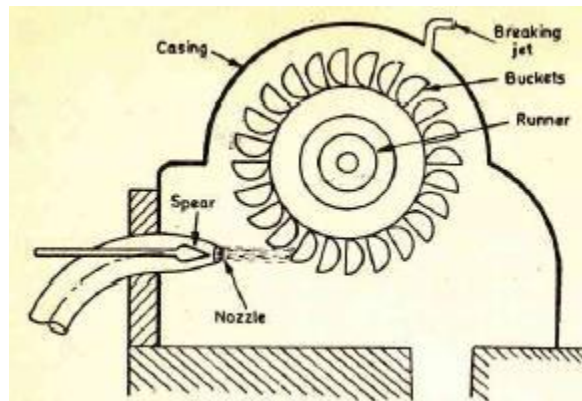
Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

a. Turbin impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerja mengubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozle*. Air keluar *nozle* yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo dan turbin *Cross-Flow*.

1. Turbin Pelton

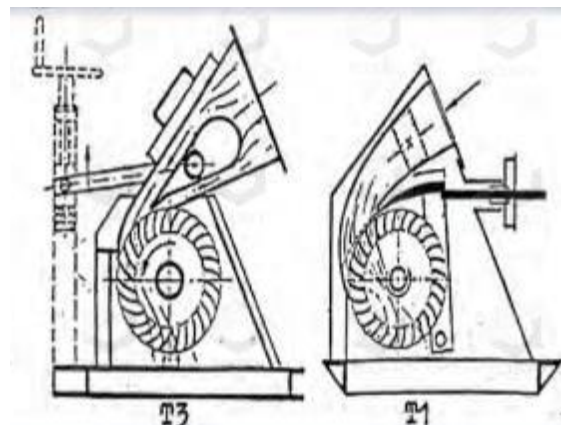
Turbin pelton tergolong ke dalam jenis turbin *impuls* (tekanan sama). Karena pada saat mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian *nozle*. Turbin pelton dapat dioperasikan pada *head* 50 s/d 1000 m. Bentuk turbin pelton dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Turbin Pleton (Haimerl, 1960)

2. Turbin *Cross-flow*

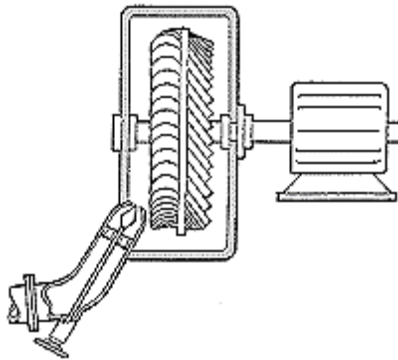
Turbin *Cross-Flow* merupakan turbin air jenis turbin impuls (*impulse turbine*). Pemakaian jenis Turbin *Cross-Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air atau jenis turbin *micro hidro* lainnya. Ukuran Turbin *Cross-Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Turbin *Cross-Flow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³/sec dan head antara 6 s/d 100 m. Bentuk turbin *Cross-Flow* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Turbin *Crossflow* (Haimerl, 1960)

3. Turbin Turgo

Turbin turgo sama seperti turbin pelton yang merupakan turbin impulse, tetapi sudunya berbeda namun untuk keuntungan dan kerugiannya sama. Turbin turgo dapat beroperasi pada head 50 s/d 250 m. Bentuk turbin turgo dapat dilihat pada gambar 2.9.



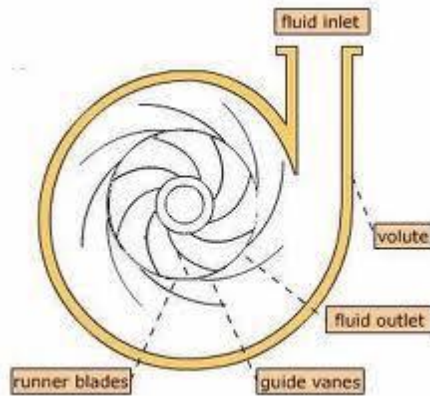
Gambar 2.9 Turbin Turgo (Khurmi, 1977)

b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang mengubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Sudu pada turbin reaksi mempunyai *profile* khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin.

1. Turbin Francis

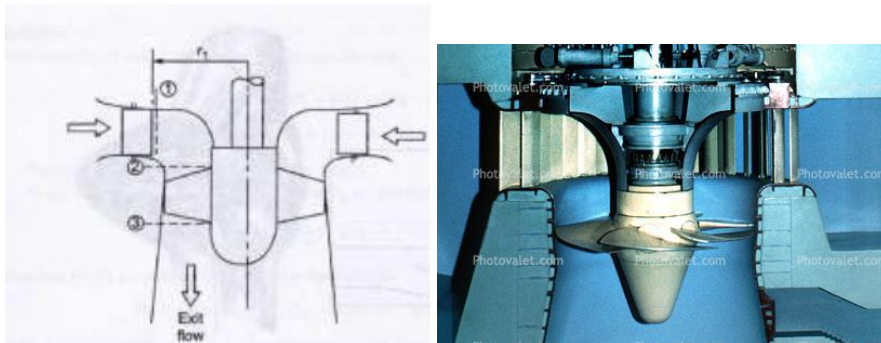
Turbin *Francis* merupakan salah satu turbin reaksi yang menggabungkan konsep aliran aksial dan aliran radial. Turbin dipasang antara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Turbin francis adalah turbin hidrolik digunakan pada PLTA dengan tinggi terjun sedang yaitu antara 10-350 meter. Bentuk turbin *Francis* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Turbin Francis (Khurmi, 1977)

2. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling-baling (*propeller*). Sudut sudu geraknya (*runner*) bisa diatur (*adjustable blade*) agar dapat disesuaikan dengan kondisi aliran saat itu yaitu perubahan debit air. Pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifiknya. Turbin Kaplan ini memiliki kecepatan spesifik tinggi. Turbin kaplan bekerja pada kondisi *head* rendah dengan debit besar. Turbin Kaplan ini dirancang untuk kondisi *head* 2 m sampai *head* 20 meter. Bentuk turbin kaplan dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Turbin Kaplan (Dixon, S. L., 2010)

2.2.6 Performasi Turbin Air

Secara umum diasumsikan turbin akan beroperasi pada head, kecepatan putar dan daya keluaran yang konstan. Namun secara aktual asumsi ini jarang berlangsung. Sehingga perlu meninjau ulang sifat dari variasi parameter berikut:

a. Karakteristik Turbin

Perbandingan performansi turbin yang daya keluaran dan kecepatan putar yang beroperasi pada head yang berbeda ini akan tepat dengan cara menghitung daya keluaran turbin dengan head air yang diset sama dengan 1 meter (head satuan). Ada 3 karakteristik suatu turbin pada suatu head satuan, yaitu:

1. Daya Satuan

Daya yang dihasilkan oleh suatu turbin yang bekerja pada head 1 meter dikenal sebagai Unit Power (Daya Satuan), dapat dicari dengan persamaan 2.3. Suwoto. G. (2012).

$$Pu = \frac{P}{h^{3/2}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

Pu = Daya turbin pada suatu head satuan (Watt)

H = head air dimana turbin beroperasi (m)

P = Daya yang dihasilkan turbin (watt)

2. Kecepatan Satuan

Kecepatan putar turbin yang bekerja pada head 1 meter dikenal sebagai kecepatan putar satuan (unit speed) dapat dihitung dengan persamaan 2.4. Suwoto. G. (2012).

$$Nu = \frac{N}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

Nu = Kecepatan putar turbin pada suatu head (rpm)

H = Head air dimana turbin beroperasi (m)

N = Kecepatan putar turbin pada head air (rpm)

3. Debit Satuan

Debit suatu turbin yang bekerja pada head 1 meter dikenal sebagai Debit Satuan (Unit Discharge), didapat dari persamaan 2.5. Suwoto. G. (2012).

$$Qu = \frac{Q}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

Qu = Debit turbin pada suatu head (m^3/s)

H = Head (m)

Q = Debit (m^3/s)

b. Kecepatan Spesifik untuk Turbin

Kecepatan putar spesifik suatu turbin didefinisikan sebagai kecepatan putar dari suatu turbin imajiner yang identik dengan turbin yang diberikan dan akan menghasilkan daya 1 HP pada suatu head satuan (1 meter). Kecepatan putar suatu turbin dapat dihitung dari persamaan 2.6. Suwoto. G. (2012).

$$Ns = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

Ns = Kecepatan putar spesifik turbin (rpm)

N = Kecepatan putar runner (rpm)

H = Head air dimana turbin bekerja (m)

P = Daya yang dihasilkan turbin(Watt)

Kecepatan Spesifik (N_s) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Kecepatan Spesifik (N_s) dapat dinyatakan dalam sistim metrik maupun sistim Inggris, korelasi dari kedua sistim tersebut dinyatakan dalam:

$$Ns \text{ (metrik)} = Ns \text{ (Inggris)} \times 4.42 \dots\dots\dots(2.7)$$

Catatan: Satuan daya yang digunakan dalam rumus di atas adalah daya kuda (DK) atau horse-power (HP).

c. Torsi

Torsi adalah tenaga untuk menggerakkan, menarik atau menjalankan sesuatu (pulling power). Torsi dapat dicari dari persamaan 2.7. Suwoto. G. (2012).

$$T = r \times F \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

T = Torsi (N.m)

r = jari – jari (m)

F = Gaya (N)

d. Daya Hidraulik

Daya hidrolik adalah daya yang dimiliki oleh air yang mengalir dari tempat yang tinggi ketempat yang rendah. Dapat dicari dengan persamaan 2.8. Suwoto. G. (2012).

$$P_{ht} = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan:

P_{ht} = daya hidrolik (Watt)

ρ = Densitas air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = debit air (m^3/s)

H = tinggi jatuh air (m)

e. Daya mekanik

Adalah daya yang dihasilkan pada poros turbin didapat dengan persamaan 2.9. Suwoto. G. (2012).

$$P_t = \frac{2\pi n}{60} T \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

P_t = Daya mekanik (Watt)

T = Torsi (N.m)

π = 3,14

n = kecepatan putar (rpm)

f. Efisiensi turbin

Efisiensi turbin merupakan perbandingan daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin dengan daya hidrolik yang digunakan untuk menggerakkan turbin, dapat dihitung dengan persamaan 2.10. Suwoto. G. (2012).

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_{ht}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan:

η_t = Efisiensi turbin (%)

P_m = Daya mekanik (Watt)

P_{ht} = Daya hidrolik air (Watt)

g. Seleksi awal jenis Turbin

Seleksi awal dari jenis turbin yang cocok untuk suatu keperluan paling tepat dilakukan dengan menggunakan Kecepatan Spesifik (N_s). Dalam Tabel 1.1 disajikan nilai Kecepatan Spesifik (N_s) untuk berbagai jenis turbin. Tabel 1.1 dapat digunakan sebagai panduan awal dalam pemilihan jenis turbin yang tepat untuk nilai N_s tertentu. Nilai N_s yang tercantum dalam Tabel 1.1 bukan nilai yang eksak.

Untuk setiap jenis turbin terdapat suatu nilai kisaran tinggi terjun dan kecepatan spesifik yang sesuai. Korelasi empiris antara tinggi terjun (H) dan kecepatan spesifik (N_s) disajikan di bawah ini.

Untuk turbin Francis, Moody memperoleh korelasi sebagai berikut:

$$N_s = \frac{6803}{H+9.75} + 84 \dots\dots\dots(2.11)$$

sedangkan untuk turbin propeller, Moody memperoleh korelasi sebagai berikut:

$$N_s = \frac{6803}{H+9.75} + 155 \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk turbin Francis, White menyarankan korelasi sebagai berikut:

$$N_s = \frac{1542}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan H adalah tinggi terjun netto (m) dan N_s adalah kecepatan spesifik metrik.

Tabel 2.2. Jenis Turbin Air dan Kisaran Kecepatan Spesifiknya (N_s). (Khurmi, 1977)

Jenis Turbin		N_s (metrik)
1. Turbin Impuls	a. Satu jet (turbin Pelton)	4–30
	b. Banyak jet (turbin Doble)	30–70
2. Turbin Reaksi	a. Francis	
	N_s rendah	50–125
	N_s normal	125–200
	N_s tinggi	200–350
	N_s express	350–500
	b. Propeller	
	Sudu tetap (turbin Nagler)	400–800
	Sudu dapat diatur (turbin Kaplan)	500–1000

2.3 Sungai

2.3.1 Karakteristik Sungai

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sungai itu dapat digunakan juga untuk berjenis-jenis aspek seperti pembangkit tenaga listrik, pelayaran, pariwisata, perikanan dan lain-lain. Dalam bidang pertanian sungai itu berfungsi sebagai sumber air yang sangat penting untuk irigasi.

2.3.2 Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran sebuah sungai adalah tempat presipitasi itu mengkonsentrasi ke sungai. Garis batas daerah-daerah aliran yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi. Daerah pengaliran, topografi, tumbuh-tumbuhan dan geologi mempunyai pengaruh terhadap debit banjir, corak banjir, debit pengaliran dasar dan seterusnya (Suyono,1999).

2.4 Bangunan Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya yang dihasilkan adalah suatu persentase atau bagian hasil perkalian tinggi terjun dengan debit air. Oleh karena itu berhasilnya pembangkit listrik dengan tenaga air tergantung dari usaha untuk mendapatkan tinggi terjun air yang cukup dan debit yang cukup besar secara efektif dan produktif. Tenaga air (Dandekar, 1991) merupakan sumber daya terpenting setelah tenaga uap/panas. Hampir 30% dari seluruh kebutuhan tenaga di dunia dipenuhi oleh pusat-pusat listrik tenaga air. Tenaga air mempunyai beberapa keuntungan seperti berikut :

1. Bahan bakar (air) untuk PLTA tidak habis terpakai ataupun berubah menjadi sesuatu yang lain.
2. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTA sangat rendah jika dibandingkan dengan PLTU dan PLTN.
3. Turbin-turbin pada PLTA bisa dioperasikan atau dihentikan pengoperasiannya setiap saat.
4. PLTA cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah untuk dioperasikan.
5. PLTA dengan memanfaatkan arus sungai dapat bermanfaat menjadi sarana pariwisata dan perikanan, sedangkan jika diperlukan waduk untuk keperluan tersebut dapat dimanfaatkan pula sebagai irigasi dan pengendali banjir.

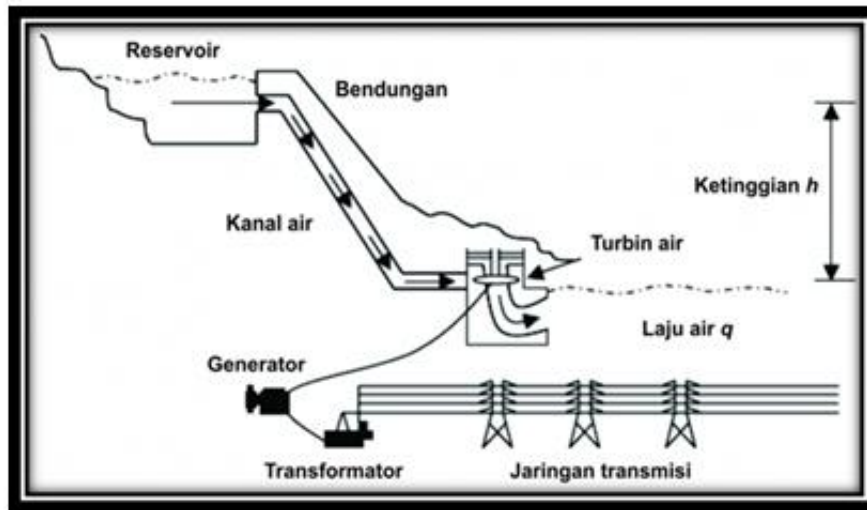
Adapun kelemahan PLTA diantaranya :

Rendahnya laju pengembalian modal proyek PLTA.

1. Masa persiapan suatu proyek PLTA pada umumnya memakan waktu yang cukup lama.
2. PLTA sangat tergantung pada aliran sungai secara alamiah. Untuk

PLTA jenis bendungan terdiri dari bagian-bagian berikut :

- a. Bendungan (*dam*) lengkap dengan pintu pelimpah air (*spillway*) serta bendung yang terbentuk di hulu sungai.
- b. Bagian penyalur air (*waterway*)
 1. Bagian penyiapan air (*intake*)
 2. Pipa atau terowongan tekan (*headrace pipe/tunnel*)
 3. Tangki pendatar atau sumur peredam (*surgetank*)
 4. Pipa pesat (*penstock*)
 5. Bagian pusat tenaga (*power house*) yang mencakup turbin dan generator pembangkit listrik
 6. Bagian yang menampung air keluar dari turbin untuk dikembalikan ke aliran sungai (*tail race*)
- c. Bagian elektromekanik, yaitu peralatan yang terdapat pada pusat tenaga (*power station*) meliputi turbin, generator, crane dan lain-lain. Besarnya daya yang dihasilkan merupakan fungsi dari besarnya debit sungai dan tinggi terjun air. Besarnya debit yang dipakai sebagai debit rencana, bisa merupakan debit minimum dari sungai tersebut sepanjang tahunnya atau diambil antara debit minimum dan maksimum, tergantung fungsi yang direncanakan PLTA tersebut. Besarnya tinggi terjun air terikat pada kondisi geografis di mana PLTA tersebut berada. Panjangnya lintasan yang harus dilalui air dari bendungan ke turbin menyebabkan hilangnya sebagian energi air, energi air yang tersisa (tinggi terjun efektif) inilah yang menggerakkan turbin air dan kemudian turbin air ini yang menggerakkan generator. Besarnya daya yang dihasilkan juga tergantung dari efisiensi keseluruhan (*overall efficiency*) PLTA tersebut yang terdiri dari efisiensi hidrolis, yaitu perbandingan antara energi efektif dan energi kotor (bruto), efisiensi turbin dan efisiensi generator.



Gambar 2.12 Perencanaan Tenaga Air. (Khurmi, 1977)

Kehilangan energi pada terowongan tekan disebabkan oleh dua hal, yaitu kehilangan energi akibat gesekan (primer) dan kehilangan energi akibat turbulensi (sekunder) pada pemasukan, pengeluaran dan belokan-belokan dan katub atau pintu serta perubahan penampang saluran.

- a. Kehilangan energi akibat gesekan (primer)
- b. Kehilangan energi sekunder

Besarnya kehilangan tinggi energi ini dihitung sebagai kehilangan produksi listrik per tahun dengan memasukkan harga listrik perKWH.

Untuk menekan besarnya kehilangan energi, maka dilakukan upaya untuk memperkecil yaitu dengan cara :

- a. Pelapisan dan penghalusan (lining) permukaan saluran,
- b. Memperbesar profil saluran, Menghindari kemungkinan belokan-belokan dan perubahan profil.