BAB II

STUDI AWAL

2.1 Karya yang Berkaitan

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang mengunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resources) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari istalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil yang memanfatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan.

Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun bisa dibayangkan bahwa Mikrohidro pasti menggunakan air sebagai sumber energinya.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dipilih

renewable energy (dapat diperbaharui), tidak konsumtif terhadap pemakaian air, long life (tahan lama) dan biaya operasinya kecil sesuai daerah terpencil. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) juga berpotensi sebagai penguat pola pengelelolaan hutan secara modern bagi masyarakat untuk merestorasi lingkungan dan sumber daya hutan. Upaya pengembangan Mikrohidro adalah upaya konstrukstif untuk mengajak masyarakat peduli terhadap lingkungan.

Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (flow capacity) sedangan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah head. Mikrohidro juga dikenal sebagai white resources dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "energi putih". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini mengunakan 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

2.1.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Prinsip Kerja Mikrohidro yang membendung aliran air sungai yaitu pada PLTMH 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 menggerakan generator dan menghasilkan listrik.

Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendungan ini dapat berupa bendungan beton atau bendungan beronjong. Bendungan perlu dilengkapi dengan pintu air dan saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran atau endapan lumpur. Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir. Di dekat bendungan dibangun bangunan pengambilan (intake) kemudian pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari intake. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Di ujung saluran pelimpah dibangun kolam pengendap. Kolam ini berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran

dengan memperdalam dan memperlebar saluran penghantar dan menambahnya dengan saluran penguras. Kolam penenang (forebay) juga dibangun untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat (penstok). Saluran ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat. Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini energi potensial air di kolam penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol lalu di las untuk sambungan antar pipa digunakan flens Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamis. Pondasi dan susukan ini diusahakan selurus mungkin karena perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah. Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakan dalam sebuah rumah tangga yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuanya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan. Setelah keluar dari pipa pesat air akan memasuki turbin pada bagian inlet. Didalamnya terdapat guided vane untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke runner/blade (komponen utama

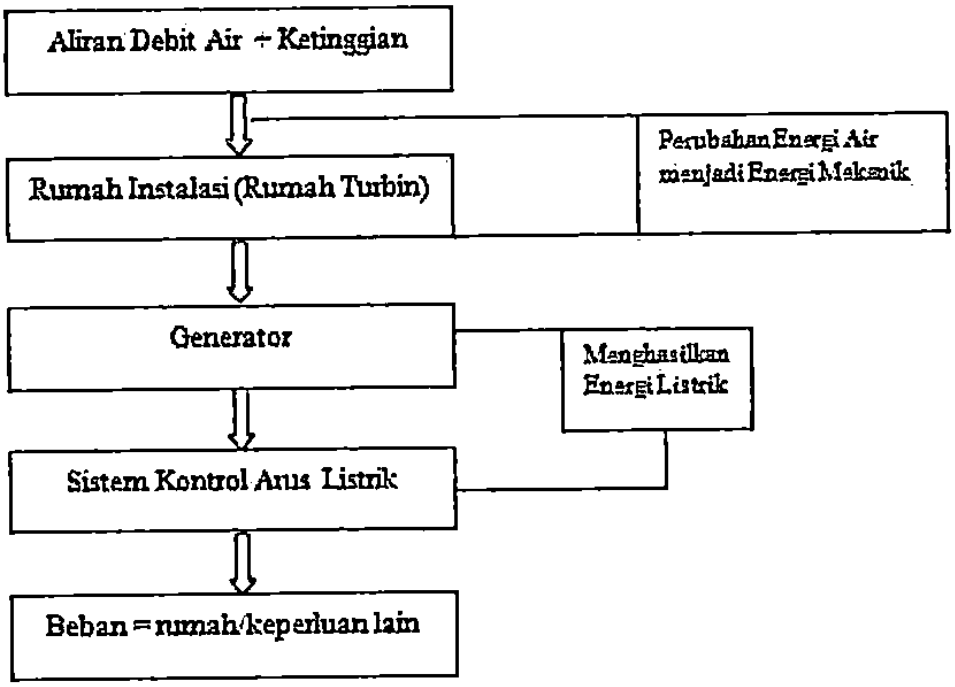
dilas pada 2 buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar runner dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. Seluruh sistem ini harus balance. Turbin perlu dilengkapi casing yang berfungsi mengarahkan air ke runner. Pada bagian bawah casing terdapat pengunci turbin. Bantalan (bearing) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar. Daya poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik. Generator yang dapat digunakan pada Mikrohidro adalah generator sinkron dan generator induksi. Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung (daya poros langsung dihubungkan dengan poros generator dengan bantuan kopling) atau sistem transmisi daya tidak langsung yaitu menggunakan belt atau sabuk untuk memindahkan daya antara 2 poros sejajar. Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat dan efesiensinya lebih tinggi. Tetapi sumbu poros harus benar-benar lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros turbin. Masalah ketidaklurusan sumbu dapat diatasi dengan bantuan kopling fleksibel. Gearbox dapat digunakan untuk mengoreksi rasio kecepatan putaran. Sistem transmisi tidak langsung memungkinkan [illegible] dalam penggunaan generator secara lebih luas

karena kecepatan putaran poros generator tidak perlu sama dengan kecepatan putaran poros turbin. Jenis sabuk yang digunakan PLTMH adalah flat belt diatas 20 kW sedang v-belt digunakan untuk skala dibawah 20 kW komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah pulley, bantalan dan kopling. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel pada tiang-tiang listrik menuju rumah konsumen.

2.1.3 Prinsip Kerja Sistem Mikrohidro

Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin sendiri dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan mengunakan kopling lalu dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban).

Di bawah ini merupakan gambar Skema Proses Mikrohidro



Gambar 2.0 – Skema Proses Mikrohidro

2.1.4 Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro antara lain:

1. Aliran Air.

Air adalah zat atau materi atau unsur yang penting bagi semua bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi. Air menutupi hampir 71% permukaan bumi. Terdapat 1,4 triliun kilometer kubik (330 juta mil^3) tersedia di bumi.

Air sebagian besar terdapat di laut (air asin) dan pada lapisan-lapisan es (di kutub dan puncak-puncak gunung), akan

tetapi juga dapat hadir sebagai awan, hujan, sungai, muka air tawar, danau, uap air dan lautan es.

Pengelolaan sumber daya air yang kurang baik dapat menyebakan kekurangan air, monopolisasi serta privatisasi dan bahkan menyulut konflik. Indonesia telah memiliki undang-undang yang mengatur sumber daya air sejak tahun 2004, yakni Undang Undang nomor 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.

Air dalam jumlah besar yang dapat menciptakan tinggi jatuh air karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Selain itu bendungan juga dapat digunakan untuk menyimpan energi.

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. Sejak awal abad 18, kincir air banyak dimanfaatkan sebagai penggerak penggilingan gandum, [illegible] kayu dan mesin tekstil. Memasuki abad 19, turbin

Energi air adalah energi yang telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang dalam skala besar telah digunakan sebagai pembangkit listrik.

Teknologi sekarang ini, energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik.

2. Turbin Air.

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "asembli rotor-blade". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air. Sebuah turbin yang bekerja terbalik disebut kompresor atau pompa turbo.

Turbin gas, uap dan air biasanya memiliki "casing" sekitar baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluid. "Casing" dan baling-baling mungkin memiliki geometri variabel yang dapat membuat operasi efisien untuk beberapa kondisi aliran fluid. Energi diperoleh dalam bentuk tenaga "shaft" berputar.

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin dapat berputar. Perputaran turbin ini dihubungkan ke generator.

Energi yang digunakan untuk menggerakkan turbin didapatkan dari dua cara:

a. Dengan head: memanfaatkan beda ketinggian permukaan air (energi potensial sungai).

b. Tanpa head: memanfaatkan aliran sungai (energi kinetik sungai).

Dimana head adalah jarak vertikal atau besarnya ketinggian jatuhnya air. Semakin besar head umumnya akan semakin baik karena air yang dibutuhkan semakin sedikit dan peralatan semakin kecil serta turbin bergerak dengan kecepatan tinggi.

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Di bawah ini merupakan Tabel

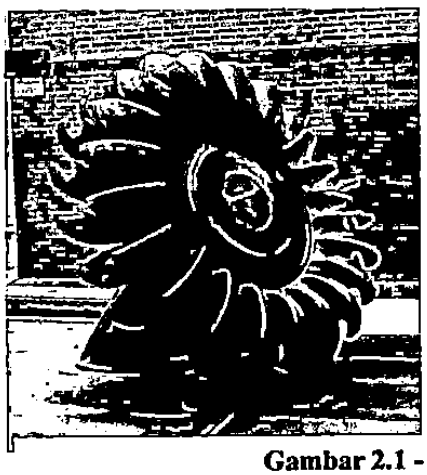
Tabel 2.1 – Pengelompokan Turbin

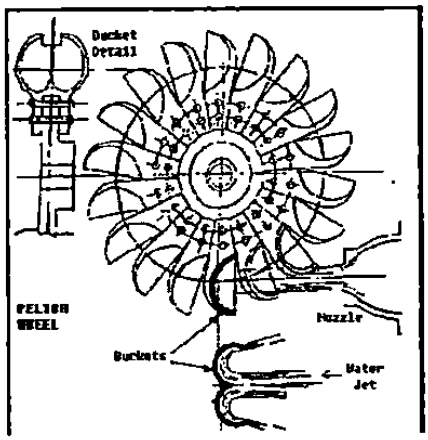
(Sumber: http://komunitasteknik. blogspot.com/2010/02/panduanpltmh.html)

	High Head	Medium Head	Low Head
Impulse Turbines	Pelton Turgo	Cross-Flow Multi Jet Pelton Turgo	Cross-Flow
Reaction Turbines		Francis	Propeller Kaplan

a. Turbin Impuls.

Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfir sekitarnya. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozel. Air keluar nozel 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 dirubah menjadi energi kecepatan. Jenis-jenis Turbin Impuls dibedakan sesuai dengan tinggi rendahnya head, antara lain:





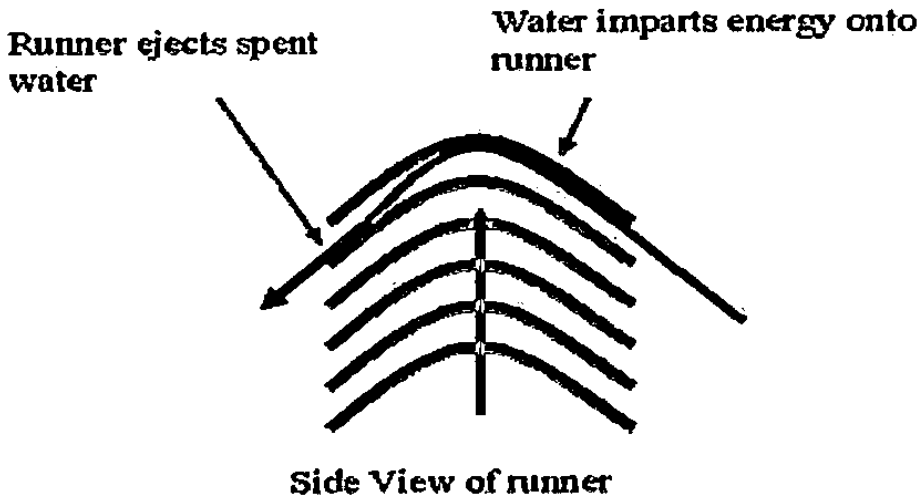
Gambar 2.1 - Turbin Pelton

Sumber: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pelton_wheel_turbine_in_Barcelona.jpg dan

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 nozel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.

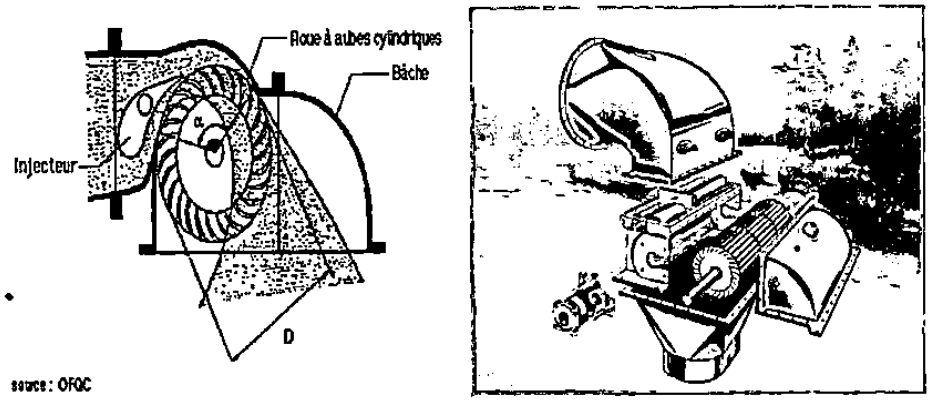
Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehinga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping dan untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nozel sehingga diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil.

Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan head lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro head 20 meter sudah mencukupi.



Gambar 2.2 - Turbin Turgo dan Turgo Runner
Sumber:http://4.bp.blogspot.com/_OuxEWQu7tiQ/S62NbVhzMzI/AAAAAAAAAPY/CK2gl2cOI08/s1600/7.jpg dan
http://www.novolta.com.au/_images/runner.jpg

Turbin Turgo merupakan Turbin Impuls sama halnya dengan Turbin Pelton tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari nozel membentur sudu pada sudut 20°. Kecepatan putar Turbin Turgo lebih besar dari Turbin Pelton yang akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Turbin Turgo dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m.



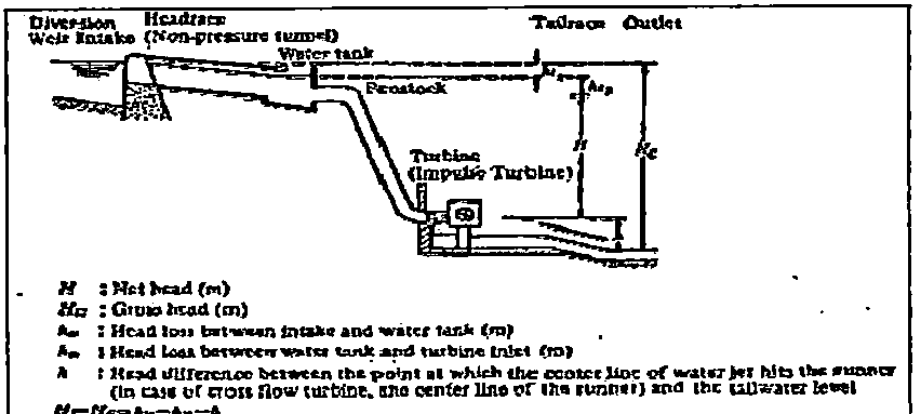
Gambar 2.3 - Turbin Cross Flow
Sumber: http://www.hydroroues.fr/images/crossflow.gif dan

Salah satu jenis Turbin Impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi Turbin Crossflow. Turbin Crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m^3/sec dan head antara 1 s/d 200 m.

Turbin Crossflow menggunakan nozel 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. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

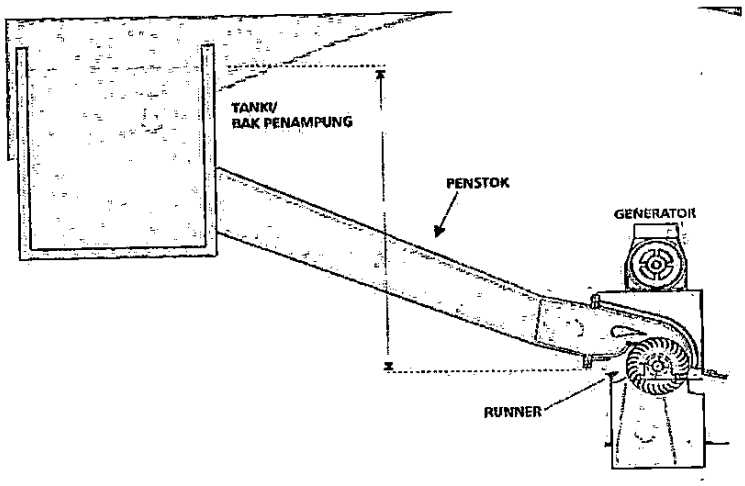
Banyak kemudahan yang bisa didapatkan dari turbin ini tidak hanya pembuatannya yang mudah dan murah, perawatannya pun tidak mahal dan tidak susah.

Di bawah ini merupakan gambar 2.4 sketsa tinggi energi efektif Turbin Crossflow (Aliran Silang) yaitu:



Pada Turbin Crossflow (Aliran Silang), tinggi energi efektif (H_{Eff}) dihitung dari beda tinggi antara muka air di bak penenang dan poros runner turbin dikurangi kehilangan energi antar bak penenang dan sumbu runner (ΔH).

Adapun di bawah ini merupakan gambar sketsa Turbin Cross Flow:

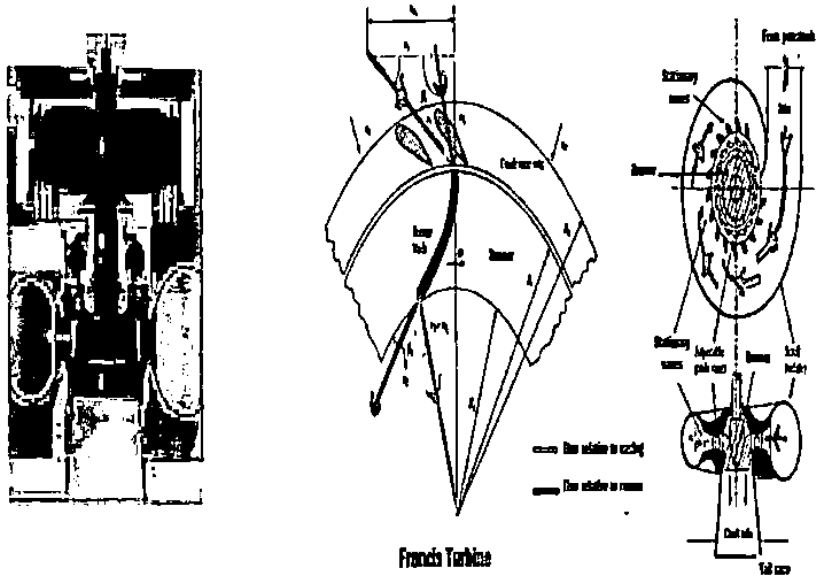


Gambar 2.5 – Sketsa Turbin Cross Flow

Sumber:http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:An3rbP6XlU0J:balitbang.pu.go.id/saritek/saritek%2520pusair/9.mikrohidro%2520fix.pdf+turbin+propeller&hl=id&gl=id&pid=bl&srcid=ADGEESiV83YUGE3c192-JD5Ne_dIPQU9b2aRAsjchZC4ZIBDoFTW977CjdSsRWIavXZw_7sVXqYqIrpYCbZ5Phd_Z9tLv4GAbzzULOVrtvN7zz93pJmJKDk93mRZCL3zKtxWiK_a4MYH&sig=AHIEtbQ2PCeAGeHFqwOp2XOB-aju1ub4BA

b. Turbin Reaksi.

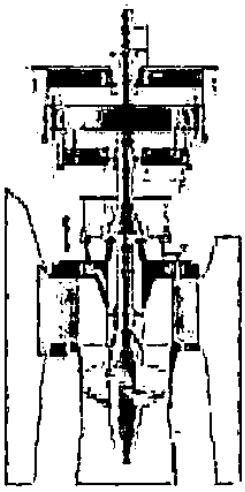
Sudu pada Turbin Reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai Turbin Reaksi. Runner Turbin Reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

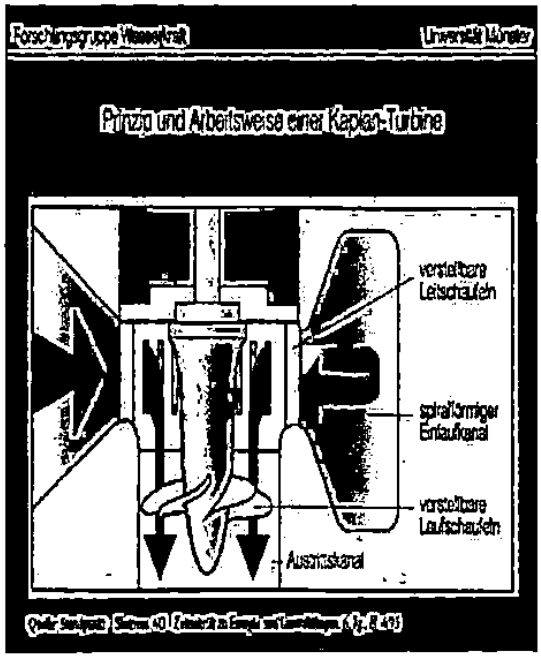


Gambar 2.6 - Turbin Francis
Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/francis_turbine
http://yefrichan.files.wordpress.com/2010/05/turbin-francis.jpg dan

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 terdiri dari sudu - sudu pengarah dan sudu jalan yang keduanya terendam dalam air. Turbin jenis ini menggunakan saluran berbentuk rumah

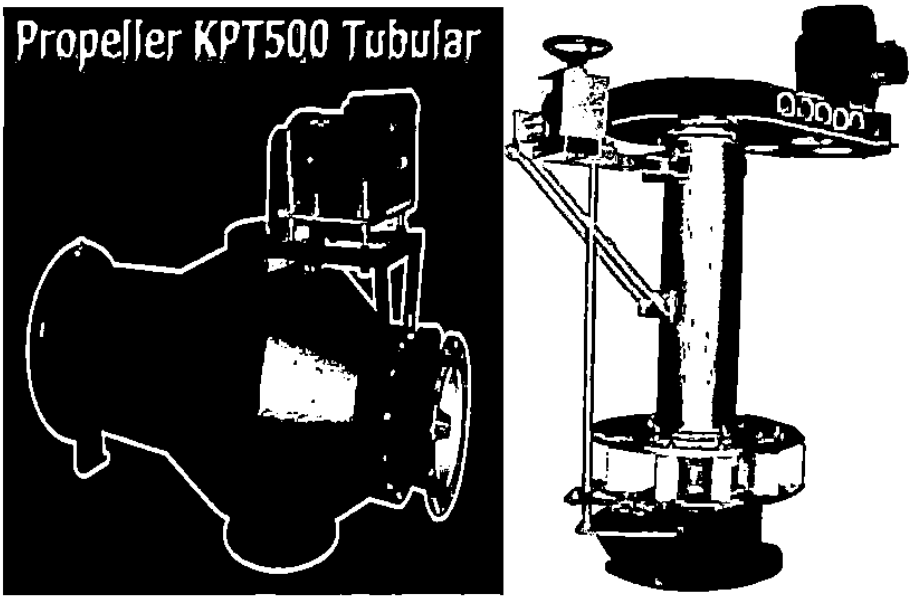
Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada Turbin Francis dapat merupakan suatu sudu - sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air, penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.





Gambar 2.7 - Turbin Kaplan
Sumber: http://www.scribd.com/doc/34547383/Makalah-Turbin-Air dan http://www.jfccivilengineer.com/images/turbin6.gif

Turbin Kaplan seperti baling-baling kipas angin listrik. Kelengkungan sudu, jumlah sudu dan belokan air dalam sudu pada Turbin Kaplan lebih kecil jika dibandingkan dengan Turbin Francis karena turbin ini digunakan pada kapasitas aliran yang besar



Gambar 2.8 – Turbin Propeller
Sumber: http://w14.itrademarket.com/pdimage/67/1614267_propellerkpt500-tubular.jpg dan http://www.hanjuang.co.id/wp-content/uploads/2010/10/POF12.png

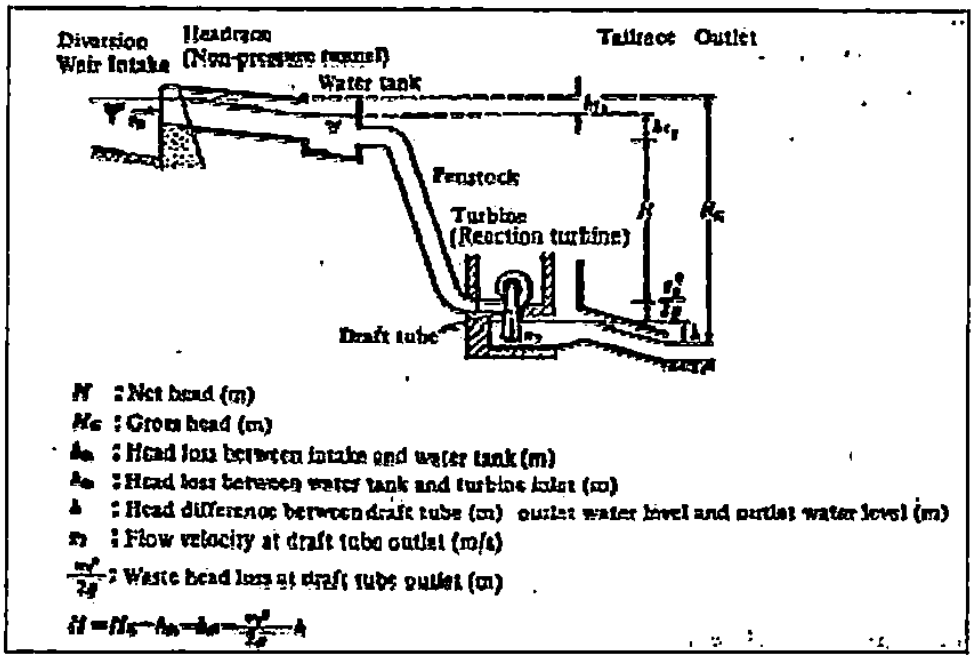
Pada Turbin Propeller:

a. Sudut tetap (fixed blade),turbin jenis ini merupakan turbin generasi pertamadari jenis ini karena sudu tidak dapat diatur, maka efisiensinya berkurang jika digunakan pada kisaran debit yang lebar. Oleh karena itu, dikembangkan jenis dengan sudu yang dapat diatur agar efisiensi tetap tinggi walaupun kisaran debitnya lebar.

b. Sudut dapat diatur (adjustable blade), contoh Kaplan, Nagler, Bulb, Moody

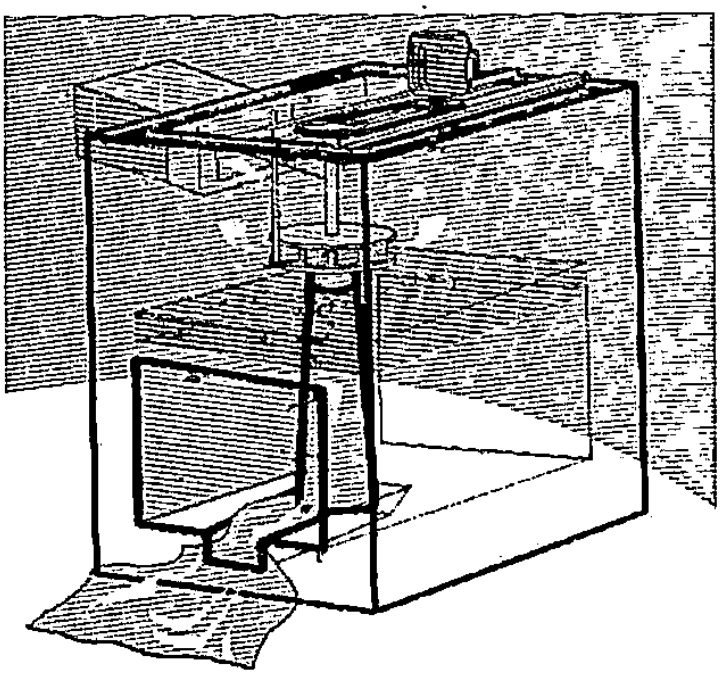
Turbin Kaplan dan Propeller merupakan Turbin Reaksi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari Propeller seperti pada perahu.

Di bawah ini merupakan *gambar 2.9 sketsa tinggi energi efektif Turbin Propeller* yaitu:



Pada Turbin Propeller, tinggi energi efektif (H_{Eff}) dihitung dari beda tinggi antara muka air di bak penenang dan muka air di hilir dikurangi dengan kehilangan energi antar bak penenang dan propeller (ΔH) serta kehilangan energi pada outlet pipa hisap (draft tube).

Adapun di bawah ini merupakan sketsa Turbin Propeller



Gambar 2.10 – Sketsa Turbin Propeller

Sumber:http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:An3rbP6XlU0J:balitbang.pu.go.id/saritek/saritek%2520pusair/9.mikrohidro%2520fix.pdf+turbin+propeller&hl=id&gl=id&pid=bl&srcid=ADGEESiV83YUGE3c192-JD5Ne_dIPQU9b2aRAsjchZC4ZIBDoFTW977CjdSsRWIavXZw_7sVXqYqIrpYCbZ5Phd_Z9tLv4GAbzzULOVrtvN7zz93pJmJKDk93mRZCL3zKtxWiK_a4MYH&sig=AHIEtbQ2PCeAGeHFqwOp2XOB-aju1ub4BA

Secara garis besar perbedaan antara kedua jenis turbin impulse dan turbin reaksi adalah sebagaimana dicantumkan pada Tabel Perbedaan Turbin Impuls dan Turbin Reaksi., di bawah ini:

Tabel 2.2 – Perbedaan Turbin Impuls dan Turbin Reaksi

(Sumber: mata kuliah proyek kompetisi, "Pemanfaatan Mikrohidro sebagai Pembangkit Energi Listrik pada Skala Rumah Tangga", UGM 2008)

Jenis Turbin	Turbin Impulse	Turbin Reaksi
Keunggulan	Efisien pada head tingi. Tidak terpengaruh oleh pengotor air.	Hasil lebih besar . Efisiean pada head rendah.
Kelemahan	Tidak optimal pada head yang rendah.	Perawatan susah dan mahal.

3. Generator.

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan tetapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal tetapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air yang menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya.

Generator dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi elektrik atau listrik.

Generator merupakan alat untuk mengubah daya poros turbin menjadi energi listrik. Pada mikrohidro umumnya digunakan Generator Sinkron dan Generator Induksi sebagai generator sehingga secara umum ada dua jenis generator yang digunakan ada PLTMH yaitu Generator Sinkron dan Generator Induksi.

Generator Sinkron bekerja pada kecepatan yang berubah-

digunakan speed governor elektronik. Generator jenis ini dapat digunakan secara langsung dan tidak membutuhkan jaringan listrik lain sebagai penggerak awal. Sangat cocok digunakan di desa terpencil dengan sistem isolasi (Modak, 2002).

Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan.

Pada Generator Induksi tidak diperlukan sistem pengaturan tegangan dan kecepatan. Namun demikian, jenis generator ini tidak dapat bekerja sendiri karena memerlukan suatu sistem jaringan listrik sebagai penggerak awal (Modak, 2002). Generator jenis ini lebih cocok digunakan untuk daerah yang telah dilalui jaringan listrik (Grid System).

Batasan umum generator untuk mini-mikrohidro power (Modak, 2002) adalah :

Output = 50 kVA sampai dengan 6250 kVA

Voltage = 415, 3300, 6600, dan 11000 Volt

Speed = 375 – 750 RPM

Terdapat beberapa tipe Generator Sinkron tetapi yang

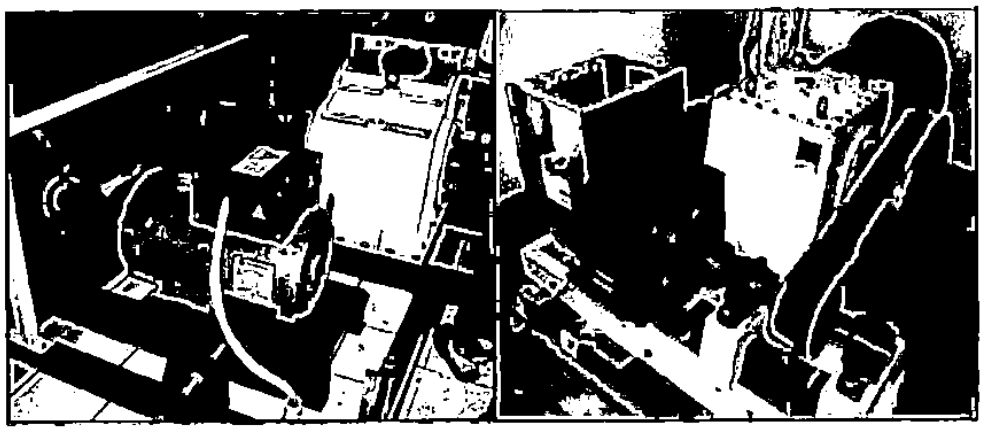
merupakan Generator Sinkron tipe kutub di dalam (internal poles), dimana medan magnetiknya terletak pada rotor dan daya listrik yang dibangkitkan melalui kumparan statornya, eksitasi sendiri (self excited generator) dengan konstruksi rotor kutub menonjol (salient poles). Meskipun Generator Sinkron dengan eksitasi melalui slips ring dan sikat karbon masih tersedia dipasaran tetapi sebaiknya dihindari untuk dipakai pada PLTMH karena membutuhkan banyak perawatan dan pergantian secara berkala sikat karbon tersebut.

Prinsip kerja Generator Sinkron secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut:

Arus DC (arus searah) yang mengalir pada kumparan rotor (bagian dari generator yang tidak berputar) akan menciptakan medan magnetik homogen, apabila rotor yang dihubungkan dengan generator tersebut dihubungkan dengan kecepatan konstan maka pada putaran stator akan membangkitkan tegangan induksi (tegangan bolak-balik), pada generator penguatan sendiri (eksitasi sendiri), arus DC akan disuplai oleh stator, besarnya arus listrik diatur melalui AVR (Automatic Voltage Regulator).

Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (belt) ataupun sistem gear box. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis flat belt sedangkan V belt digunakan untuk skala di

bawah 20 kW. Yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan sehingga generator yang dipakai tidak terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada.

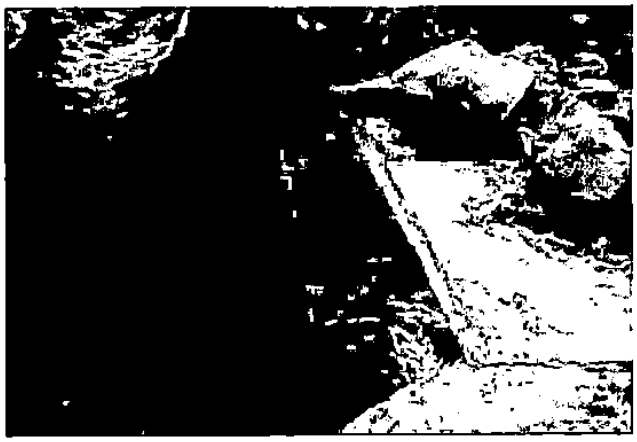


Gambar 2.11 – Generator
Sumber:http://ccitonline.com/mekanikal/show_image.php?name=Generator%20Sinkron.JPG dan http://3.bp.blogspot.com/_jqFxKzwEbD8/SNkrC59Qr-I/AAAAAAAAAOg/_P4TNxRBUZM/s320/turbin+%26+generator+2.png

Selain itu ada beberapa komponen yang menunjang pada Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) tersebut antara lain:

1. Diversion Weir dan Intake (Dam/Bendungan Pengalih dan Intake).

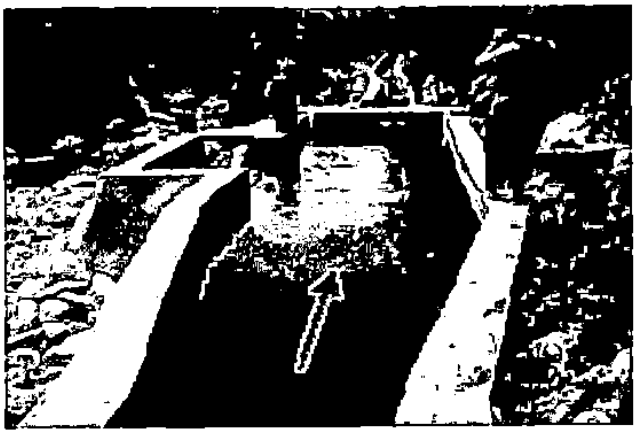
Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ('Intake' pembuka) ke dalam sebuah bak pengendap (Settling Basin)



Gambar 2.12 – DAM
Sumber: http://pltmh.blogspot.com/2008/05/latar-belakang-mikro-hidro.html

2. *Settling Basin (Bak Pengendap).*

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.



Gambar 2.13 – Bak Pengendap

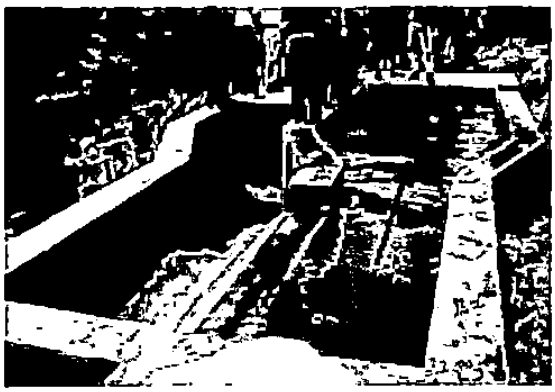
3. *Headrace (Saluran Pembawa).*

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.

Gambar 2.14 – Saluran Pembawa
Sumber: http://pltmh.blogspot.com/2008/05/latar-belakang-mikro-hidro.html

4. *Headtank (Bak Penenang).*

Fungsi dari bak penenang adalah untuk mengatur perbedaan keluaran air antara sebuah penstock (pipa pesat) dan headrace dan untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan.



Gambar 2.15 – Bak Penenang

5. *Penstock (Pipa Pesat).*

Penstock dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah *Turbin.*

Gambar 2.16 – Pipa Pesat
Sumber: http://pltmh.blogspot.com/2008/05/latar-belakang-mikro-hidro.html

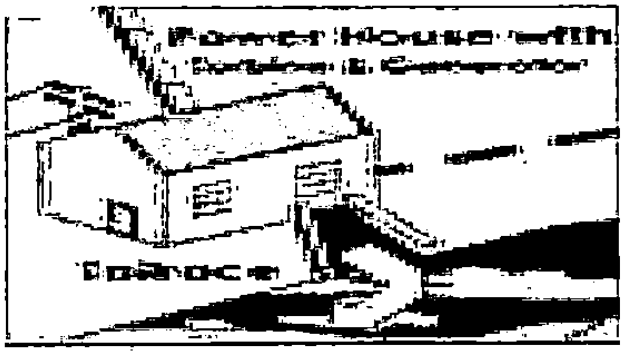
6. *Power House (Rumah Pembangkit).*

Adalah rumah tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH. Peralatan Mekanik seperti Turbin dan Generator berada dalam Rumah Pembangkit, demikian pula peralatan elektrik seperti kontroler.

Gambar 2.17 – Rumah Pembangkit

7. Saluran Buang (Tailrace).

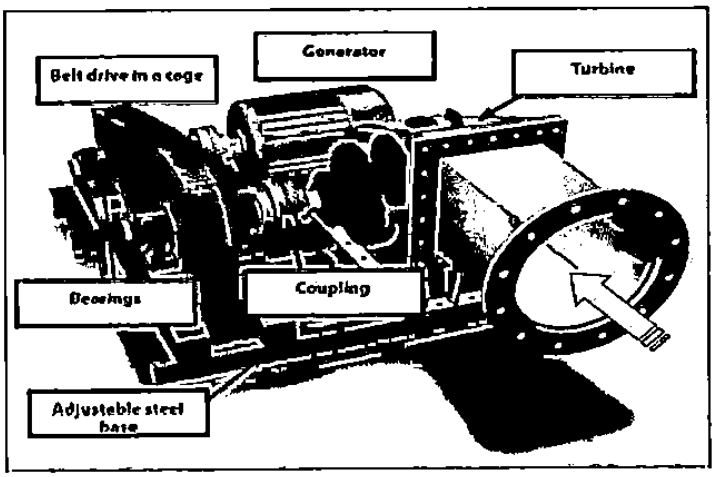
Setelah memutar turbin air selanjutnya dikembalikan lagi ke sungai melalui saluran khusus yang disebut Trail race.



Gambar 2.18 – Saluran Buang
Sumber: http://shalahuddin-hasan.blogspot.com/2010/11/pembangkit-listrik-micro-hydro-mini.html

8. Turbine dan Generator (Turbin dan Generator).

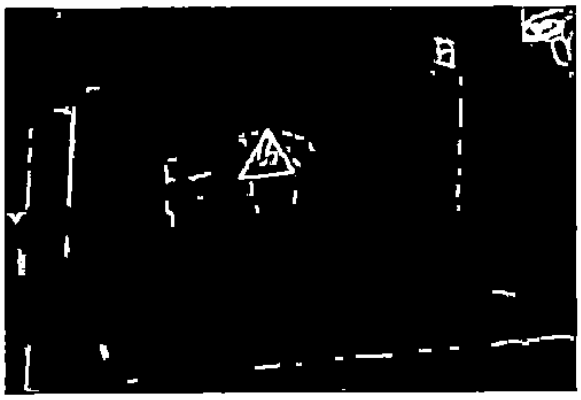
Perputaran gagang dari roda dapat digunakan untuk memutar sebuah alat mekanikal (seperti sebuah penggilingan biji, pemeras minyak, mesin bubut kayu dan sebagainya) atau untuk mengoperasikan sebuah generator listrik. Mesin-mesin atau alat-alat yang diberi tenaga oleh skema hidro disebut dengan "*Beban*" (Load).



Gambar 2.19 – Turbin & Generator

9. Panel atau Peralatan Pengontrol Listrik.

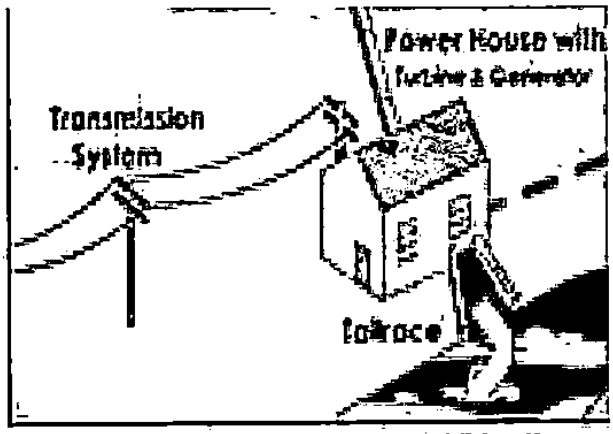
Biasanya berbentuk kotak yang ditempel di dinding. Berisi peralatan elektronik untuk mengatur listrik yang dihasilkan Generator. Panel termasuk alat elektrik.



Gambar 2.20 - Panel
Sumber: YouTube – Indonesia - Mikrohidro Menerangi Desa Terpencil

10. Jaringan Kabel Listrik.

Biasanya kabel yang menyalurkan listrik dari rumah pembangkit ke pelanggan.



Gambar 2.21 – Jaringan Kabel Listrik

Masih banyak variasi pada penyusunan disain ini. Misalnya, air dimasukkan secara langsung ke turbin dari sebuah saluran tanpa sebuah penstock. Tipe ini adalah metode paling sederhana untuk mendapatkan tenaga air tetapi belakangan ini tidak digunakan untuk pembangkit listrik karena efisiensinya rendah. Kemungkinan lain adalah bahwa saluran dapat dihilangkan dan sebuah penstock dapat langsung ke turbin dari bak pengendap pertama. Variasi seperti ini akan tergantung pada karakteristik khusus dari lokasi dan skema keperluan-keperluan dari pengguna.

2.2 Dasar - Dasar Teoritis

2.2.1 Umum

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan energi dapat merupakan indikator peningkatan kemakmuran, namun bersamaan dengan itu juga menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya. Pada saat ini, dunia sedang mengalami krisis energi dan khususnya Indonesia mengalami krisis energi listrik secara nasional sehingga PLN menyiasatinya melalui pemadaman secara bergilir.

Merujuk surat keputusan menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No.1122K/30/MEM/2002 tentang Pembangkit Skala Kecil Tersebar (PSK) dan pemanfaatan energi baru terbarukan, bahwa penyediaan energi listrik bisa dilakukan tidak

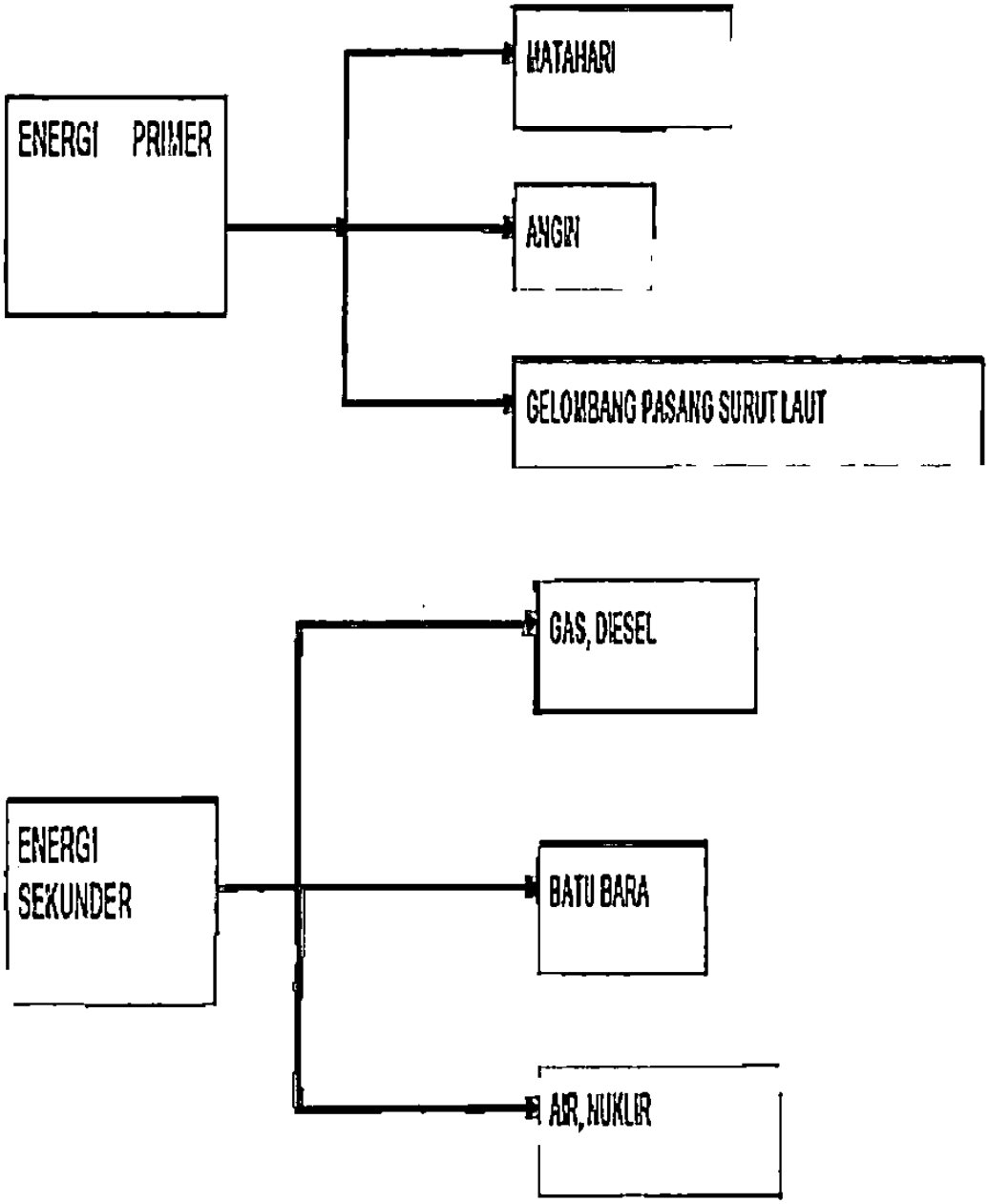
hanya dengan suatu pembangkit dalam skala yang sangat besar dan terpusat, namun juga bisa terpenuhi dengan memanfaatkan sumber-sumber pembangkit listrik walaupun dalam skala yang kecil (Dirjen Listrik & Pemanfaatan Energi, 2005).

Listrik merupakan salah satu kebutuhan hidup manusia yang primer sehingga diperlukan suatu instansi pembangkit tenaga listrik yang efisien. Oleh karena itu, diperlukan adanya sumber energi alternatif untuk mengatasi kelangkaan energi tersebut, misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Sumber energi dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Energi primer, merupakan energi yang ditemukan di alam yang belum terkena konversi atau proses transformasi, pada dasarnya energi primer tidak akan habis. Misalnya panas matahari, angin, air.
2. Sumber energi sekunder, merupakan merupakan energi yang ditemukan di alam yang sudah mengalami konversi atau proses transformasi, pada dasarnya energi sekunder akan habis karena terbatas. Misalnya batu bara, minyak bumi

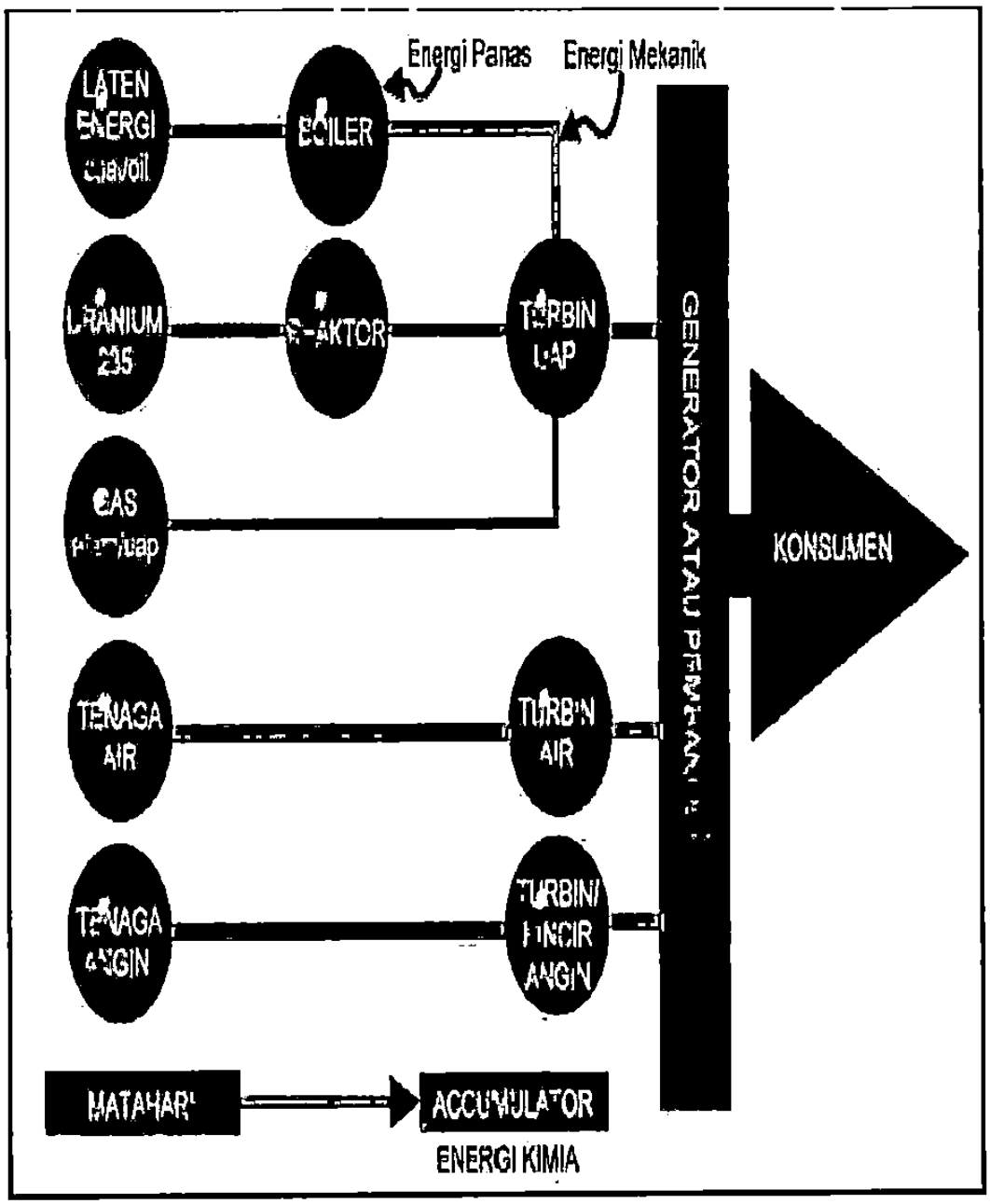
Di bawah ini merupakan skema sumber energi:



Gambar 2.22 – Skema Sumber Energi

Diagram Konversi Latent Energi:

Di bawah ini merupakan diagram dari latent energi yang diproses menjadi mechanical energi kemudian dirubah menjadi energi listrik:



Gambar 2.23 – Diagram Konversi Latent Energi

Di bawah ini merupakan Tabel Perbandingan Variasi Pembangkit Tenaga Listrik.

Tabel 2.3 - Perbandingan Variasi Pembangkit Tenaga Listrik

(Sumber: Bambang Trisno, Ekonomi Tegangan Tinggi, FTI – UMB).

Hal – Hal Yang Menyangkut	Pembangkit Uap	Pembangkit Air	Pembangkit Nuklir	Pembangkit Diesel	Pembangkit Angin / Matahari
Fix Cost (tetap)	Lebih rendah dibanding Pembangkit air, nuklir	Tinggi / mahal	Mahal	Murah	Murah
Running Cost (biaya operasi)	Tergantung pada harga batu bara / Mahal	Murah / Tidak dibutuhkan bahan bakar minyak	Rendah	Mahal	Murah
Efisiensi	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi	- -
Cara Start	Butuh waktu untuk pemanasan	Butuh waktu	Cepat dibanding air/uap	Cepat	- - -
Pemeliharaan	Butuh ahli	Rendah	Ahli-ahli yang sangat mengerti	Butuh ahli	- - -
Kemudahan untuk Dapat Sumber	Tergantung bila batu bara impor, running cost menjadi tinggi	Mudah sejauh sumber air dapat dipertahankan, musim hujan	Tidak Terhingga	Tergantung minyak dan harganya	- - - - -
Masalah Lokasi / Tempat Pembangunan	Tidak masalah asal batu bara cepat tersedia	Harus ditempat yang tinggi, air yang cukup	Harus aman	Dapat diinstalasi dimana saja dan ruang yg kecil dari air/uap	Kapasitas pembangkit terbatas
Lingkungan	Harus dikaji polusinya	Tempat yang luas umumnya baik dan menguntungkan	Hati-hati terhadap limbah radiasi	Harus dikaji polusinya	- - - -

Besarnya listrik yang dihasilkan pada PLTMH / PLTA tergantung dua faktor yaitu:

a. Berapa besar air yang jatuh.

Semakin tinggi air jatuh, maka semakin besar tenaga yang dihasilkan. Biasanya, tinggi air jatuh tergantung tinggi dari suatu bendungan. Semakin tinggi suatu bendungan, semakin tinggi air jatuh maka semakin besar tanaga yang dihasilkan. Sehingga bisa dikatakan bahwa tinggi jatuh air berbanding lurus dengan jarak jatuh. Dengan kata lain, air jatuh dengan jarak dua satuan maka akan menghasilkan dua satuan energi lebih banyak.

b. Jumlah air yang jatuh.

Semakin banyak air yang jatuh menyebabkan turbin akan menghasilkan tenaga yang lebih banyak. Jumlah air yang tersedia tergantung kepada jumlah air yang mengalir di sungai. Semakin besar sungai akan mempunyai aliran yang lebih besar dan dapat menghasilkan energi yang banyak. Tenaga juga berbanding lurus dengan aliran sungai. Dua kali sungai lebih besar dalam mengalirkan air akan menghasilkan dua kali lebih banyak energi.

Berdasarkan output yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibedakan atas:

1. Large-hydro : lebih dari 100 MW.
2. Medium-hydro : antara 15 – 100 MW.
3. Small-hydro : antara 1 – 15 MW.

4. Mini-hydro : daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW.
5. Micro-hydro : output yang dihasilkan berkisar dari 5kW sampai 100 kW; biasanya digunakan untuk penyediaan energi bagi komunitas kecil atau masyarakat pedesaan yang terpencil atau susah dijangkau.
6. Pico-hydro : daya yang dikeluarkan berkisar ratusan watt sampai 5kW.

2.3 Pandangan terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dilihat dari berbagai segi antara lain:

1. Pandangan PLTMH dari segi teknologi, dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang.
2. Pandangan PLTMH dari segi ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya.
3. Pandangan PLTMH dari segi sosial, mudah diterima masyarakat luas.

PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat

2.4 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Beberapa kelebihan dan kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah :

Kelebihan PLTMH:

* Energi yang tersedia tidak akan habis selagi siklus dapat kita jaga dengan baik, seperti daerah tangkapan atau *catchment area*, vegetasi sungai dan sebagainya.

* Jika terjadi kerusakan tidak akan sulit untuk mendapatkan *sparepart*-nya.

* Jika menerapkan Mikrohidro sebagai pembangkit listrik secara tidak langsung kita dituntut untuk mengelola dan menata lingkungan agar tetap seimbang sehingga sudah tentu tidak akan menimbulkan kerusakan lingkungan seperti banjir, tanah longsor atau erosi dan pada gilirannya ekosistem sungai atau daerah tangkapan akan tetap terjaga dengan cara ini pula pemanasan global dapat lebih teredam.

* Mengurangi tingkat konsumsi energi fosil, langkah ini akan berperan dalam mengendalikan laju harga minyak di pasar internasional.

* Bersih Lingkungan.

* Energi yang terbarui.

* Tidak konsumtif terhadap pemakaian air.

* Biaya operasi dan pemeliharaan rendah.

* Tahan Lama (Long Life) dan efesiensinya tinggi.

* Sesuai untuk daerah terpencil

Kekurangan PLTMH dan Beberapa keterbatasan PLTMH adalah:

* Pada musim kemarau kemampuan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro akan menurun karena jumlah air biasanya berkurang.

* Besarnya listrik yang dihasilkan PLTMH tergantung pada tinggi jatuh air dan jumlah air. Ketinggian sumber mata air mempengaruhi besarnya energi kinetik terbesar penggerak turbin.

* Semakin jauh jarak Pelanggan ke Pembangkit maka kualitas listrik juga lebih buruk.

* Jika pelanggan melebihi kemampuan dan menggunakan listrik secara berlebih maka kualitas listrik menurun dan membahayakan peralatan.

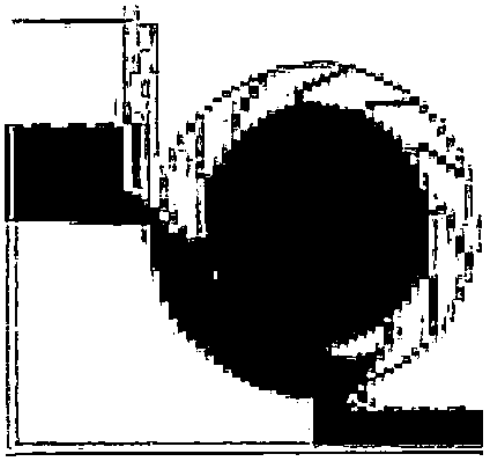
2.5 Pemanfaatan Energi Mikrohidro dengan menggunakan Kincir Air

Beberapa kincir air yang digunakan untuk mikrohidro yaitu:

1. Kincir Air (Water Wheel).

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi

a. Kincir Air Overshot.



Gambar 2.24 - Kincir Air Overshot
Sumber: http://osv.org/education/WaterPower dan
www.semayangboy.co.cc/2010/05/pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro.html

Kincir air overshot bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air overshot adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

Keuntungan:

* Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%.
* Tidak membutuhkan aliran yang deras.
* Konstruksi yang sederhana dan mudah dalam perawatan.
* Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang

Kerugian:

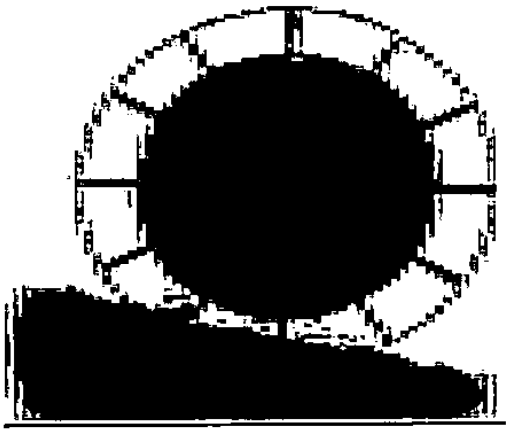
* Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.

* Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.

* Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.

* Daya yang dihasilkan relatif kecil.

b. Kincir Air Undershot.



Gambar 2.25 - Kincir Air Undershot
Sumber: http://osv.org/education/WaterPower dan
http://www.semayangboy.co.cc/2010/05/pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro.html

Kincir air undershot bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe undershot tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan

"Vitruvian". Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.

Keuntungan:

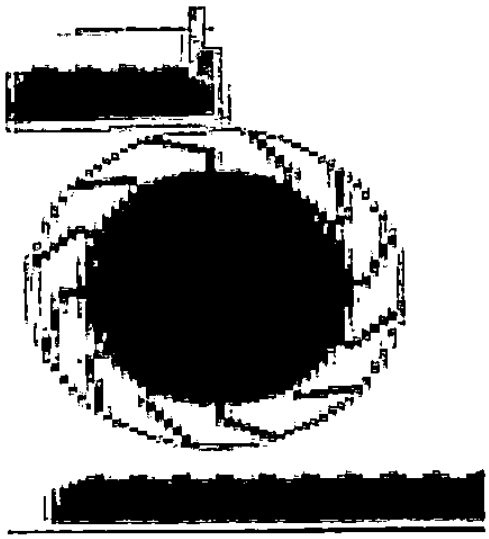
* Konstruksi lebih sederhana dan lebih ekonomis.

* Mudah untuk dipindahkan.

Kerugian:

*Efisiensi kecil dan daya yang dihasilkan relatif kecil.

c. Kincir Air Breastshot.



Gambar 2.26 - Kincir Air Breastshot
Sumber: http://www.semayangboy.co.cc/2010/05/pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro.html

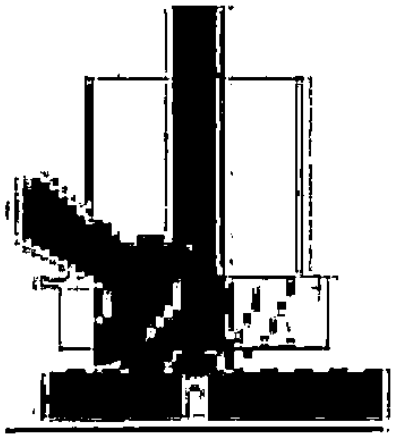
Kincir air Breastshot merupakan perpaduan antara tipe overshot dan undershot dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir

* Tipe ini lebih efisien dari tipe under shot dibandingkan tipe overshot tinggi jatuhnya lebih pendek serta dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Kerugian:

* Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe undershot (lebih rumit), diperlukan dam pada arus aliran datar dan efisiensi lebih kecil dari pada tipe overshot.

d. Kincir Air Tub.



Gambar 2.27 - Kincir Air Tub
Sumber: http://osv.org/education/WaterPower dan
http://www.semayangboy.co.cc/2010/05/pembangkit-listrik-tenaga-mikrohidro.html

Kincir air Tub merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horisontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertikal dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe overshot maupun tipe undershot karena arah gaya dari pancuran air

Keuntungan:

* Konstruksi yang lebih ringkas.

* Kecepatan putarnya lebih cepat.

Kerugian:

* Tidak menghasilkan daya yang besar.

* Karena komponennya lebih kecil membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih teliti.

2.6 Rumus Perhitungan Mikrohidro

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Debit Air* (sumber: school of BEES, UNSW ACIAR Project FIS/2005/028 & FIS/2005/009).

Debit air dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Q = A x V..... (2.1)

Dimana:

Q = debit air (m^3/s)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan (m/s)

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Hidrolik Tenaga Air / Daya Potensial Air* (sumber: Ir O F Patty. "Tenaga Air". Erlangga, Jakarta 1995).

Daya Tenaga Air dihitung dengan menggunakan rumus sebagai

Pair = ρQgH ..... **(2.2)**

Dimana:

Pair = daya hidraulik/potensial air (watt).

ρ = kerapatan masa air (1000 kg/m^3).

Q = debit air (m^3/s).

g = konstanta gravitasi (9,81 m/s^2).

H = head net (m).

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Listrik* (Tim IMIDAP (Integrated Microhydro Development and Application Program). "*Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro*". Jakarta 2010).

Potensi Daya Listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

P = g x Q x H x □ ..... **(2.3)**

Dimana:

P = daya teoritis (kW).

g = konstanta gravitasi (9,81 m/s^2).

Q = debit aliran (m^3/s).

H = head net (m).

□ = efesensi keseluruhan, 65%.

Bagaimanapun, tidak ada sistem yang sempurna sehingga selalu

energi listrik. Besarnya energi yang hilang ini dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya yaitu:

- Efisiensi turbin.
- Efisiensi generator.
- Efisiensi trafo.
- Efisiensi jaringan.
- Efisiensi sistem kontrol.
- Efisiensi-efesiensi lainnya.

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Output Turbin* (sumber: Introduction Of Renewable Energy Lesson Modules At Technical Schools In Indonesia. "Crossflow Turbine".).

Daya output turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{P = g \times Q \times H \times \square_T} \quad \text{.....} \quad \mathbf{(2.4)}$$

Dimana:

P = daya output turbin (kW).

g = konstanta gravitasi (9,81 m/s^2).

Q = debit air (m^3/s).

H = efektif head (m).

$\square_T$ = efisiensi turbin.

= 0.8 - 0.85 untuk turbin pelton.

= 0.8 - 0.9 untuk turbin francis

= 0.7 - 0.8 untuk turbin crossfiow.

= 0.8 - 0.9 untuk turbin propeller / kaplan.

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Daya Teoritis Turbin* (sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Daya teoritis turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Ne = \frac{\rho.Q.H}{75}\eta t \qquad \text{.....} \qquad (2.5)$$

Dimana:

Ne = daya teoritis turbin (Hp), 1 HP = 734 watt.

ρ = massa jenis air (1000 kg/ m^3).

Q = debit aliran air (m^3/s).

H = besar head (m).

□.t = efisiensi turbin.

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Kecepatan spesifikasi Turbin* (Sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Kecepatan spesifikasi turbin dihitung dengan menggunakan rumus

$$Ns = 3.65 * n * \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

Dimana:

Ns = specific speed.

n = putaran turbin (rpm).

Q = debit aliran air (m^3/s).

H = besar head (m).

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Kecepatan Air Masuk Turbin* (Sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Kecepatan air yang masuk Turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{V = Cv \sqrt{2.g.H}} \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

Dimana:

V = kecepatan air masuk turbin (m/s).

Cv = koefisien kecepatan air, antara 0.96-0.985.

g = konstanta gravitasi (9,81 m/s^2).

H = head aliran (m).

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Kecepatan Runner dan Diameter Runner* (Sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan

Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Kecepatan Tangensial Runner dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

U = □ x V x cos α ..... **(2.8)**

Dimana:

φ = speed factor, antara 0.44-0.46, diambil 0.45.

V = kecepatan air masuk turbin (m/s).

α = Sudut masuk yang dibentuk oleh kecepatan absolut dan tangensial, diambil 16^0.

Sedangkan diameter runner dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{60 * U}{\pi * n}$$ ..... **(2.9)**

Dimana:

D = diameter runner (m).

U = kecepatan tangensial runner (m/s).

n = putaran turbin (rpm).

Sedangkan diameter dalam runner dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

d = 2/3*D (2.10)

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Panjang Sudu Turbin* (Sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Panjang sudu turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$b = 0{,}006 \frac{n \, x \, Q}{k \, x \, H} \quad \text{.....} \quad \textbf{(2.11)}$$

Dimana:

n = putaran turbin (rpm).

Q = debit air (m^3/s).

H = ketinggian (m).

k = koefisien tebal semburan air terhadap diameter runner, ditentukan (0,075-1,50).

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Dimensi Penampang Nozel dan Tinggi Penampang Nozel* (Sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Dimensi penampang nozel dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{Q}{} \quad \textbf{(2.12)}$$

A = luas penampang turbin (m^2).

Q = debit air (m^3/s).

v = kecepatan (m/s).

Sedangkan lebar nozel adalah sama dengan lebar sudu turbin sehingga dapat dicari tinggi penampang nozel yaitu:

$$t = \frac{A \cdot 10000}{b} \quad \text{.....} \quad \textbf{(2.13)}$$

Dimana:

t = tinggi penampang nozel (cm).

A = luas penampang turbin (m^2).

b = lebar sudu turbin (cm).

➢ *Perhitungan untuk Menentukan Faktor Daya Generator* (Sumber: Mata Kuliah Proyek Kompetisi. "Pemanfaatan Mikrohidro Sebagai Pembangkit Energi Listrik Pada Skala Rumah Tangga". UGM, Yogyakarta 2008).

Faktor Daya Generator dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Ng = Ne \cdot \eta g \quad \text{.....} \quad \textbf{(2.14)}$$

Dimana:

Ng = faktor daya generator (watt).

Ne = daya teoritis turbin (Hp).

ηg = asumsi nilai faktor daya sebuah generator berkisar antara