

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian – penelitian sebelumnya

Turbin air merupakan suatu mesin konversi energi yang berfungsi untuk mengkonversikan / mengubah bentuk energi potensial (*head*) yang dimiliki air menjadi bentuk energi mekanik poros turbin air. Penelitian mengenai turbin air telah banyak dilakukan, Ahmad M. Baladraf (2010) melakukan penelitian bahwa dengan menambah *guide tube* untuk mengarahkan air yang keluar dari tingkat pertama. Hal ini dilakukan karena pada aliran air saat air keluar dari tingkat pertama menuju tingkat kedua akan saling berumbukan sehingga menurunkan efisiensinya. Metode dan variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan metode penelitian eksperimental nyata yang dilakukan di laboratorium dengan variasi sudut *guide vane* ke dua serta debit air yang mengalir. Hasil dari penelitian ini didapatkan torsi, daya poros dan efisiensi dipengaruhi juga oleh sudut *guide tube* yaitu terdapat pada sudut 60^0 dan debit 10 liter/s.

Sugeng Permadi dkk (2009), melakukan penelitian tentang perancangan nosel *guide vane* pada nosel turbin *cross flow* dengan proses simulasi komputasi dinamika fluida (CFD). Pada penelitian ini variasi yang dibuat adalah desain nosel *guide vane* berdasarkan JLA dengan 2 tipe airfoil FX-69-PR-821 dan Kenedy and Marsden. Dari penelitian diketahui pengaruh dari konfigurasi struktur turbin terhadap unjuk kerja dan karakteristik aliran didalam turbin sebuah model turbin *cross flow* dengan memanfaatkan analisis Fluent. Hasil yang didapatkan adalah bahwa efisiensi tertinggi yaitu 21,79% didapatkan pada *guide vane* dengan airfoil Kennedy Marsdend dengan sudut 14^0 .

Philip Leigh dkk. (2007), secara tidak langsung adalah meneliti tentang efisiensi pembangkit listrik mikrohidro. Dalam penelitian ini yang diamati adalah rendahnya listrik yang dihasilkan sebuah PLTM. Kajian rendahnya produksi listrik ini adalah berdasarkan rumus $P = Q H \gamma \eta$ (kW), seharusnya dari *head* (H) dan kapasitas (Q) yang tertentu akan menghasilkan daya (P) tertentu, ternyata dari sekian banyak PLTM yang dipasang rata-rata mempunyai efisiensi (η) yang rendah. Menurut pendapat peneliti ini, PLTM sangat prospektif, tetapi harus dilakukan penelitian lanjut, agar PLTM ini menjadi tumpuan utama penghasil listrik untuk suatu daerah tertentu. Karena PLTM merupakan pembangkit yang bersih (tidak polutif) dan sifatnya *renewable*.

2.2 PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro)

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan 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 instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Biasanya 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*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah tinggi jatuh (*head*). Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik.

Secara umum listrik tenaga air dapat dikategorikan sesuai besar daya yang dihasilkannya, dimana salah satu klasifikasi listrik tenaga air adalah sebagaimana tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

No.	JENIS	DAYA / KAPASITAS
1.	PLTA	> 5 MW (5.000 kW).
2.	PLTM	100 kW < PLTM < 5.000 kW
3.	PLTMH	< 100 kW

Sumber: Severn Wye Energy Agency, www.swea.co.uk

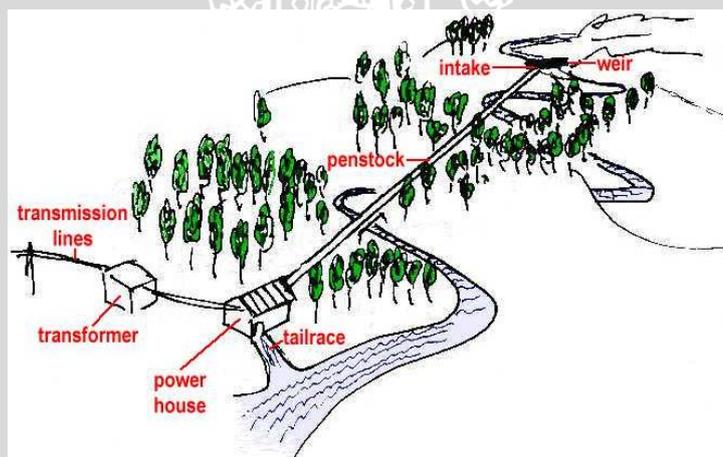
Namun sebenarnya pembagian antara PLTA (besar), PLTM (minihidro) serta PLTMH (mikrohidro) bervariasi dan dinamis. Pembagian pada tabel di atas merupakan salah satu contoh. Namun secara umum dapat ditentukan bahwa yang dimaksud sebagai PLTMH adalah jika mempunyai kapasitas daya di bawah 100 kW.

PLTMH biasanya digunakan untuk melayani kebutuhan listrik bagi masyarakat pedesaan yang tidak terjangkau layanan listrik negara. Teknologi ini mulai diterapkan di banyak negara berkembang semenjak tahun 1970an, misalnya di Nepal, Peru, Srilanka, Zimbabwe, dan sebagainya. Beberapa daerah di Indonesia sebetulnya sudah sejak lama

mengenal dan menerapkan teknologi tersebut dengan cara merakitnya sendiri, misalnya di Sumatera Barat dan di Jawa Barat. PLTMH merupakan salah satu pilihan pengubahan energi yang paling ramah lingkungan karena tidak seperti pembangkit listrik berskala besar, PLTMH tidak mengganggu aliran sungai secara signifikan.

2.2.1 Prinsip Kerja PLTMH

PLTMH 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 menghasilkan listrik. Air yang tadinya digunakan untuk memutar turbin nantinya akan mengalir kembali ke sungai sehingga yang dimanfaatkan pada pembangkit ini adalah energi potensial yang terdapat pada air secara garis besar dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Instalasi PLTMH

Sumber : http://www.microhydropower.net/dam_large.php

Air yang mengalir di sungai diblokkan alirannya oleh *Weir* (bendung), sehingga aliran air tersebut mengalir lewat bangunan sadap (*Intake*). Pada *intake* terdapat bak pengendap (*settling basin*) yang berfungsi untuk menghendapkan butir-butir pasir dan lumpur dari air. Dari bak penenang air dialirkan melewati saluran pembawa (*head race*) menuju bak penenang (*forebay*).

Bak penenang (*forebay*) berfungsi untuk menenangkan atau menurunkan kecepatan air sebelum masuk ke *penstock*. Bak penenang ini juga biasanya berfungsi sebagai bak pengendap, yaitu mengendapkan sisa-sisa partikel-partikel pasir dan lumpur yang masih terbawa lewat saluran penghantar. Dari *forebay* air mengalir lewat saluran pipa tertutup yang disebut pipa pesat (*penstock*).

Pada ujungnya di sebelah bawah pipa pesat disambung dengan turbin yang berfungsi untuk mengubah energi potensial yang ada pada air menjadi energi mekanik. Poros turbin dihubungkan dengan generator, baik dikopel secara langsung sehingga putaran turbin dan generator sama, maupun dengan memakai sistem transmisi mekanik lain jika putaran keduanya berbeda. Putaran generator tersebut selanjutnya menghasilkan energi listrik yang masuk ke sistem kontrol terlebih dahulu sebelum nantinya dapat didistribusikan ke seluruh warga melalui kabel jaringan listrik. Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran.

2.2.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

Beberapa komponen yang digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro baik komponen utama maupun bangunan pendukung lainnya, yaitu :

1. Bangunan Sipil

a. Bendung (*Weir*)

Bendung adalah bangunan yang berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air di sungai sehingga air dapat mengalir ke arah *intake*. Pembangunan bendung juga digunakan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendung ini juga bisa difungsikan sebagai bak pengendap (*settling basin*). Bendung ini dapat berupa bendung beton atau bendungan beronjong dan dilengkapi dengan pintu air serta saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran atau endapan lumpur. Bendung dilengkapi pintu air penguras yang berfungsi mengendalikan jumlah air yang masuk ke dalam *intake* sekaligus sebagai pintu penguras untuk membersihkan endapan-endapan lumpur yang terkumpul pada bendung. Pada musim hujan bendungan dilengkapi pelimpas (*spill way*) untuk membuang kelebihan air yang masuk pada saluran pembawa dan pintu bendungan harus dalam keadaan terbuka agar tekanan air yang menimpa badan bendungan dapat dikurangi. Bendung sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Bendung
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

b. Bangunan sadap (*Intake*)

Di dekat bendung terdapat bangunan sadap (*intake*). Terdapat disisi kiri atau kanan bendungan yang berfungsi untuk mengalirkan air ke saluran pembawa, sesuai dengan debit yang telah direncanakan. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. *Intake* dirancang agar mampu mengalirkan air sesuai dengan debit yang telah direncanaan. Contoh dari gambar bangunan sadap dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3. *Intake*
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

c. Saluran Pembawa (*Head Race*)

Merupakan saluran penghubung antara *intake* dan kolam penenang sehingga pada kolam penenang selalu akan diperoleh air sesuai dengan debit yang telah

direncanakan. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Pada instalasi ini menggunakan saluran terbuka, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4. Saluran Pembawa
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

d. Bak Penenang (*Fore Bay*)

Merupakan tempat terakhir sebelum air masuk ke pipa pesat (*penstok*). Berfungsi untuk menampung air sekaligus mengendalikan kecepatan air yang masuk dari saluran pembawa sehingga tidak terjadi turbulensi pada saat air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*). Disini juga terdapat penyaring dan dapat difungsikan sebagai kolam untuk mengendapkan sisa-sisa partikel-partikel pasir dan lumpur yang masih terbawa lewat saluran penghantar agar air yang masuk pipa pesat benar-benar bersih. Gambar bak penenang dapat dilihat pada gambar dibawah ini 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Bak Penenang
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

e. Pipa Pesat (*Penstock*)

Penstock berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang ke turbin tanpa kehilangan massa maupun tekanan sehingga tenaga air dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menggerakkan 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 dilas. Untuk sambungan antar pipa digunakan *flens*. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya, seperti pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Pipa Pesat
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

f. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Berfungsi untuk melindungi alat-alat pembangkit serta merupakan pusat kontrol dari sistem pembangkit. Pada gambar 2.7 merupakan rumah pembangkit yang terdapat pada PLTMH Andungbiru.



Gambar 2.7. Rumah Pembangkit
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

2. Peralatan Mekanikal

a. Turbin Air

Turbin air yang digunakan dalam PLTMH adalah Turbin *Cross Flow* yang mana merupakan turbin impuls yang berporos horisontal bekerja dengan cara tekanan air dikonversikan menjadi energi kinetik di *inlet* adaptor. Aliran air yang menyebabkan berputarnya *runner* (roda jalan) setelah benturan pertama dengan sudu turbin, kemudian menyilang mendorong sudu tingkat kedua. Hal ini terdapat didalam *casing* turbin yang dikunci dengan pondasi yang tertanam di dalam tanah.

Untuk membuka dan menutup turbin dan mengatur kapasitas air yang masuk ke turbin digunakan *guide vane*. Poros berulir bertumpu pada UKF bearing untuk memudahkan gerakannya. Sementara poros *guide vane* bertumpu pada plain bearing yang dilengkapi dengan 2 buah *hydraulic seal* pada sisi DE dan 1 buah *hydraulic seal* pada sisi NDE yang berfungsi mencegah kebocoran.

Runner terdiri dari 20 sudu jalan (*blade*), *disc* samping *disc* tengah yang berfungsi untuk mentransmisikan daya poros turbin ke generator. Kanan-kiri poros diletakan bearing yang berfungsi untuk menyangga poros dan agar poros dapat berputar dengan lancar.

Hubungan antara turbin dan penstock dilalui melalui adaptor. Adaptor merupakan perubahan bentuk dari panampang lingkaran pada *penstock* ke penampang segi empat pada turbin. Pada saat *guide vane* dalam posisi tertutup atau turbin tidak berputar, maka angka yang terbaca pada indikator *pressure gauge* menyatakan tekanan hidrostatik atau *head* statis. Secara jelas turbin yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Turbin Air (*Cross Flow*)
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

b. Sistem Transmisi

Putaran poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik. Ada 2 jenis transmisi yang dapat digunakan, transmisi langsung dan transmisi tidak langsung / mekanik. Transmisi langsung digunakan bila diinginkan putaran yang sama antara putaran turbin dan generator bisa dilakukan dengan mengkopel secara langsung. Pada transmisi tidak langsung apabila antara putaran turbin yang diinginkan tidak sama dengan putaran turbin yang dihasilkan. Transmisi tidak langsung, bisa menggunakan *gear*, *belt*, dan *chain*. *Pulley* dikunci pada poros dengan *keyway* dimana *pulley* berfungsi untuk menaikkan putaran sehingga putaran generator sesuai dengan putaran daerah kerjanya. *Belt* berfungsi untuk mentransmisikan daya poros turbin ke poros generator. Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat, dan efisiensinya 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 adanya variasi dalam penggunaan generator secara lebih luas karena kecepatan putar poros generator tidak perlu sama dengan kecepatan putar poros turbin. Jenis *belt* yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt*, sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW, sehingga PLTMH ini menggunakan *V-belt* ditunjukkan pada gambar 2.9 dibawah ini. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah *pulley*, bantalan dan kopling.



Gambar 2.9 Transmisi Mekanik
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

3. Peralatan Elektrikal

a. Generator

Generator merupakan alat untuk mengubah daya poros turbin menjadi daya listrik. Secara sederhana prinsip kerja generator yaitu arus DC yang mengalir pada kumparan rotor akan menciptakan medan magnetik homogen, apabila rotor yang dihubungkan dengan as generator tersebut diputar dengan kecepatan konstan, maka pada kumparan statornya akan dibangkitkan tegangan AC. Berikut merupakan generator yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Generator
Sumber : Instalasi PLTMH Andungbiru

b. *Electronic Load Controller (ELC)*

Sistem control ELC merupakan suatu kesatuan unit yang terdiri dari panel kontrol ELC dan *ballast load*. Pada prinsipnya pengontrolan dengan ELC bertujuan agar daya yang dibangkitkan oleh generator selalu sama besar dengan daya yang diserap sehingga dapat dibangkitkan tegangan dan frekuensi yang stabil dengan cara membuang kelebihan daya yang tidak digunakan oleh konsumen ke *ballast load*

c. *Ballast Load dan Main Load*

Prinsip kerja dari *load control* yaitu menyeimbangkan beban generator terhadap perubahan *main load*. Dengan demikian output generator akan tetap stabil meskipun terjadi perubahan pada *main load*, sehingga tegangan maupun frekuensi stabil.

2.3 Turbin Air

2.3.1 Definisi Turbin Air

Turbin air adalah mesin konversi energi yang berfungsi untuk merubah/mengkonversi energi potensial (*head*) yang dimiliki oleh air ke bentuk energi mekanik pada poros turbin. Sebelum diubah menjadi energi mekanik pada turbin maka energi potensial perlu diubah menjadi energi kinetik terlebih dahulu.

2.3.2 Prinsip Mesin Berputar

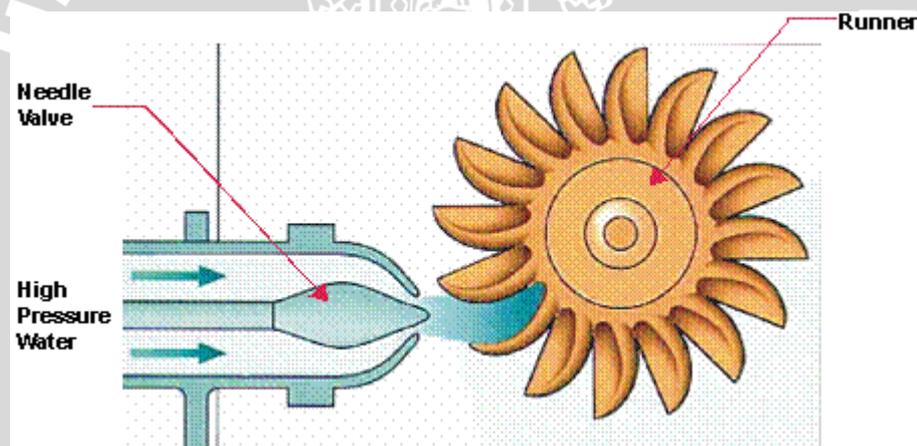
Mesin berputar adalah mesin-mesin konversi energi yang memiliki bagian utama stator dan rotor dengan perubahan energi dari bentuk energi tekan dan energi kinetik yang dimiliki fluida ke bentuk energi mekanik yang dimiliki poros, untuk contohnya pada poros turbin. Pada prinsipnya energi potensial yang tersimpan pada air yang diam pada ketinggian tertentu, energi tersebut dapat dirubah menjadi energi kinetik secara perlahan-lahan dengan mengalirkan ke tempat yang lebih rendah. Energi kinetik fluida tersebut dikonversikan menjadi energi mekanik pada poros turbin. Pada saat air meninggalkan *nozzle* dengan kecepatan tertentu maka akan menumbuk sudu sehingga terjadi perubahan kecepatan pada air tersebut. Dari perubahan kecepatan di titik masuk dan keluar sudu maka akan didapatkan perlambatan bila dibagi persatuan waktu. Karena gaya merupakan perkalian antara massa dengan percepatan dan momentum merupakan massa kali kecepatan, dengan mengalikan massa dan kecepatan keluar / masuk maka akan didapatkan perubahan momentum tiap detiknya. Jadi gaya-gaya yang terjadi merupakan perubahan momentum rata-rata, dan komponen gaya tersebut dicari gaya yang tegak lurus dengan jari-jari sudu turbin. Dengan mengalikan gaya dan lengan (jari-jari sudu) maka akan didapatkan torsi pada poros turbin. Jadi dapat diketahui energi potensial dan energi kinetik yang dimiliki fluida tersebut disebut dengan energi spesifik fluida atau *head* fluida, sedangkan energi mekanik pada turbin dapat ditunjukkan oleh adanya torsi yang bekerja pada poros tersebut.

2.3.3 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dapat diklasifikasikan dalam beberapa cara namun yang paling umum adalah berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya, berdasarkan klasifikasi ini turbin air dapat dibedakan menjadi 2 golongan yaitu :

1. Turbin Impuls

Turbin Impuls adalah turbin yang mana proses aliran fluida kerjanya (penurunan tekanan) hanya terjadi pada sudu-sudu tetapnya. Pada sudu-sudu gerakanya tidak terjadi penurunan tekanan. Pada turbin impuls, seluruh energi yang tersedia di dalam alirannya diubah oleh *nozzle* menjadi energi kinetik pada tekanan atmosfer sebelum fluida menyentuh sudu-sudu bergerak seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Turbin impuls cocok untuk *head* yang tinggi dengan kapasitas air yang relatif rendah. Jenis turbin ini mengubah *head* yang tinggi menjadi semburan kecepatan tinggi pada *nozzle*.



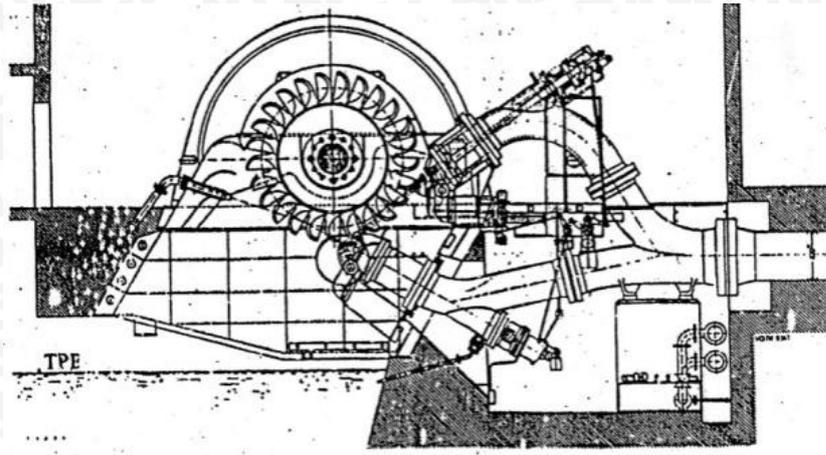
Gambar 2.11 : Turbin Impuls

Sumber : <http://re.emsd.gov.hk/english/other/hydroelectric>

Macam-macam turbin impuls antara lain sebagai berikut :

a) Turbin Pelton

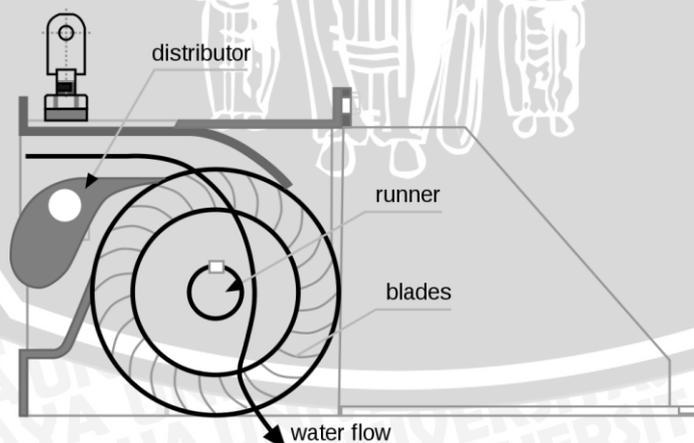
Turbin ini memiliki 2 bagian utama, yaitu *runner* dan *nozzle* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12. *Runner* terdiri dari poros 1 tangki piringan dan beberapa mangkok.



Gambar 2.12 : Turbin Pelton
Sumber : Dietzel. Turbin, Pompa dan Kompresor. 1996 : 30

b) Turbin Michael Banki

Turbin ini disebut juga turbin arus melintang (*crossflow*). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13, konstruksi turbin ini sangat sederhana terdiri dari sebuah *runner* yang menyerupai sangkar tupai dan *nozzle*. Prinsip kerjanya adalah air yang keluar dari *nozzle* ditumbukkan ke arah *runner* sehingga terjadi perubahan energi kinetik air menjadi energi mekanik pada poros *runner*. Turbin ini banyak digunakan pada *head* rendah hingga menengah, untuk kapasitas hingga 5 m³/s. Keuntungannya adalah konstruksinya sederhana, putaran operasi cukup tinggi dan efisiensi stabilnya pada perubahan beban hingga 40% dan beban maksimum.

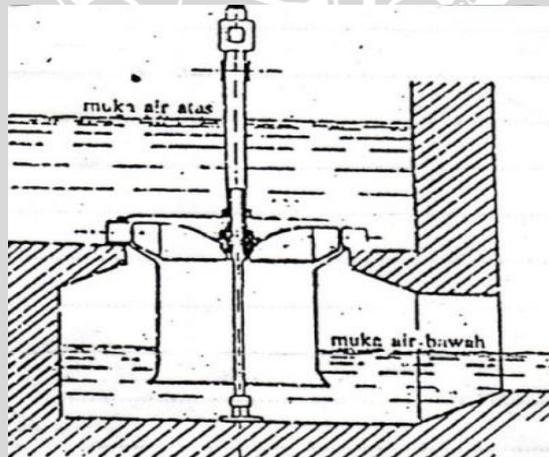


Gambar 2.13 : Turbin Michael Banki
Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin air yang mana proses ekspansi fluida kerjanya (penurunan tekanan) terjadi pada sudu tetap dan sudu geraknya. Turbin reaksi merupakan turbin/mesin yang sangat cocok untuk laju aliran yang tinggi dan *head* yang rendah seperti yang sering ditemui pada pusat listrik tenaga air dengan sungai yang dibendung. Oleh karena itu turbin reaksi sangat banyak dimanfaatkan di PLTA yang ada di Indonesia. Ciri khas dari turbin reaksi adalah mempunyai sudu-sudu yang bisa diatur sehingga bisa mengkonversikan energi air dengan baik.

Untuk turbin reaksi, *runner* dikelilingi selubung (rumah keong) yang seluruhnya diisi oleh fluida kerja. Jatuh tekanan dan kecepatan relatif fluida berubah saat melalui *runner* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Sudu pengarah berlaku sebagai *nozzle* untuk memberi percepatan aliran dan membelokkan aliran ke arah yang tepat saat fluida masuk ke dalam *runner*. Sebagian energi fluida diubah menjadi energi kinetik dengan mengalirnya fluida melalui sudu arah (*guide vane*) yang dapat disetel sebelum memasuki rotor dan perubahan selebihnya terjadi di rotor, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14.



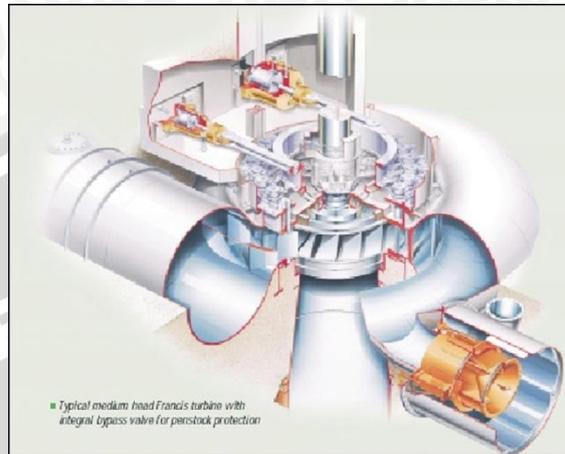
Gambar 2.14 : Turbin Reaksi
Sumber : Patty OF. Tenaga Air. 1995 : 164

Berikut adalah beberapa contoh dari turbin reaksi :

a) Turbin Francis

Turbin Francis yaitu turbin yang dikelilingi dengan sudu-sudu pengarah dan semua terbenam dalam air. Turbin Francis digunakan untuk

pemanfaatan potensi menengah (dari beberapa puluh meter sampai 100 m). Jenis konstruksi turbin ditemukan oleh orang Amerika yang bernama Francis sudah bisa dibuat dengan kecepatan yang tinggi. Pada gambar 2.15 merupakan contoh dari turbin Francis.



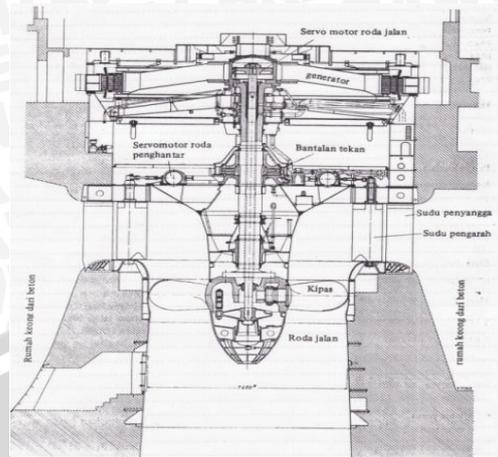
Gambar 2.15 : Turbin Francis

Sumber : <http://greybullvalleyhydropower.blogspot.com>

b) Turbin Kaplan

Turbin Kaplan adalah jenis turbin propeler dengan posisi sudu-sudu arah yang dapat diatur posisinya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16, pengatur sudu roda jalan (*rotor*) dengan menggunakan tenaga hidrolik yang terletak pada poros turbin. Untuk aliran-aliran turbin Kaplan, fluida mengalir melewati sudu arah masuk dan menjadi kecepatan tangensial dalam gerakan olakan (*swirl*) sebelum mencapai rotor. Aliran yang melewati rotor hampir seluruhnya merupakan komponen aksial. Baik sudu arah masuk maupun sudu turbin dapat diatur dengan mengubah sudu atur (*setting angle vane*) untuk menghasilkan kecepatan yang paling tinggi (keluaran optimum) untuk sudu kondisi operasi spesifik.

Sebagai contoh *head* operasi yang tersedia mungkin akan berubah dari setiap musim dan laju alir yang melewati rotor akan bervariasi.

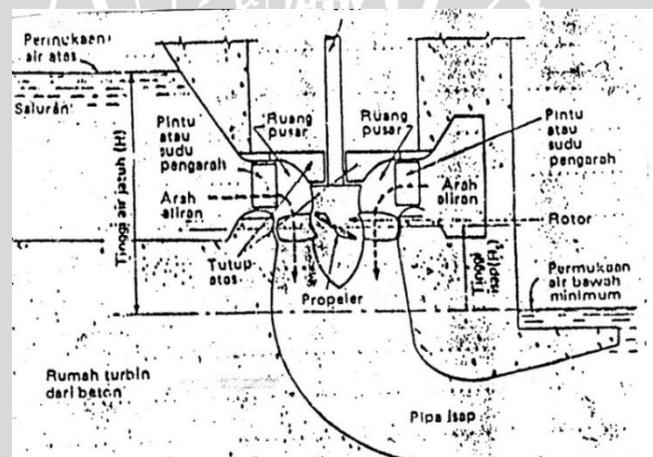


Gambar 2.16 : Turbin Kaplan

Sumber : Dietzel. Turbin, Pompa dan Kompresor. 1996 : 57

c) Turbin Propeler

Turbin ini digunakan untuk pemanfaatan potensi hidro yang memiliki *head* rendah hingga menengah (beberapa puluh meter) dengan kapasitas aliran besar dan putaran operasinya tidak terlalu tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17 turbin ini memiliki 3 bagian utama yaitu *runner*, sudu pengarah (*guide blade*) dan rumah turbin (*casing*).



Gambar 2.17 : Turbin Propeler

Sumber : Dietzel. Turbin, Pompa dan Kompresor. 1996 : 40

2.3.4 Turbin Cross flow

Turbin *cross flow* merupakan turbin impuls yang berporos horisontal bekerja dengan cara tekanan air dikonversikan menjadi energi kinetik di inlet adaptor. Aliran air yang menyebabkan berputarnya *runner* setelah berbenturan pertama dengan sudu turbin, kemudian menyilang (*cross flow*) mendorong

sudu tingkat kedua. *Runner* tidak pernah terendam dalam air secara keseluruhan, tenaga yang dimiliki air pada saat meninggalkan *inlet guide vane* dan mendorong *runner* adalah tenaga kinetis seluruhnya. Selama aliran melalui *runner*, kecepatan absolut air berkurang karena energi kinetik air diberikan pada *runner* menjadi energi mekanis.

Pada prinsipnya turbin *cross flow* terdiri dari sebuah *nozzle* dan *runner*. *Runnernya* berbentuk drum yang memiliki sejumlah sudu yang dipasang tetap di antara kedua piringan yang disangga oleh poros. Permukaan sudunya memiliki kelengkungan busur. Sedangkan *nozzlenya* memiliki penampang segi empat pada sisi masuknya dan memiliki atap dengan bentuk lengkungan busur lingkaran. Sehingga air yang keluar dari *nozzle* masuk ke *runner* menumbuk sudu-sudu tingkat pertama dan kemudian air tersebut keluar dari lorong *sudu-sudu* tingkat pertama lalu melewati ruang kosong dalam *runner* yang selanjutnya menuju tingkat kedua dan akhirnya air itu keluar dari lorong *sudu-sudu* tingkat kedua menuju kolam bawah.

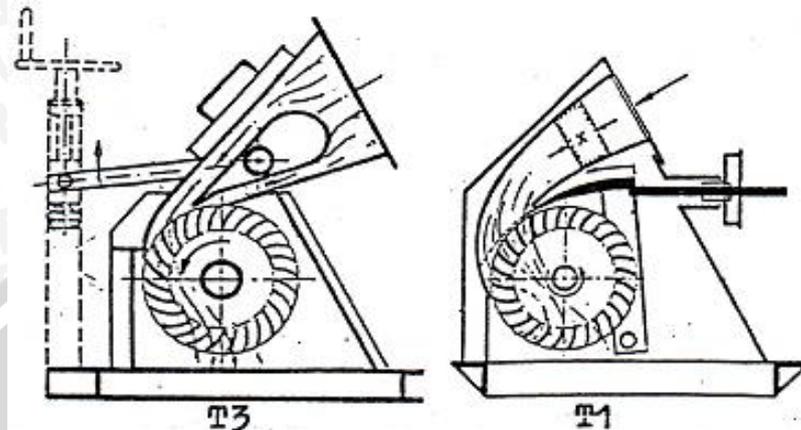
Pemakaian jenis turbin *Cross flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Hasil pengujian 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% sedangkan efisiensi turbin *Cross flow* mencapai 82% (Haimerl, L.A, 1960).

Tingginya efisiensi Turbin *Cross flow* ini akibat pemanfaatan energi 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 memberi keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*.

2.3.5 Bagian-bagian Turbin *Cross flow*

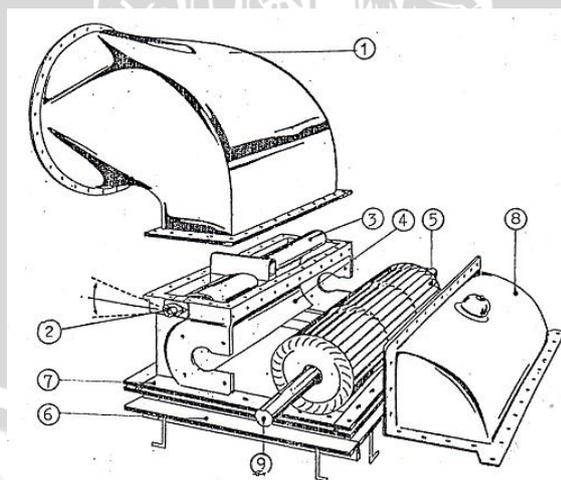
Turbin Cross Flow secara umum dapat dibagi dalam dua tipe (Meier, Ueli, 1981) yaitu :

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 2.18



Gambar 2.18 Dua Tipe *Turbin Cross flow*
Sumber : Haimerl, L.A., 1960

Bagian-bagian utama dari turbin *cross flow* terdiri dari *rotor*, rumah turbin, *guide vane*, *pulley*, adapter dan *base frame*. *Pulley* sebenarnya merupakan bagian dari transmisi mekanik yang meneruskan daya putar turbin ke generator, serta mengubah putaran turbin air sehingga sesuai dengan putaran generator. Dalam pembuatannya *pulley* atau transmisi mekanik ini merupakan bagian yang tak terpisahkan dari turbin.



- | | | |
|----------------------------|-------------------|------------------------|
| 1. Adapter | 4. Nozel | 7. Rumah turbin |
| 2. Poros <i>Guide vane</i> | 5. <i>Runner</i> | 8. Tutup turbin |
| 3. <i>Guide vane</i> | 6. Rangka pondasi | 9. Poros <i>runner</i> |

Gambar 2.19 Model Rakitan *Turbin Cross flow*
Sumber : Haimerl, L.A., 1960

Secara ringkas komponen-komponen utama turbin *cross flow* adalah sebagai berikut :

1. Adapter

Merupakan pipa penghubung antara rumah turbin dengan pipa pesat. Bentuk adapter pada satu sisi yang terhubung dengan rumah turbin adalah persegi sesuai dengan rumah turbin, sedangkan bagian yang disambung dengan pipa pesat berbentuk lingkaran.

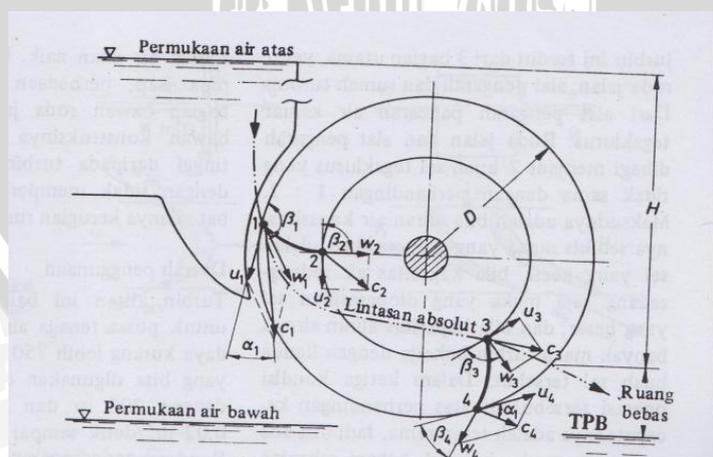
2. Rumah turbin.

Rumah turbin adalah bagian turbin yang merupakan tempat memasang bagian-bagian turbin lain, seperti poros atau *runner*, guide vane dan adapter.

3. Guide Vane.

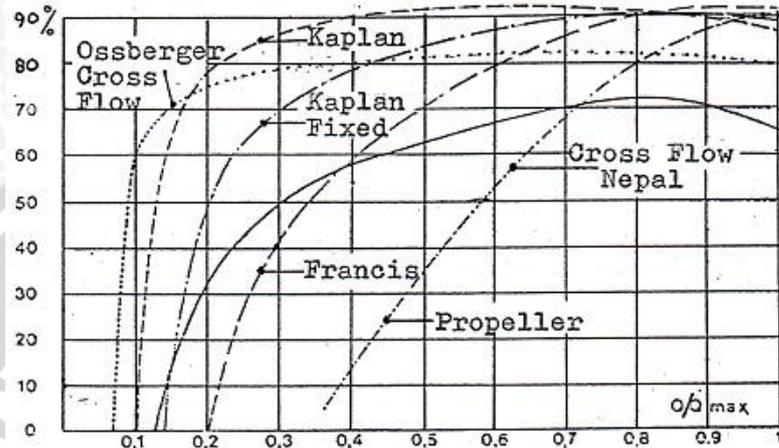
Guide vane atau sering juga disebut sebagai distributor berfungsi untuk mengarahkan aliran air sehingga secara efektif meneruskan energinya ke blade atau rotor turbin. Dengan demikian energi kinetik yang ada pada pancaran air akan menggerakkan rotor dan menghasilkan energi mekanik yang seterusnya memutar generator melalui puli.

Bentuk sudu dengan bagan kecepatan yang terdapat pada gambar 2.20 menunjukkan perbandingan kecepatan $u/c_1 = 0,5$ dibagian sisi masuk sudu, harga kecepatan air masuk c_1 didapat dari tinggi air jatuh H yang telah diketahui, sedangkan harga kecepatan tangensial didapat dari hubungan yang saling bergantung antara D dan kecepatan putar roda turbin n yaitu $u = D \times \pi \times n / 60$



Gambar 2.20 Skema Konstruksi dan Bagan Kecepatan Aliran Turbin
Sumber : Dietzel. Turbin, Pompa dan Kompresor. 1996 : 37

Selain berfungsi mengarahkan pada turbin ini juga digunakan untuk mengatur debit air yang masuk ke *rotor* turbin. Jumlah debit air yang masuk juga mempengaruhi kecepatan *rotor* turbin serta efisiensi dari turbin itu sendiri. Seperti yang terlihat pada gambar 2.21, efisiensi turbin *cross flow* dipengaruhi oleh jumlah air yang mengalir.



Gambar 2.21 Efisiensi Beberapa Turbin dengan Pengurangan Debit Sebagai Variabel
Sumber : Haimeri, L.A., 1960

4. Rotor atau *runner* turbin.

Rotor atau adalah bagian yang berputar dari turbin. *Runner* ini terdiri dari poros, blade dan piringan atau disk.

5. Puli dan belt :

Puli merupakan salah satu dari sistem transmisi mekanik yang sering dipakai pada PLTMH. Sistem transmisi tersebut juga berfungsi untuk mengubah kecepatan putar dari satu poros ke poros yang lain, jika kecepatan putar turbin berbeda dengan kecepatan generator atau peralatan lain yang harus diputarinya.

Sebenarnya terdapat beberapa jenis system penggerak / transmisi mekanik pada mikrohidro , yaitu : Penggerak langsung, Flat belt dan pulley, V atau wedge belt dan pulley, Chain and sprocket dan Gearbox. Namun Puli dan belt merupakan yang paling banyak dipakai.

6. Base frame.

Base frame merupakan tempat atau rangka untuk meletakkan turbin. Biasanya pada PLTMH berkapasitas kecil, base frame turbin menyatu dengan base frame generator sehingga dudukan turbin dan generator telah tertentu susunannya dan tidak berubah-ubah.

2.4 Persamaan yang Digunakan

2.4.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan dasar berpangkat satu dari persamaan kontinuitas mempunyai bentuk. (Frank M. White,1994,307)

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.1)$$

$$A_1.V_1 = A_2.V_2$$

Dengan:

A = Luas potongan permukaan dari aliran (m^2)

V = Kecepatan rata-rata berturut-turut pada titik 1 dan 2 (m/s)

2.4.2 Persamaan Bernoulli

Pada suatu aliran, maka menurut bernoulli besar energi aliran tersebut di pipa diambil selisih ketinggian z antara tinggi air diatas dan tinggi air dibawah.

(Fritz Dietzel,1984,4)

$$w = m.g.z + m.\frac{P}{\rho} + m.\frac{v^2}{2} \quad (2.2)$$

Bila pada aliran diatas, diambil satu jumlah air per 1 kg untuk diperhitungkan energi yang spesifikasi, maka persamaan menjadi :

$$w = g.h + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (2.3)$$

Kemudian dibagi lagi dengan percepatan gravitasi, akan didapat salah satu dari hukum persamaan Bernoulli yang mempunyai air ketinggian (H).

$$H = z + \frac{P}{\rho.g} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

Dengan:

m = Massa air (kg)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

P = Tekanan (kg/m^2)

ρ = Massa Jenis Air (kg/m^3)

2.4.3 Daya Turbin Air

Turbin air memanfaatkan tinggi air jatuh akan menghasilkan daya yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan :

(Fritz Dietzel,1984,2)

$$WHP = \rho \times g \times Q \times H \text{ (Watt)} \quad (2.5)$$

Dengan:

ρ = massa jenis Air (kg/m^3)

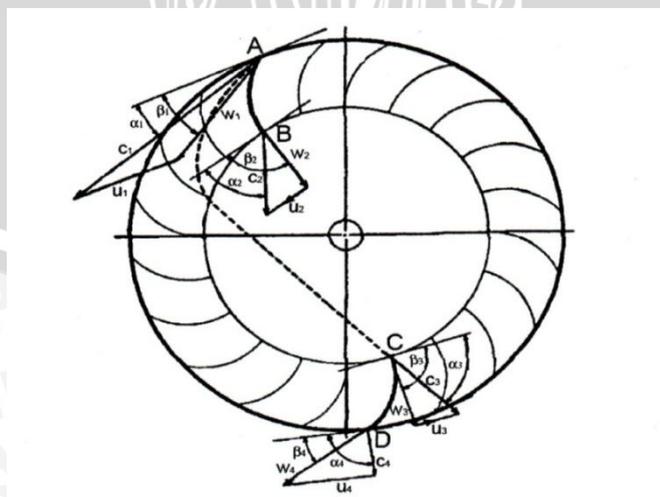
g = percepatan gravitasi (m/s^2)

H = Head (m)

Q = Debit air (m^3/s)

2.4.4 Segitiga Kecepatan

Pada turbin-turbin, air mengalir melalui penggerak dimana penggerak itu sendiri berputar dengan kecepatan tertentu. Air mengalir melalui penggerak dan meninggalkannya pada titik terluarnya. Kita bisa bicara tentang kecepatan mutlak dari aliran sebelum alirannya ke penggerak, kecepatan relatif air (ketika air mengalir di atas penggerak) berkenaan dengan penggerak dan lagi kecepatan mutlak dari air setelah meninggalkan penggerak. Dalam usaha untuk mengetahui dengan pasti hubungan antara kecepatan-kecepatan tersebut, diagram-diagram vektor kecepatan harus dibuktikan yang sangat berguna dalam pemakaian.



Gambar 2.22. Segitiga Kecepatan
Sumber : Djoko Sutikno, 1997:6

Dimana :

C_1 dan C_2 : kecepatan mutlak air pada pemasukan dan keluaran dari penggerak (m/s)

u_1 dan u_2 : kecepatan penggerak pada titik 1 dan 2 (m/s)

W_1 dan W_2 : kecepatan relatif air pada titik 1 dan titik 2 berturut-turut (m/s)

β_1 dan β_2 : sudut-sudut yang dibuat oleh sudu

α_1 dan α_2 : sudut yang dibentuk oleh kedatangan dan pengeluran air dengan arah dari perputaran α_1 .

2.4.5 Daya yang Dibangkitkan Generator Listrik

Generator listrik pada instalasi PLTMH merupakan beban dari turbin air. Dimana daya yang dihasilkan generator dapat dinyatakan :

(Arismunandar,1982,19)

$$P_G = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta_G \cdot \eta_T \text{ (Watt)} \quad (2.6)$$

Dengan :

Q = Debit air (m^3/s)

H = Head (m)

η_G = efisiensi generator

η_T = efisiensi turbin

γ = Berat jenis air (kg/m^2s^2)

Sehingga daya yang dihasilkan generator akan sebanding dengan daya yang dihasilkan oleh turbin :

$$P_G = V \times I \times \cos \varphi \text{ (Watt)}$$

$$Pt = \frac{P_G}{\eta_G} \text{ (Watt)} \quad (2.7)$$

2.4.6 Head Losses

Head losses disebut juga kehilangan tekanan yang terjadi karen adanya gesekan fluida dan permukaan dinding dalam pipa, belokan ataupun alat yang terpasang pada pipa pesat.

a. Besar *head losses* karena gesekan dapat dirumuskan :

(Frank M. White,1994,309)

$$Hl_1 = f \frac{L}{D_p} \cdot \frac{v^2}{2.g} \quad (2.8)$$

Dimana :

f = Koefisien Gesekan Pipa

L = Panjang Pipa (m)

D_p = Diameter Pipa (m)

V = Kecepatan Air (m/s)

g = Gravitasi Bumi (m/s²)

b. Besar *head losses* karena adanya belokan, dapat dirumuskan :

(Frank M. White, 1994, 335)

$$Hl_2 = k \cdot \frac{v^2}{2.g} \quad (2.9)$$

Dimana :

k = Koefisien Belokan

V = Kecepatan air (m/s)

2.4.7 Efisiensi Turbin

Merupakan perbandingan antara daya poros dengan daya air. Besarnya efisiensi dapat dihitung dari rumus: (Round, 2004 :20)

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{\text{WHP}} \times 100\% \quad (2.10)$$

Dengan :

η = efisiensi turbin

BHP = daya poros (Watt)

WHP = daya air (Watt)

2.5 Hipotesis

Berdasarkan teori yang telah disampaikan diatas, perbedaan ketinggian pada bak penenang maka akan mempengaruhi tinggi jatuh (*head*) yang berbeda-beda dan dengan mengubah bukaan *guide vane* maka akan didapatkan karakteristik unjuk kerja dari turbin *cross flow*.