

## I. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Energi listrik

Energi listrik merupakan energi yang sangat didambakan oleh segenap warga masyarakat sebagai sumber energi untuk berbagai kegiatan seperti penerangan, informasi maupun industri. Namun kebutuhan energi listrik di Indonesia masih belum dapat dirasakan oleh sebagian kecil masyarakat yang letak daerah tempat tinggalnya sangat jauh dari sebagian besar pemukiman penduduk. Hal ini menunjukkan bahwasannya distribusi penyaluran energi listrik yang disediakan pemerintah melalui perusahaan PLN masih belum mencukupi kebutuhan masyarakat. Padahal listrik kini menjadi kebutuhan pokok bagi manusia, sebagaimana kita ketahui bersama aktivitas kehidupan kita saat ini sangat bergantung dengan teknologi yang sumber tenaganya berasal dari energi listrik. Misal untuk keperluan rumah tangga seperti setrika, kulkas, kipas angin, televisi, lampu penerangan dll. Kemudian untuk keperluan hampir semua aktivitas di industri dan perkantoran di berbagai bidang, energi listrik merupakan komponen yang paling dominan (Abdurahman, 2003).

Di Indonesia masih banyak daerah terpencil yang dalam waktu beberapa tahun kedepan belum dapat dilayani oleh PLN. Merujuk Surat Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No.1122K/30/MEM/2002 tentang

Pembangkit Skala Kecil Tersebar (PSKT) dan pemanfaatan energi 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).

Untuk masyarakat yang tinggal di daerah terpencil, pemerintah perlu menyediakan listrik yang bersumber dari energi alternatif terutama pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Listrik merupakan bentuk energi yang paling mudah dikonversi melalui panas, tenaga gerak maupun magnet. Dengan demikian listrik banyak dibangkitkan untuk konsumsi penerangan maupun industri. Khusus bagi desa terpencil pemerintah mempunyai kewajiban untuk menyediakan energi listrik bila di desa tersebut terdapat sumber energi alternatif (Kurniawan, 2007).

Sebenarnya listrik dapat dihasilkan sendiri meskipun dalam skala yang kecil, yaitu yang kita sebut sebagai mikrohidro. Salah satu syarat yang dibutuhkan adalah air yang mengalir kontinyu dan air yang mengalir dengan deras atau setidaknya aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian. Tapi memang daya yang dihantarkan tidak sedahsyat energy listrik yang diberikan oleh PLN, namun cukup untuk keperluan listrik daya rendah seperti lampu rumah. Pembangkit listrik yang demikian disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Disebut mikro karena daya yang dihasilkan tergolong kecil (masih dalam hitungan ratusan kilowatt).

Pembangkit listrik yang biasa digunakan pada suatu sistem tenaga listrik terdiri dari pembangkit listrik tenaga air dan unit-unit thermal. Pembangkit-pembangkit itu sekarang ini umumnya sudah berhubungan satu dengan yang lainnya.

Setelah beroperasi dalam waktu tertentu, maka dari pembangkit-pembangkit itu ada yang keluar dari sistem dan hal ini disebabkan karena ada unit pembangkit yang rusak dan tentunya perlu diganti atau diperbaiki (Hasan, 2003).

Kelistrikan adalah sifat benda yang muncul dari adanya muatan listrik, listrik dapat juga diartikan sebagai berikut:

- a. Listrik adalah kondisi dari partikel subatomik tertentu, seperti elektron dan proton, yang menyebabkan penarikan dan penolakan gaya di antaranya.
- b. Listrik adalah sumber energi yang disalurkan melalui kabel, arus listrik timbul karena muatan listrik mengalir dari saluran positif ke saluran negatif.

## **2.2. 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 *head*.

Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "*energi putih*". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi akan dibangun) dapat diubah menjadi energi listrik (Amri dkk, 2008).

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik dengan menggunakan air sebagai energi penggerak pada turbin. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik harus memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu juga instalasi yang mencukupi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar pula energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Menurut 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 (Santoso, 2005).

Secara teknis mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator, 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 *head*.

Debit dan volume air pada suatu aliran sungai sangat erat kaitannya terhadap energi yang dihasilkan untuk putaran pada turbin mikrohidro, namun pada kenyataannya kemiringan dan panjang pipa yang digunakan untuk penerus daya air juga memiliki fungsi dan manfaat yang sangat penting terhadap putaran pada turbin serta output yang dihasilkan pada generator (Kurniawan, 2007).

Pada pembangkit listrik mikrohidro, selain penggunaan listrik yang tidak sesuai dengan luaran pada mesin, kontur sungai dan tata letak mesin serta konstruksi bangunan pada mesin mikrohidro ialah sangat berpengaruh besar terhadap hasil yang didapat pada mesin generator (Abdurrahman, 2003.)

Dengan pengetahuan teknologi saat ini maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu (tempat instalasi) dapat diubah menjadi energi listrik yaitu dengan cara air yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu disalurkan menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah turbin tersebut instalasi air akan mendorong turbin sehingga dalam hal ini turbin dipastikan akan menerima energi air dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan/dihubungkan ke generator dengan menggunakan belt yang terhubung pada puli dari turbin ke generator. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban).

Pembangkit listrik mikrohidro 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. Pembangunan Pembangkit listrik mikrohidro ini perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak pembangkit listrik mikrohidro. 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 (Sudargana dkk, 2005).

### **2.3. Komponen Pembangkit Listrik Mikrohidro**

Kondisi topografi dan hidrologi lokasi aliran sungai yang berpotensi mikrohidro, secara alami sangat mempengaruhi sistem pembangkit tenaga listrik mikrohidro dan memberikan beberapa alternatif lokasi konstruksi bangunan sipil. Pemilihan lokasi bangunan sipil berdasarkan kondisi topografi dan hidrologi menentukan sistem pembangkit tenaga listrik mikrohidro. Perlu dipahami bahwa dari banyak kasus pembangunan pembangkit listrik skala kecil (PLTMH) memiliki hambatan antara lain adalah biaya pembangunan yang relatif tinggi karena kondisi topografi dan mempengaruhi tingkat perekonomian.

Dalam suatu lokasi potensi pembangkit energi mikrohidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil seperti bendung (*weir*), bangunan pengambil (*intake*) saluran pembawa (*headrace*), bak pengendap (*settling basin*), bak penenang (*forebay*), bangunan dan saluran pelimpah (*penstock tunnel*), pipa pesat (*spillway*), rumah pembangkit (*power house*) dan saluran pembuang (*tail race*).

### **2.3.1. Bendung**

Bendung didefinisikan sebagai bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air. Konstruksi bendung bertujuan untuk menaikkan dan mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga elevasi muka air cukup untuk dialihkan ke dalam pembangkit mikrohidro.

Konstruksi bendung dilengkapi dengan bangunan pengambilan yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa. Pada umumnya instalasi PLTA skala mikro merupakan pembangkit listrik tenaga air jenis aliran sungai atau saluran irigasi langsung, jarang yang merupakan jenis waduk (bendungan besar).

Konstruksi bendung bertujuan mengambil air dari sungai atau kolam untuk dialirkan ke saluran, bak penampungan dan pipa pesat. Masalah utama dari bangunan adalah ketersediaan debit air, baik dari kondisi debit rendah maupun banjir dan seringkali adanya lumpur, pasir dan kerikil atau dahan/cabang pohon tumbang dari sekitar sungai yang terbawa aliran. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam memilih lokasi bendung dan bangunan, antara lain :

a. Aliran sungai

Lokasi bendung dan dipilih pada sungai yang terjamin ketersediaan airnya, alirannya stabil, terhindar banjir dan pengikisan akibat aliran sungai.

b. Stabilitas lereng

Pemilihan lokasi PLTMH sangat mempertimbangkan perbedaan ketinggian air jatuh untuk mendapatkan potensi daya, maka umumnya lokasi berada di

lereng atau bukit yang curam. Pertimbangan pemilihan lokasi bendung dan hendaknya mempertimbangkan stabilitas atau struktur tanahnya.

c. Pemanfaatan infrastruktur saluran irigasi

Pemanfaatan saluran irigasi dapat dipertimbangkan efisiensi biaya konstruksi, Karena banyak sungai di pedesaan telah ada bangunan sipil untuk saluran irigasi.

d. Pemanfaatan topografi alami seperti kolam dan lain-lain

Pemanfaatan kondisi alami kolam untuk lokasi dapat memberikan keefektifan yang cukup tinggi untuk mengurangi biaya. Selain itu juga membantu Menjaga kelestarian alam tata ruang sungai dan ekosistem sungai. Hal yang perlu diperhatikan adalah keberlanjutan kolam dan pergerakan sedimen.

e. Level tinggi bendung dan muka air banjir

Pembangunan bendung umumnya di bagian sempit dari alur sungai, maka elevasi muka air banjir pada daerah itu lebih tinggi sehingga diperlukan daerah bagian melintang bendung yang diperbesar dimensinya untuk kestabilan.

f. Penentuan lokasi bangunan pengambilan

Pertimbangan lokasi bangunan pengambilan selalu pada sisi luar dari lengkungan sungai untuk memperkecil pengendapan sedimen di dalam saluran pembawa. Konstruksi umumnya dibuat pintu air untuk melakukan pembilasan sedimen.

- g. Penggunaan air sungai yang mempengaruhi keluaran/debit air

Jika dibangun pada lokasi yang bertujuan untuk mengairi pertanian atau tujuan lain (yang menggunakan air) maka akan mempengaruhi debit air yang digunakan dalam saluran pembangkit.

### **2.3.2. Saluran Pembawa**

Bangunan saluran pembawa air adalah untuk mengalirkan air dari ke bak penenang dan untuk mempertahankan kestabilan debit air. Saluran air untuk sebuah pembangkit skala kecil, cenderung untuk memiliki bangunan yang terbuka. Ketika sebuah saluran terbuka dibangun pada sebuah lereng bukit maka beberapa hal penting yang perlu diperhatikan adalah :

- a. Topografi rute saluran

Rute atau saluran air yang melalui tebing yang curam perlu memperhatikan gradient kemiringan dan tingkat potensi longsornya. Aliran yang dilewati tidak tinggi sehingga dapat mengalirkan kecepatan air melebihi kecepatan maksimal yang dapat mengakibatkan erosi pada dinding saluran. Alternatif lain bisa digunakan pipa tertutup atau yang direncanakan sedemikian rupa sehingga aman.

- b. Stabilitas tanah saluran

Terdapat banyak kejadian penimbunan saluran air karena longsornya lereng bukit sehingga perlu diteliti/diperiksa kestabilan tanahnya.

c. Penggunaan infrastruktur

Pemilihan saluran air di sepanjang jalan yang telah tersedia dan saluran irigasi memberikan banyak keuntungan. Selain memperingan biaya juga mempermudah pemeliharaan dan pengawasan kualitas dan penggunaan air.

d. Geometri saluran

Bentuk saluran yang baik adalah setengah lingkaran yang akan memberikan efisiensi dalam menyalurkan debit air ke kolam penenang.

### 2.3.3. Pipa Pesat

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay tank*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter penstock, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*).

Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, aksesibility, berat, sistem penyambungan dan biaya. Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi sekecil mungkin. Ketebalan *penstock* dipilih untuk menahan tekanan hidrolis dan *surge pressure* yang dapat terjadi.

Berdasarkan kondisi topografi yang ada pada lokasi sistem mikrohidro, beberapa pertimbangan pemilihan lokasi pipa pesat antara lain adalah :

- a. Topografi yang dilewati memiliki tingkat kemiringan yang memenuhi persyaratan dimana pipa pesat harus berada di bawah garis kemiringan energi.
- b. Stabilitas tanah dari daerah yang dilewati.
- c. Pemanfaatan jalan eksisting untuk mempermudah konstruksi dan perawatan.

#### **2.3.4. Saluran Pembuangan**

Saluran pembuang bertujuan sebagai saluran pembuang aliran air dari rumah pembangkit dan menggerakkan turbin. Saluran ini bersatu dengan rumah pembangkit dan aliran sungai. Penempatan rute saluran pembuang ini, beberapa hal yang harus dipertimbangkan antara lain :

- a. Perkiraan tinggi genangan air pada rumah pembangkit ketika terjadi banjir besar.
- b. Menghindari penggenangan bantaran sungai dan permukaan tanah di sekitar rumah pembangkit.
- c. Fluktuasi dasar sungai pada daerah saluran pembuang.
- d. Saluran pembuang harus diarahkan sesuai arah aliran sungai.

#### **2.3.5. Kolam Penenang**

Tujuan bangunan bak penenang adalah sebagai tempat penenangan air dan pengendapan akhir, penyaringan terakhir setelah, untuk menyaring benda-benda yang masih terbawa dalam saluran air dan merupakan tempat permulaan pipa pesat yang mengendalikan aliran minimum, sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin, tanpa menurunkan elevasi muka air yang berlebihan dan menyebabkan arus balik pada saluran. Pemilihan lokasi bak penenang untuk pembangkit listrik skala kecil seringkali berada pada punggung yang lebih tinggi, beberapa yang dapat dipertimbangkan yaitu keadaan topografi dan geologi lokasi.

### **2.3.6. Rumah Pembangkit**

Pada rumah pembangkit ini terdapat turbin, generator dan peralatan lainnya.

Bangunan ini menyerupai rumah dan diberi atap untuk melindungi peralatan dari hujan dan gangguan-gangguan lainnya. Beberapa pertimbangan dalam memilih lokasi dan membangun rumah pembangkit ini, antara lain :

- a. Konstruksi harus berada di atas struktur tanah yang sangat stabil, tidak di lereng yang curam dan umumnya di pinggir badan sungai yang relatif rendah dan datar untuk mempermudah aliran buangan.
- b. Memiliki akses jalan yang cukup untuk transportasi peralatan elektrikal mekanikal yang akan dipasang dan atau terjadual untuk perawatan.
- c. Lokasi yang relatif rata, kering dan relatif luas sehingga dapat digunakan untuk tempat kerja seperti perbaikan dan perawatan peralatan.
- d. Elevasi lantai rumah pembangkit ini harus berada di atas elevasi muka air saat banjir yang paling besar dalam beberapa tahun terakhir.
- f. Ruang yang dibangun juga cukup untuk digunakan seperti penyimpanan peralatan dan atau suku cadang peralatan elektrikal dan mekanikal.
- g. Kondisi pondasi harus cukup kuat untuk menahan pemasangan beberapa peralatan yang memiliki berat cukup besar.

### **2.4. Turbin Air**

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. Pembagian kelompok turbin tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan pengelompokan dan jenis turbin.

Tabel 1. Pengelompokan turbin

Jenis turbin	Tekanan <i>head</i>		
	Tinggi	Sedang	Rendah
Turbin impuls	<i>Pelton dan turgo</i>	<i>Crossflow dan turgo</i>	<i>Crossflow dan turgo</i>
	<i>Pelton multi jet</i>	<i>Pelton multi jet</i>	
Turbin reaksi		<i>Francis pump-as-turbin (PAT)</i>	<i>Propeller, Kaplan</i>

#### 2.4.1. Turbin Impuls

Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nossel*. Air yang keluar dari *nossel* yang mempunyai kecepatan yang tinggi untuk membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu turbin, arah kecepatan aliran air dari *nossel* berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah sama dengan turbin tekanan karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya.

##### a. Turbin *Pelton*

Turbin *Pelton* merupakan turbin impuls. Turbin *Pelton* terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozle. Turbin *Pelton* adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin *Pelton* cocok digunakan untuk head tinggi, bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris.

Sudu turbin tersebut dibentuk sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke dua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Turbin *Pelton* untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro *head* 20 meter sudah mencukupi. Sketsa bentuk turbin *Pelton* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Turbin *Pelton*  
(Energybeta, 2009)

b. Turbin *Turgo*

Turbin *Turgo* dapat beroperasi pada head 30 m s/d 300 m. Seperti turbin *Pelton* turbin *Turgo* merupakan turbin implus, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nossel* membentur sudu pada sudut  $20^\circ$ . Kecepatan putar turbin *Turgo* lebih besar dari turbin *Pelton*. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Sketsa bentuk turbin *Turgo* dapat dilihat pada Gambar 2.

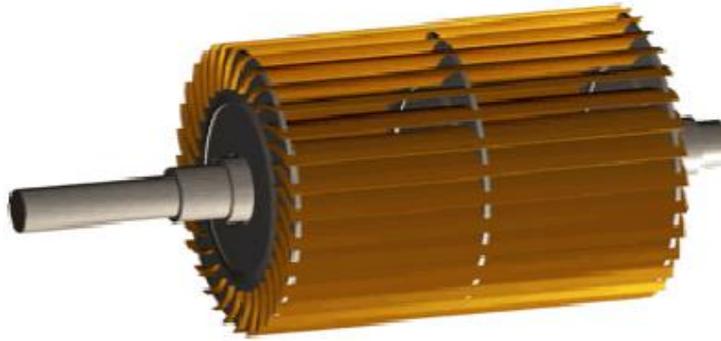


Gambar 2. Turbin *Turgo*  
(Energybeta, 2009)

c. Turbin *Crossflow*

Turbin *crossflow* merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh Anthony Michell (Australia), Donat Banki (Hongaria) dan Fritz Ossberger (Jerman). Michell memperoleh hak paten atas desainnya pada 1903. Turbin jenis ini pertama-tama diproduksi oleh perusahaan Weymouth. Turbin ini juga sering disebut sebagai turbin Ossberger, yang memperoleh hak paten pertama pada 1922. Perusahaan Ossberger tersebut sampai sekarang masih bertahan dan merupakan produsen turbin *cross-flow* yang terkemuka di dunia.

Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m<sup>3</sup>/s dan *head* antara 1 m s/d 200 m. Turbin *crossflow* menggunakan nozle 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. Sketsa bentuk turbin *crossflow* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Turbin *Crossflow*  
(Wordpress, 2009)

#### 2.4.2. 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 (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi.

##### a. Turbin *Francis*

Turbin *Francis* merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah, sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin *Francis* dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat. Sketsa bentuk turbin *Francis* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Turbin *Francis*  
(Wordpress, 2009)

b. Turbin *Kaplan*.

Tidak berbeda dengan turbin *Francis*, turbin *Kaplan* cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada *Kaplan* berfungsi untuk mendapatkan gaya  $F$  yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada *Francis*, sudu-sudu pada roda jalan *Kaplan* dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin *kaplan* banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin *Kaplan* dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi pada beban tidak penuh turbin *Kaplan* mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu-sudu turbin *Kaplan* dapat diatur menyesuaikan dengan beban yang ada. Sketsa bentuk turbin *Kaplan* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Turbin *Kaplan*  
(Energybeta, 2009)

## 2.5. Saluran Pipa Mikrohidro

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial dan energi kinetik. Tenaga air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir, energi yang dimiliki air dapat digunakan dan dimanfaatkan sebagai wujud energi mekanis maupun energi listrik (Santoso, 2005).

Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau air yang jatuh pada suatu sungai maupun air yang mengalir pada suatu aliran sungai. Sejak awal abad 18 kincir air telah dimanfaatkan sebagai penggerak penggilingan gandum, kerajinan kayu dan mesin tekstil. Sampai saat ini penggunaan energi air telah banyak dimanfaatkan khususnya sebagai energi pembangkit listrik (Sinaga, 2009).

Tenaga air untuk mikrohidro ini bisa berasal dari saluran sungai, saluran irigasi, air terjun alam, atau bahkan sekedar parit asalkan airnya kontinyu. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan tinggi terjun dan jumlah debit air. Teknik dari pembangkit listrik ini sangat sederhana, yaitu menggerakkan turbin dengan memanfaatkan tenaga air. Untuk bisa menggerakkan turbin ini, harus ada air yang mengalir deras karena perbedaan ketinggian. Jika di suatu daerah tidak ada air yang mengalir deras, maka dibuat jalur air buatan misalnya bendungan kecil yang berfungsi sebagai pembelok aliran air. Lalu, air yang mengalir deras akan sanggup menggerakkan turbin yang disambungkan ke generator, sehingga dihasilkanlah energi listrik (Amri, 2008).

Kaidah energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk energi lain.

Pembangkitan energi air adalah suatu perubahan energi akibat adanya perbedaan ketinggian antara *reservoir* atas dan reservoir bawah maka akan terdapat energi potensial dan energi kinetik pada aliran tersebut. Selanjutnya energi tersebut dapat dimanfaatkan dengan mengubahnya menjadi energi mekanis melalui turbin.

Untuk suatu aliran dengan head dan debit tertentu yang melalui sebuah turbin dapat menghasilkan daya (power) air dengan menggunakan Persamaan (1).

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot hf \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

$\rho$  = Massa jenis air ( kg/m<sup>3</sup>)

g = Percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

hf = Head efektif (m)

### 2.5.1. Aliran Air

Aliran air dalam pipa dapat ditemukan hampir pada semua jenis industri, dari sistem pipa tunggal yang sederhana sampai sistem pipa bercabang yang sangat kompleks. Contoh aliran perpipaan adalah sistem distribusi air minum, sistem pengangkutan minyak dari sumur bor ke tandon atau tangki penyimpanan, sistem distribusi udara pendingin pada suatu gedung, sistem distribusi uap pada proses pengeringan maupun penyaluran air untuk tanaman pada perkebunan. Aliran perpipaan meliputi semua komponen dari lokasi awal sampai dengan lokasi tujuan antara lain, saringan (*strainer*), katup atau kran, sambungan, nosel dan sebagainya. Untuk aliran perpipaan yang fluidanya *liquid*, umumnya dari lokasi awal fluida dipasang saringan untuk menyaring kotoran agar tidak menyumbat aliran fluida. Saringan dilengkapi dengan katup searah (*foot valve*) yang fungsinya mencegah aliran kembali ke lokasi awal atau tandon. Sedangkan sambungan dapat berupa sambungan penampang tetap, sambungan penampang berubah, belokan (*elbow*) atau sambungan bentuk T (*Tee*) (Hanandoko, 2000).

Pada saluran tertutup atau saluran pipa biasanya digunakan untuk mengalirkan fluida di bawah tekanan atmosfer (aliran air penuh), karena apabila tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), maka aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Tekanan permukaan zat cair di sepanjang aliran terbuka merupakan tekanan aliran yang sama dengan tekanan atmosfer.

Pada pipa yang alirannya tidak penuh dan masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka (Susanto, 2006). Debit aliran dipergunakan untuk menghitung kecepatan aliran pada masing-masing pipa eksperimen dimana rumus debit aliran terdapat pada Persamaan (2).

$$Q = V.A \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$Q$  = Debit aliran ( $m^3/dt$ )

$V$  = Kecepatan aliran ( $m/dt$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

Berikut ini adalah jenis aliran air yang terjadi di dalam pipa.

- a. Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau laminar-laminar dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan *relative* antara lapisan.
- b. Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.
- c. Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi mengakibatkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

Perhitungan aliran air dapat dihitung dengan menggunakan bilangan Reynolds terdapat pada Persamaan (3), dimana bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran itu dinamakan laminar, transisi atau turbulen.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

V = Kecepatan air (m/dt)

D = Diameter dalam pipa (m)

$\nu$  = Viskositas kinematik fluida (m<sup>2</sup>/dt)

Air juga memiliki sifat-sifat yang dapat dijabarkan berikut ini :

- a. Kerapatan massa suatu zat adalah massa dari volume suatu zat tersebut.  
Untuk cairan rapatannya bisa dianggap tetap untuk perubahan-perubahan tekanan. Rapatan air adalah 1000 kg/m<sup>3</sup>.
- b. Kekentalan (Viskositas) adalah sifat yang menentukan besar daya tahannya terhadap gaya geser. Kekentalan utamanya diakibatkan oleh pengaruh antara molekul-molekul fluida.

### **2.5.2. Headloss**

*Headloss* adalah hilangnya energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Menurut persamaan *Bernoulli*, ada tiga macam *head* (energi) fluida dari sistem instalasi aliran, yaitu, energi tekanan, energi kinetik dan energi potensial.

Perhitungan kehilangan energi dianalisa perbagian menurut penyebab terjadinya.

*Headloss* dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu *headloss mayor* ( $h_f$ ) yang terjadi kerana gesekan pada dinding di sepanjang pipa dan *headloss minor* ( $h_m$ ) yang merupakan *headloss* yang terjadi karena perubahan diameter, adanya keran, adanya belokan serta karena sambungan.

### 2.5.2.1. *Headloss Mayor* ( $h_f$ )

Besarnya kerugian *head* sepanjang pipa isap dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4), *Darcy-Weisbach*.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2.g} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- $h_f$  = *Mayor losses* (m)
- $f$  = Koefisien gesek pipa PVC
- $L$  = Panjang pipa (m)
- $V$  = Kecepatan fluida (m/dt)
- $D$  = Diameter dalam pipa (m)

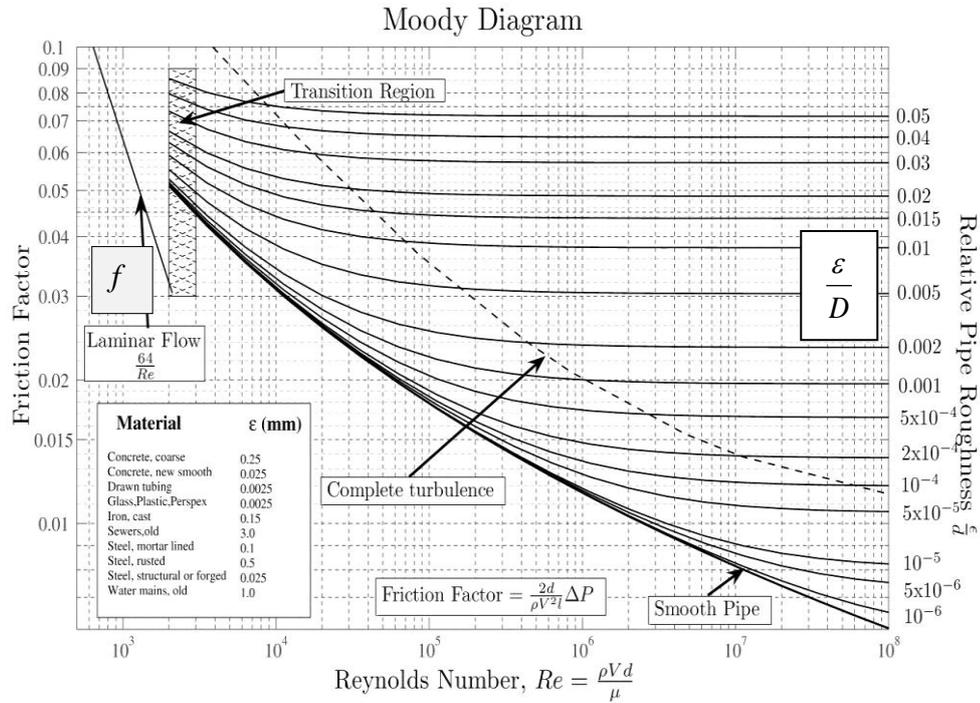
Pipa PVC adalah termasuk pipa licin (*smooth*) sehingga untuk mencari nilai koefisien gesek ( $f$ ) pipa licin menggunakan rumus pada Persamaan (5).

$$f = \frac{\varepsilon}{D} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana nilai koefisien gesek pipa PVC adalah :

$$\varepsilon = 0,0025 \text{ mm}$$

Apabila aliran *laminar* ( $Re < 2000$ ) dan aliran turbulen ( $Re > 2000$ ). Faktor gesekan ( $f$ ) dapat dicari dengan *Moody Diagram* yang terdapat pada Gambar 6 dan hukum *Bernaulli* dinyatakan dengan Persamaan (6).



Gambar 6. Diagram moody

Persamaan Hukum *Bernaulli* dinyatakan dengan :

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 - H_L = H_t + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- H<sub>t</sub> = Head turbin (m)
- H<sub>L</sub> = Headloss (m)
- P = Tekanan (Pa)
- $\rho$  = Massa jenis zat (kg/m<sup>3</sup>)
- g = Percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- V = Kecepatan (m/dt)
- Z<sub>1</sub> = Head elevasi saluran tekan (m)
- Z<sub>2</sub> = Head elevasi saluran isap (m)

**2.5.2.2. Headloss Minor ( $h_m$ )**

Merupakan kerugian *head* pada *fitting* dan *valve* yang terdapat sepanjang sistem perpipaan. *Kerugian headloss minor* dapat dicari dengan menggunakan

$$h_m = f \frac{V^2}{2.g} \dots\dots\dots (7)$$

Persamaan (7).

Dimana :

$h_m$  = *Minor losses* (m)

$f$  = Koefisien kerugian dari *elbow* dan *valve*

Koefisien  $f$  tergantung pada bentuk belokan, penyempitan, katup dan sambungannya. Salah satu faktor *headloss minor* ( $h_m$ ) adalah *headloss* karena perubahan diameter pipa maupun bentuk aliran pipa yang diketahui sebagai ( $h_c$ ). *Losses* ini dapat berupa pengecilan maupun pembesaran diameter pipa. Untuk menentukan *lossses* perubahan diameter ( $h_c$ ), diperlukan nilai koefisien gesekan perubahan penampang pipa. Nilai koefisien gesek aliran perubahan penampang yang terjadi pada suatu aliran pipa terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Harga  $K_c$  penyusutan dan pembesaran pipa

Kc penyusutan		Kc pembesaran perlahan untuk sudut						
D1/D2	Kc	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1,2	0,08	0,02	0,04	0,09	0,16	0,25	0,35	0,37
1,4	0,17	0,03	0,06	0,12	0,23	0,35	0,50	0,53
1,6	0,26	0,03	0,07	0,14	0,26	0,42	0,57	0,61
1,8	0,34	0,04	0,07	0,15	0,28	0,44	0,61	0,65
2,0	0,37	0,04	0,07	0,16	0,29	0,46	0,63	0,68
2,5	0,41	0,04	0,08	0,16	0,30	0,48	0,65	0,70
3,0	0,43	0,04	0,08	0,16	0,31	0,48	0,66	0,71
4,0	0,45	0,04	0,08	0,16	0,31	0,49	0,67	0,72
5,0	0,46	0,04	0,08	0,16	0,31	0,50	0,67	0,72

(Giles, R. V. dan H. Widodo, 2001)

Metode yang umum digunakan untuk menentukan kerugian *head* pengecilan penampang ( $h_c$ ) atau penurunan tekanan adalah dengan menentukan koefisien kerugian kehilangan yang terjadi di dalam pipa dengan menggunakan nilai harga  $K_c$  yang terdapat pada Tabel 2 dan terdapat pada Persamaan (8).

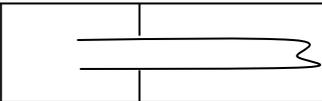
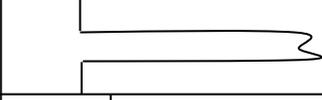
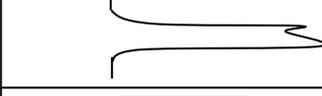
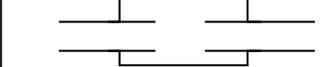
$$h_c = K_c \frac{V^2}{2.g} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

$K_c$  = Koefisien *loss*

$h_c$  = *Losses* penyempitan (m)

Nilai kehilangan energi yang terjadi pada pengecilan pipa biasanya merupakan sambungan langsung yang tertancap pada bendung maupun saluran penampungan, hal tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan pola masukan air kedalam pipa. Pola masuknya air dari saluran penampung ke dalam pipa terdapat pada Gambar 7.

Entrance Type		Loss Coefficient (K)			
Reentrant		0,50			
Square Edge		0,78			
Rounded		r/D	0,02	0,06	≥0,15
		K	0,28	0,15	0,04
Union threaded		0,04			

(New York Crane Company, 1968)

Gambar 7. Pola masuk air dalam pipa



### 2.5.2.3. Total Losses

*Total losses* merupakan total kerugian *head* yang terjadi di sepanjang sistem pipa dan dapat dihitung dengan pendekatan Persamaan (9).

$$h_{tot} = h_f + h_m \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

$h_{tot}$  = *Total losses* (m)

$h_f$  = *Total mayor losses* (m)

$h_m$  = *Total minor losses* (m)