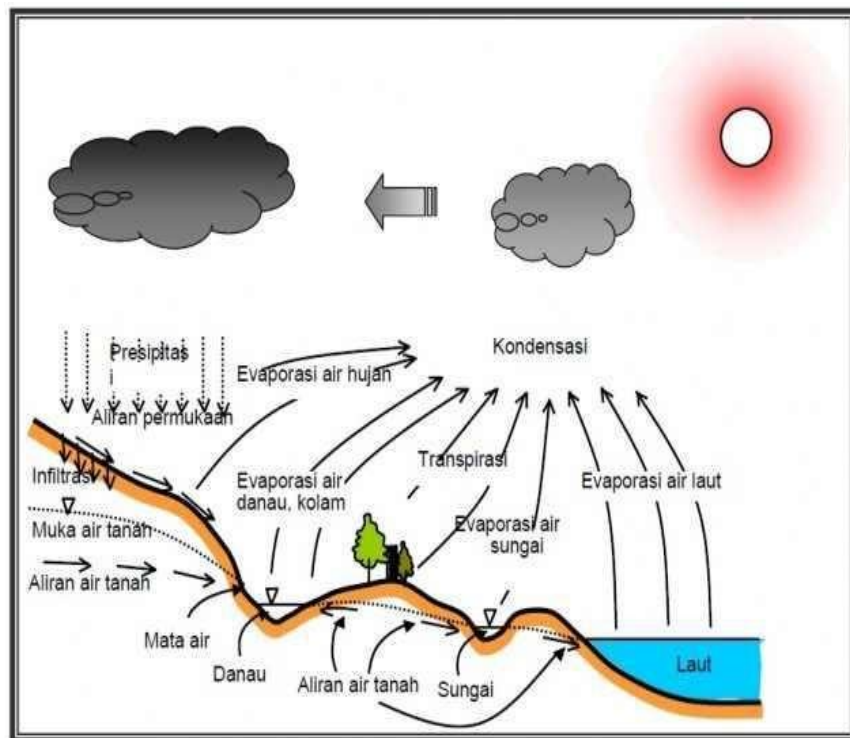


II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi menurut Soemarto (1987) adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali. Secara sederhana siklus hidrologi dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi sebenarnya tidaklah sesederhana seperti yang digambarkan. Yang pertama daur tersebut dapat merupakan daur pendek, yaitu misalnya hujan yang jatuh di laut, danau atau sungai yang segera dapat mengalir kembali ke laut. Kedua, tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh satu daur. Pada musim kemarau kelihatannya daur berhenti sedangkan di musim hujan berjalan kembali. Ketiga, intensitas dan frekuensi daur tergantung pada keadaan geografi dan iklim, yang mana hal ini merupakan akibat dari adanya matahari yang berubah-ubah letaknya terhadap meridian bumi sepanjang tahun. Keempat, berbagai bagian daur dapat menjadi sangat kompleks, sehingga kita hanya dapat mengamati bagian akhirnya saja dari suatu hujan yang jatuh di atas permukaan tanah dan kemudian mencari jalannya untuk kembali ke laut (Soemarto, 2000).

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air dari laut ke atmosfer, ke dalam tanah dan kembali ke laut lagi melalui berbagai cara seperti presipitasi, intersepsi, limpasan, infiltrasi, perkolasi, simpanan air tanah, evaporasi, dan transpirasi, juga cara singkat kembali ke atmosfer tanpa melalui laut. (Varshney, 1979 : 6).

Siklus hidrologi diberi batasan sebagai suksesi tahapan yang dilalui oleh air dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke atmosfer. Siklus hidrologi berguna untuk memberi konsep pengantar mengenai bagaimana air bersirkulasi secara umum dan proses-proses yang terlibat di dalamnya.

Presipitasi dalam segala bentuk (salju, hujan batu es, hujan, dan lain-lain) jatuh ke atas vegetasi, batuan gundul, permukaan tanah, permukaan air dan saluran-saluran air (presipitasi saluran). Air yang jatuh pada permukaan tanah mungkin diintersepsi yang kemudian berevaporasi mencapai permukaan tanah selama waktu atau secara langsung jatuh pada tanah khususnya pada kasus hujan dengan intensitas tinggi dan lama. Sebagian presipitasi berevaporasi selama perjalanannya dari atmosfer dan sebagian pada permukaan tanah. Sebagian presipitasi membasahi permukaan tanah berinfiltrasi ke dalam permukaan tanah dan menurun sebagai perkolasi di bawah muka air tanah. Air ini secara perlahan berpisah melalui akuifer ke aliran sungai.

Air yang berinfiltrasi bergerak menuju sungai tanpa mencapai muka air tanah sebagai aliran bawah permukaan. Air yang berinfiltrasi juga memberikan kehidupan pada vegetasi sebagai lengas tanah. Selaput air tipis yang disebut detensi permukaan, dibentuk pada permukaan tanah, setelah bagian presipitasi yang pertama membasahi permukaan tanah dan berinfiltrasi, detensi permukaan akan menjadi lebih tebal dan aliran air mulai dalam bentuk laminer yang akan berubah menjadi turbulen dengan bertambahnya kecepatan. Aliran ini yang disebut limpasan permukaan. Limpasan disimpan dalam bentuk cadangan depresi, selama perjalanannya mencapai saluran sungai dan menambah debit sungai. Air pada sungai mungkin berevaporasi secara langsung ke atmosfer atau mengalir kembali ke laut dan selanjutnya berevaporasi, kemudian air ini kembali ke permukaan bumi sebagai presipitasi.

2.2 Siklus Limpasan

Siklus limpasan (*runoff cycle*) sebenarnya hanya merupakan penjelasan lebih rinci dari siklus hidrologi, khususnya yang terkait dengan aliran air di permukaan tanah.

1. Komponen-Komponen Limpasan

Limpasan dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu:

- a. Limpasan permukaan (*surface runoff*) adalah air yang mengalir di atas permukaan tanah.
- b. Aliran antara (*interflow*) adalah air yang berinfiltrasi ke permukaan tanah dan bergerak secara lateral melalui lapisan tanah. Gerakannya lebih lambat dibandingkan *surface runoff*.
- c. Aliran bawah tanah (*baseflow*) adalah air hujan yang berperkolasi ke bawah sungai mencapai muka air tanah.

2. Faktor yang Mempengaruhi Limpasan Permukaan

Volume limpasan sangat dipengaruhi oleh karakteristik hujan di daerah tersebut yaitu intensitas hujan, durasi hujan dan distribusi hujan. Selain faktor utama tersebut, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi volume limpasan antara lain:

a. Jenis tanah

Kapasitas infiltrasi tergantung dari permeabilitas tanah yang menentukan kapasitas air simpanan dan mempengaruhi kemampuan air untuk masuk ke lapisan yang lebih dalam.

Pada daerah *permeable*, limpasan mungkin hanya terjadi jika intensitas hujan melampaui daya resap setempat. Sebaliknya pada daerah yang *impermeable*, limpasan dapat terjadi pada intensitas hujan yang lebih rendah atau sedang.

b. Vegetasi

Pengaruh vegetasi pada suatu daerah tergantung dari tingkat kerapatan vegetasi pada daerah tersebut. Semakin rapat vegetasi pada suatu daerah, semakin kecil limpasan yang dihasilkan, sebaliknya semakin gersang suatu daerah, limpasan yang dihasilkan semakin besar.

c. Kemiringan dan ukuran daerah tangkapan

Kemiringan yang tajam menghasilkan limpasan yang lebih besar dibandingkan kemiringan yang landai. (Sharma, 1987). Pada daerah yang kecil, limpasan yang terjadi juga lebih besar dibandingkan pada daerah yang luas. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kecepatan aliran dan lamanya waktu yang dibutuhkan air untuk mencapai tempat keluaran.

d. Koefisien limpasan

Disamping faktor-faktor tersebut perlu diperhatikan bahwa kondisi fisik dari suatu daerah tangkapan tidak homogen. Setiap daerah tangkapan mempunyai limpasan dan respon terhadap hujan yang berbeda. Pada daerah *rural* dimana hanya ada sedikit bagian yang kedap air koefisien limpasan bukan merupakan faktor konstan, sebaliknya nilainya bersifat

variabel dan tergantung pada faktor spesifik daerah dan karakteristik hujan.

$$\text{Runoff (mm)} = K \times \text{Rainfall (mm)} \quad (2.1)$$

Pola limpasan menurut daerah dapat menimbulkan variasi dalam bentuk hidrograf. Bila daerah yang limpasannya tinggi terletak dekat dengan *basin outlet*, maka biasanya akan dihasilkan kenaikan yang cepat dan puncak yang tajam. Sebaliknya limpasan yang lebih tinggi di bagian hulu daerah aliran tersebut menghasilkan kenaikan yang lambat dan puncak yang lebih rendah dan lebar (Linsley, 1989).

Besarnya limpasan dapat diperoleh dengan rumus:

$$RO = qdt \quad (2.2)$$

dengan :

RO = tinggi limpasan (mm),

q = laju limpasan (mm/min),

dt = selisih waktu (min).

2.3 Debit

Debit sungai adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang lintang pada suatu titik tertentu per satuan waktu, pada umumnya dinyatakan $m^3/detik$. Debit sungai diperoleh setelah mengukur kecepatan air dengan alat pengukur atau pelampung untuk mengetahui data kecepatan aliran sungai.

Menurut Asdak (1995), debit adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu.

Rumus umum yang biasa digunakan adalah:

$$Q = v \times A \quad (2.3)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran sungai (m^3/detik)

A = Luas bagian penampang basah (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/detik)

Menurut Soewarno (1991), pengukuran debit dapat dilakukan secara langsung (*direct*) atau tidak langsung (*indirect*). Pengukuran debit dikatakan langsung apabila kecepatan alirannya diukur secara langsung dengan alat ukur kecepatan aliran.

Berbagai alat ukur kecepatan aliran adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung (*floating method*);
2. Pengukuran menggunakan alat ukur arus (*current meter*);
3. Pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan zat warna (*dillution method*).

Menurut Sosrodarsono dan Tekeda (1993), dari cara-cara pengukuran debit di atas cara menghitung debit dengan pengukuran kecepatan dan luas penampang melintang yang paling sering digunakan adalah metode pelampung. Cara tersebut dapat dengan mudah digunakan meskipun aliran permukaan tinggi. Cara ini sering digunakan karena tidak dipengaruhi oleh kotoran atau kayu-kayuan yang hanyut dan mudah dilaksanakan. Pelampung tangkai merupakan satu contoh pelampung yang

digunakan untuk mengukur kecepatan aliran. Dimana pelampung tangkai terbuat dari setangkai kayu atau bambu yang diberi pemberat pada ujung bawahnya. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. Pelampung Tangkai dari Batang Bambu

Pelampung jenis ini memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibanding pelampung jenis lain yang tidak memiliki pemberat. Akan tetapi kedalaman pelampung tidak boleh mencapai dasar sungai sehingga tangkai tidak dipengaruhi oleh bagian kecepatan yang lambat pada lapisan bawah. Jadi hasil yang didapat adalah lebih tinggi dari kecepatan rata-rata sehingga pelampung harus disesuaikan dengan sesuatu koefisien.

Menurut Francis (1856), harga ini dapat dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{v}{u} = 1 - 0,116 (\overline{(1 - \lambda)} - 0,1) \quad (2.4)$$

γ : koefisien

v : kecepatan rata-rata

u : kecepatan pelampung tangkai

$$: \frac{(\text{kedalaman tangkai})}{(\text{kedalaman air})}$$

Pada nilai λ yang tertentu berdasarkan perbandingan kedalaman tangkai dan kedalaman air, koefisien γ dapat ditentukan dengan Tabel 2

Tabel 1. Korelasi Nilai koefisien dan untuk pelampung batang

Koef. λ	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
Koef. γ	0,954	0,961	0,968	0,975	0,981	1,000

Metode lain dalam penentuan kecepatan aliran sungai adalah dengan menggunakan benda apung adalah sebagai berikut :

$$v = L / t \tag{2.5}$$

Keterangan:

v : kecepatan aliran (m/s)

L : jarak tempuh pelampung (m)

t : waktu tempuh (detik)

Untuk pengukuran debit di sungai dapat dibedakan menjadi secara langsung atau tidak langsung. Adapun penjelasannya sebagai berikut :

a. Pengukuran secara langsung

Pengukuran debit sungai secara langsung dilakukan dengan mengukur luas potongan melintang palung sungai dan kecepatan rata-rata airnya. Untuk mengukur kecepatan air digunakan alat pengukur kecepatan air (*current*

meter). Kecepatan air diberbagai titik didalam palung sungai berbeda-beda. Untuk perhitungan diambil kecepatan rata-rata. Cara mengukur kecepatan air dengan *current meter* dan cara mendapatkan harga untuk kecepatan rata-rata dan menghitung debit sungainya.

Debit sungai juga dapat kita ketahui dari tinggi permukaan air di atas dasar kalau sebelumnya sudah kita tentukan lebih dulu hubungan antara tinggi air dan debit. Untuk ini pada berbagai ketinggian air diukur debitnya dan hasilnya digambarkan dengan suatu grafik. Ordinat menunjukkan tinggi muka air di atas dasar sungai sedangkan absisnya menunjukkan debit, lengkung yang diperoleh pada grafiknya disebut *rating curve*. *Rating curve* dapat ditentukan dengan metode kuadrat kecil, regresi, korelasi, atau dengan logaritma.

b. Pengukuran secara tidak langsung

Menentukan debit sungai secara tidak langsung dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

- (1.) Luas penampang palung sungai diukur sedang kecepatan air dihitung secara analitis.
- (2.) Debit sungai dihitung dari bangunan-bangunan air yang terdapat dalam sungai, misalnya gorong-gorong, jembatan, talang siphon, bangunan terjun, bendung. Besar debit aliran yang melalui bangunan itu dihitung dengan rumus hidraulika yang berlaku untuk bangunan yang bersangkutan

(3.) Debit sungai dihitung dari hujan

(4.) Debit sungai dihitung dengan menggunakan rumus – rumus empiris

Cara tidak langsung umumnya dipakai kalau pengukuran secara langsung tidak dapat dilakukan.

2.4 Hidrometri

Hidrometri merupakan ilmu pengetahuan tentang cara-cara pengukuran dan pengolahan data unsur-unsur aliran. Berdasarkan pengertian tersebut berarti hidrometri mencakup kegiatan pengukuran air permukaan dan air bawah permukaan termasuk air di danau, rawa, dan di formasi geologi di bawah permukaan.

Dalam penempatan atau pemilihan stasiun hidrometri, terdapat dua pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu : jaringan hidrologi di seluruh daerah aliran sungai dan kondisi lokasi yang harus memenuhi syarat tertentu. Dalam penempatan dan pemilihan lokasi untuk stasiun hidrometri, harus memperhatikan dan mempertimbangkan beberapa hal di bawah ini : kebutuhan data, keterikatan satu stasiun dengan stasiun lain dan status keberadaan stasiun hidrometri.

Beberapa metode pengukuran dalam hidrometri :

1. Pengukuran dengan ultrasonic
2. Pengukuran dengan elektromagnetik
3. Pengukuran dengan optic
4. Pengukuran dengan memakai *frictionless contacts* dan *electronic counter* dalam *current meter*

5. Pengukuran dengan menggunakan perahu
6. Pengukuran dengan memanfaatkan telemetri
7. Pengukuran dengan menggunakan *transducer*, *digital recorder*, dan *remote sensing*

Stasiun hidrometri merupakan tempat di sungai yang dijadikan tempat pengukuran debit sungai, maupun unsur-unsur aliran lainnya (Sri Harto, 2000). Dalam satu sistem DAS stasiun hidrometri ini dijadikan titik kontrol (*control point*) yang membatasi sistem DAS. Pada dasarnya stasiun hidrometri ini dapat ditempatkan di sembarang tempat sepanjang sungai dengan mempertimbangkan kebutuhan data aliran baik sekarang maupun di masa yang akan datang sesuai dengan rencana pengembangan daerah.

Dalam penempatan atau pemilihan stasiun hidrometri terdapat dua pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Jaringan hidrologi di seluruh DAS
2. Kondisi lokasi yang harus memenuhi syarat tertentu

Menurut Boyer 1964 dan Horst 1979 (dalam Harto, 2000) dalam pemilihan lokasi stasiun hidrometri perlu diperhatikan beberapa syarat yaitu :

1. Stasiun hidrometri harus dapat dicapai (*accessible*) dengan mudah setiap saat dalam segala macam kondisi baik musim hujan maupun musim kemarau
2. Di bagian sungai yang lurus dan aliran yang sejajar dengan jangkau tinggi permukaan yang dapat dijangkau oleh alat yang tersedia
3. Di bagian sungai dengan penampang stabil, dengan pengertian bahwa hubungan antara tinggi muka air dan debit tidak berubah atau perubahan

yang mungkin terjadi kecil. Untuk sungai-sungai kecil atau saluran, apabila tidak dijumpai penampang yang stabil dan sangat diperlukan, penampang sungai/saluran dapat diperkuat dengan pasangan batu/beton.

4. Di bagian sungai yang peka (*sensitive*)
5. Tidak terjadi aliran di bantaran sungai pada saat debit besar
6. Tidak diganggu oleh pertumbuhan tanaman air, agar tidak mengganggu kerja *current meter*, dan tidak mengubah liku kalibrasi (*rating curve*)
7. Tidak terganggu oleh pembendungan di sebelah hilir (*backwater*)

Pengukuran yang langsung dilakukan di stasiun hidrometri meliputi tinggi muka air, kecepatan aliran, luas penampang aliran, dan pengambilan sampel air. Sampel air dianalisis di laboratorium guna mengetahui kandungan atau konsentrasi sedimen melayang (*suspended load*).

Fluktuasi muka air dinyatakan dalam grafik hidrograf muka air (*stage hydrograph*).

Selanjutnya dengan data luas tampang aliran dan kecepatan merata aliran dapat dihitung debit aliran yang berupa hidrograf debit (*discharge hydrograph*).

Dengan diketahui konsentrasi sedimen melayang dan debit aliran air maka dapat diketahui laju angkutan sedimen melayang.

Hasil-hasil analisis atau pengolahan data hidrometri tersebut merupakan masukan utama untuk analisis hidrologi terkait dengan perancangan dan pengelolaan bangunan air, seperti analisis banjir, ketersediaan air, sedimentasi waduk dan lain-lain.

2.5 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan untuk mengetahui karakteristik hidrologi di daerah aliran sungai yang akan ditinjau. Pengertian yang terkandung didalamnya adalah bahwa informasi dan besaran-besaran yang diperoleh dalam analisis hidrologi merupakan masukan penting dalam analisis selanjutnya. Analisis hidrologi digunakan untuk menentukan besarnya debit andalan untuk memperkirakan besar daya listrik yang dapat terbangkitkan. Data untuk penentuan debit andalan pada tugas akhir ini adalah data debit jam-jaman di Way Besai, dimana data debit tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai probabilitas 80% untuk dijadikan debit andalan. Sebelum menghitung debit andalan tersebut, sebelumnya melakukan pengecekan kesesuaian data hujan di Suoh dan data debit di Way Besai. Hal ini dilakukan karena data debit di Way Gunung Lanang tidak ada namun memiliki data curah hujan *real time* di Suoh serta luas DAS dari Way Gunung Lanang, Way Semaka, Way Besai.

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

a. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya

b. Pengecekan keakuratan Metode Regionalisasi

Metode Regionalisasi merupakan suatu metode yang melihat bentuk fisik karakteristik suatu wilayah, dimana dalam ilmu hidrologi adalah DAS (Daerah Aliran Sungai), yang bertujuan agar dapat mengetahui keseragaman suatu DAS.

c. Perhitungan Debit Andalan (*Low Flow Analysis*)

Debit andalan merupakan debit minimal sungai yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk memenuhi kebutuhan air. Analisis ketersediaan air adalah dengan membandingkan kebutuhan air total termasuk kebutuhan air untuk PLTMH dengan ketersediaan air setelah dibandingkan akan didapat kelebihan atau defisit air pada setiap bulannya, baik pada saat musim hujan ataupun musim kemarau. Secara umum debit andalan dinyatakan data aliran sungai/curah hujan dengan debit andalan 80% dan 90% agar PLTMH dapat berfungsi dengan baik termasuk pada musim kemarau. Analisis debit andalan bertujuan untuk mendapatkan potensi sumber air yang berkaitan dengan rencana pembangunan PLTMH. Perhitungan debit andalan dihitung berdasarkan metode FDC .

1. Metode FDC

Debit andalan didapatkan dari *flow duration curve* untuk presentase keandalan yang diperlukan. Debit andalan pada umumnya dianalisis sebagai debit rata-rata untuk periode 10 hari, setengah bulanan atau bulanan. Kemungkinan tak terpenuhi dapat ditetapkan 20%, 30% atau nilai lainnya untuk menilai tersedianya air berkenaan dengan kebutuhan pengambilan (*diversion requirement*).

Debit andalan yang optimal didapatkan melalui analisis dengan menggunakan metode catatan debit sungai dan atau apabila catatan debit itu terdapat bagian yang tidak ada, maka digunakan hasil analisis sebagaimana dijabarkan di atas.

Flow duration curve dilakukan dengan cara data debit pencatatan pos duga muka air untuk jangka waktu tertentu disusun dari angka terbesar hingga terkecil dan tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan *Weibull* berikut ini.

$$P = \frac{i}{n + 1} \quad (x 100 \%) \quad (2.7)$$

dengan :

p = probabilitas terlampaui (%),

i = nomor urut debit,

n = jumlah data debit.

Debit perkiraan dan probabilitas digambarkan dalam *flow duration curve* yang menggambarkan probabilitas/persentase ketersediaan air pada sumbu ordinat dan besar debit andalan pada sumbu aksis.

Debit andalan didapatkan dari *flow duration curve* untuk persentase keandalan yang diperlukan. Catatan debit atau hasil analisis empiris akan dianalisis kembali untuk mendapatkan peluang keandalan yang diperlukan yang dapat dipilih keandalan lebih besar dari persentase tertentu yang telah ditetapkan, misalnya 90%, 80% atau nilai lainnya. Tahap ini dapat menggunakan beberapa metode untuk menentukan seberapa besar keandalan aliran. Hasil dari tahap ini digunakan nilai terkecil yang memungkinkan sehingga didapat jumlah aman debit keandalan.

Dalam (Sandro, 2009) menjelaskan bahwa bentuk grafik dari FDC adalah logaritmik yang memenuhi persamaan berikut :

$$y = \ln((a/x)-1)/b$$

y : Log normalised stream flow

x : Peluang terlampaui

a : Intersep aliran

b : Sebuah konstanta yang mengendalikan kemiringan kurva

Dalam membuat kurva FDC kita harus menentukan debit sungai terlebih dahulu. Debit sungai merupakan laju aliran yang didefinisikan sebagai hasil bagi antara volum air yang terlewati pada suatu penampang per satuan waktu.

Debit (*discharge*, Q) atau laju volume aliran sungai umumnya dinyatakan dalam satuan volum per satuan waktu dan diukur pada suatu titik atau *outlet* yang terletak pada alur sungai yang akan diukur. Besar debit atau aliran sungai diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan aliran yang melalui suatu luasan penampang basah. Metode pengukuran debit ini dikenal dengan istilah metode kecepatan-luas (*velocity-area method*).

Data debit sungai dengan menggunakan hasil pengukuran luas penampang basah dan kecepatan aliran umumnya telah direkap dan diformulasikan dalam suatu persamaan dan kurva tinggi muka air-debit aliran sungai atau lebih dikenal dengan istilah *stage-discharge rating cuve* yang senantiasa dikoreksi untuk setiap kurun waktu atau peristiwa tertentu.

2.6 Aliran pada Saluran Terbuka

Aliran dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun saluran tertutup (*pipe flow*). Pada aliran saluran terbuka terdapat permukaan air yang bebas (*free surface*). Permukaan bebas ini dapat dipengaruhi oleh tekanan udara luar secara langsung. Sedangkan pada aliran saluran tertutup tidak terdapat permukaan yang bebas, hal ini dikarenakan seluruh saluran diisi oleh air. Pada aliran saluran tertutup permukaan air secara tidak langsung dipengaruhi oleh tekanan udara luar, kecuali hanya oleh tekanan hidraulika yang ada dalam aliran saja. Pada aliran saluran terbuka untuk penyederhanaan dianggap bahwa aliran sejajar, kecepatan beragam dan kemiringan kecil.

Dalam hal ini permukaan air merupakan garis derajat hidraulika dan dalamnya air sama dengan tinggi tekanan. Meskipun kedua jenis aliran hampir sama, penyelesaian masalah aliran dalam saluran terbuka jauh lebih sulit dibanding dengan aliran pipa tekan. Hal ini disebabkan karena permukaan air bebas cenderung bebas sesuai dengan waktu dan ruang juga bahwa kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran dan kedudukan permukaan bebas saling bergantung satu sama lainnya. Aliran dalam suatu saluran tertutup tidak selalu merupakan aliran pipa.

Menurut Haryoyo (1999), apabila terdapat permukaan bebas, harus digolongkan sebagai aliran saluran terbuka. Sebagai contoh saluran drainase air hujan yang merupakan saluran tertutup, biasanya dirancang untuk aliran

saluran terbuka sebab aliran saluran drainase diperkirakan hampir setiap saat memiliki permukaan bebas.

Selanjutnya menurut Haryono (1999), penggolongan jenis aliran berdasarkan perubahan kedalaman aliran sesuai dengan perubahan ruang dan waktu di bagi 2, yaitu aliran lunak (*steady flow*) dan aliran tidak lunak (*unsteady flow*).

1. Aliran lunak (*steady flow*). Aliran lunak adalah aliran yang mempunyai kedalaman tetap untuk selang waktu tertentu. Aliran lunak diklasifikasikan menjadi:
 - a. Aliran seragam (*uniform flow*). Aliran saluran terbuka dikatakan seragam apabila ke dalam air sama pada setiap penampang saluran.
 - b. Aliran berubah (*varied flow*). Aliran saluran terbuka dikatakan berubah secara lambat apabila kedalaman air berubah di sepanjang saluran. Aliran berubah terdiri dari atas 2 yaitu aliran berubah secara lambat apabila kedalaman aliran berubah secara lambat dan aliran berubah secara cepat apabila kedalaman aliran berubah secara cepat.
2. Aliran tidak lunak (*unsteady flow*). Aliran tidak lunak adalah aliran yang mempunyai kedalaman tidak tetap untuk selang waktu tertentu. Aliran tidak lunak diklasifikasikan menjadi:
 - a. Aliran seragam tidak lunak (*unsteady uniform flow*). Aliran saluran terbuka dimana alirannya mempunyai permukaan yang

berklasifikasi waktu dan tetap sejajar dengan dasar saluran. Aliran seperti ini jarang ditemukan di lapangan.

- b. Aliran berubah tidak lunak (*unsteady varied flow*). Aliran saluran terbuka dimana kedalaman aliran berubah sepanjang waktu dan ruang. Aliran berubah tidak lunak terdiri dari 2 yaitu aliran yang berubah secara lambat dimana kedalaman aliran berubah sepanjang waktu dan ruang dengan perubahan kedalaman secara lambat, serta aliran tidak lunak berubah secara cepat dimana kedalaman aliran berubah sepanjang waktu dan ruang dengan perubahan kedalaman secara cepat.

Selanjutnya menurut Haryono (1999), kekentalan dan gravitasi dapat mempengaruhi sifat aliran pada saluran terbuka. Tegangan permukaan aliran dalam keadaan tertentu dapat pula mempengaruhi sifat aliran, tetapi pengaruh ini tidak terlalu besar dalam masalah saluran terbuka pada umumnya ditemui dalam dunia rekayasa.

1. Aliran Laminer

Aliran saluran terbuka dikatakan laminer apabila gaya kekentalan (*viscosity*) relatif sangat besar dibandingkan dengan gaya inersia sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Butir-butir aliran bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus dan selapis cairan tipis seolah-olah menggelincir di atas lapisan lain.

2. Aliran Turbulen

Aliran saluran terbuka dikatakan turbulen apabila gaya kekentalan (*viscosity*) relatif lemah dibanding dengan gaya inersia. Butir-butir air

bergerak menurut lintasan tertentu yang tidak teratur, tidak lancar dan tidak tetap walaupun butir-butir tersebut bergerak maju di dalam aliran keseluruhan.

Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas yang dominan, maka alirannya laminar, sedangkan jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen. Nisbah antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam bilangan *reynold* (*re*), yang didefinisikan seperti rumus berikut :

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} \quad (2.8)$$

dimana :

Re = bilangan Reynold

V = kecepatan aliran (m/det)

L = panjang karakteristik (m) pada saluran muka air bebas,

L = R

R = jari-jari hidrolis saluran

ν = kekentalan kinematik (m^2/det)

batas peralihan antara aliran laminar dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan reynold, $R \pm 600$, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik. Dalam kehidupan sehari-hari, aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang ditemui. Aliran jenis ini

mungkin dapat terjadi pada aliran yang kedalamannya sangat tipis di atas permukaan gelas sangat halus dengan kecepatan yang sangat kecil.

a. Aliran subkritis, kritis, dan superkritis

Aliran dikatakan kritis ($Fr = 1$) apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitude kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis ($Fr < 1$), sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis ($Fr > 1$).

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan *Froude* (Fr). Bilangan *Froude* untuk saluran berbentuk persegi didefinisikan sebagai :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (2.9)$$

dimana :

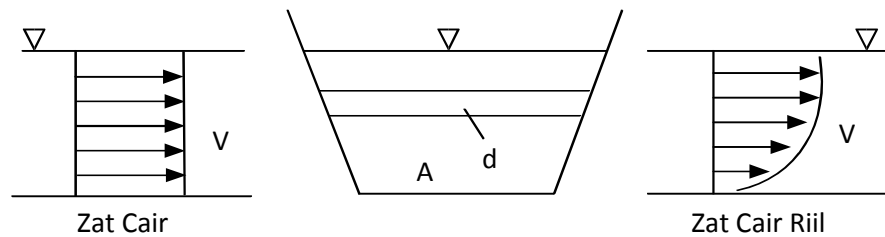
Fr = bilangan Froude

V = kecepatan aliran (m/det)

h = kedalaman aliran (m)

g = percepatan gravitasi (m^2/det)

Di dalam zat cair ideal, dimana tidak terjadi gesekan, kecepatan aliran (V) adalah sama di setiap titik pada tampang lintang.



Gambar 3. Kecepatan Aliran Melalui Saluran Terbuka (Bambang Triatmodjo, 1996)

Menurut Bambang Triatmojo, jika tampang aliran tegak lurus pada arah aliran (A) Maka debit aliran (Q) sebagai berikut :

$$Q = A \times V \text{ (m}^2 \times \text{m / d = m}^3 \text{ / d)} \quad (2.10)$$

dimana :

Q : Debit Aliran

A : Tampang Aliran

V : Kecepatan Aliran

Biasanya, variasi kecepatan pada tampang lintang sering diabaikan, dan kecepatan aliran dianggap seragam di setiap titik pada tampang lintang yang besarnya sama dengan kecepatan merata (V).

Debit banjir rencana merupakan debit air yang direncanakan dan dialirkan oleh pelimpah. Debit tersebut dapat dihitung menggunakan rumus debit aliran melalui pelimpah ambang lebar sebagai berikut :

$$Q = 1.71 C_d B_e H_1^{1.5} \quad (2.11)$$

Dalam hal ini :

Q : Debit limpasan (m³ / dt)

H₁ : Tinggi energi di atas mercu bagian hulu (m)

C_d : Koefisien Debit

B_e : Lebar efektif mercu (m)

2.7 Bangunan Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk energi sumber daya yang terbarukan. Energi yang didapat dihasilkan dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu sehingga dapat menggerakkan turbin serta turbin tersebut dapat membuat generator hidup dan menghasilkan listrik. Oleh karena itu berhasilnya pembangkit listrik dengan tenaga air tergantung dari usaha untuk mendapatkan tinggi terjun air yang cukup dan debit yang cukup besar secara efektif dan produktif.

Tenaga air mempunyai beberapa keuntungan seperti berikut :

1. Bahan bakar untuk PLTU adalah batu bara. Dengan pengertian yang sama, kita dapat mengatakan bahwa bahan bakar untuk PLTA adalah air. Suatu jurnal teknis menamakannya sebagai "batu bara putih". Air sebagai bahan bakar PLTA merupakan sumber daya alam yang terbaru (*renewable resources*). Sedangkan batubara sebagai bahan bakar PLTU merupakan sumber daya alam yang tak terbaru. PLTA dapat dikatakan tanpa limbah. Air yang keluar setelah memutar turbin tetap berguna bagi

daerah di hilirnya seperti untuk irigasi, air bersih, dsb. Sedangkan limbah PLTU perlu pengelolaan agar tidak membahayakan.

2. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTA sangat rendah jika dibandingkan dengan PLTU atau PLTN. Turbin-turbin pada PLTA bisa dioperasikan ataupun dihentikan pengoperasiannya setiap saat.
3. PLTA cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah dioperasikan. Ketangguhan sistemnya dapat lebih diandalkan dibandingkan dengan sumber daya lainnya.
4. Umur peralatan PLTA bisa mencapai lebih dari 50 tahun, lebih lama dibandingkan umur efektif PLTN sekitar 30 tahun.
5. Mengingat kemudahannya untuk memikul beban ataupun melepaskannya kembali, PLTA juga bisa dimanfaatkan sebagai cadangan yang bisa diandalkan pada sistem kelistrikan terpadu antara PLTU, PLTA dan PLTN.
6. Dengan perencanaan yang mutakhir, pembangkit listrik dapat menghasilkan tenaga dengan efisiensi yang sangat tinggi meskipun fluktuasi beban cukup besar.
7. Perkembangan mutakhir yang telah dicapai pada pengembangan turbin air, telah dimungkinkan untuk memanfaatkan jenis turbin yang sesuai dengan keadaan setempat.

8. Pengembangan PLTA dengan memanfaatkan arus sungai dapat menimbulkan juga manfaat lain seperti misalnya pariwisata, perikanan, dsb. Sedangkan jika PLTA memerlukan waduk maka dapat pula dimanfaatkan sebagai irigasi, pengendali banjir, air bersih, dll.

Adapun kelemahan PLTA di antaranya :

1. Hampir semua proyek PLTA merupakan proyek padat modal. Seperti layaknya proyek padat modal yang lain, laju pengembalian modal proyek PLTA adalah rendah.
2. Masa persiapan suatu proyek PLTA pada umumnya memakan waktu yang cukup lama. Semenjak proyek berupa gagasan awal sampai dengan saat pengoperasiannya seringkali membutuhkan waktu sekitar 10 s.d. 15 tahun. Untuk suatu PLTU, masa persiapan pada umumnya lebih singkat.
3. PLTA sangat tergantung pada aliran sungai secara alamiah.

Untuk PLTA jenis bendungan terdiri dari bagian-bagian berikut :

- a. Bendungan (dam) lengkap dengan pintu pelimpah air (*spillway*) serta bendung yang terbentuk di hulu sungai.
- b. Bagian penyalur air (*waterway*)
 1. Bagian penyadapan air (*intake*)
 2. Pipa atau terowongan tekan (*headrace pipe/tunnel*)
 3. Tangki pendatar atau sumur peredam (*surgetank*)
 4. Pipa pesat (*penstock*)
 5. Bagian pusat tenaga (*power house*) yang mencakup turbin dan generator pembangkit listrik

6. Bagian yang menampung air keluar dari turbin untuk dikembalikan ke aliran sungai (*tail race*)
7. Bagian elektromekanik, yaitu peralatan yang terdapat pada pusat tenaga (*power station*) meliputi turbin, generator, crane dan lain-lain.

Besarnya daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan fungsi dari besarnya debit sungai dan tinggi terjun air. Besarnya debit yang dipakai sebagai debit rencana, bisa merupakan debit andalan dari sungai tersebut sepanjang tahunnya atau diambil antara debit minimum dan maksimum, tergantung fungsi yang direncanakan PLTA tersebut.

Besarnya tinggi terjun air terikat pada kondisi geografis di mana PLTA tersebut berada. Panjangnya lintasan yang harus dilalui air dari bendungan ke turbin menyebabkan hilangnya sebagian energi air, oleh karena itu diharapkan agar panjang lintasan untuk pipa dibuat pendek, sehingga didapat energi air yang optimal (tinggi terjun efektif) inilah yang menggerakkan turbin air dan kemudian turbin air ini yang menggerakkan generator. Besarnya daya yang dihasilkan juga tergantung dari efisiensi keseluruhan (*overall efficiency*) PLTA tersebut yang terdiri dari efisiensi hidrolik, yaitu perbandingan antara energi efektif dan energi kotor (bruto), efisiensi turbin dan efisiensi generator.

Dengan demikian besarnya daya yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \rho \times 9,8 \times Q \times h \times \eta \quad (\text{KW}) \quad (2.12)$$

dimana :

$$\rho = \text{densitas air (kg/m}^3 \text{)}$$

Q = debit air (m^3/detik)

h = tinggi terjun air efektif (m)

= efisiensi keseluruhan PLTA

Efisiensi keseluruhan PLTA didapatkan dari :

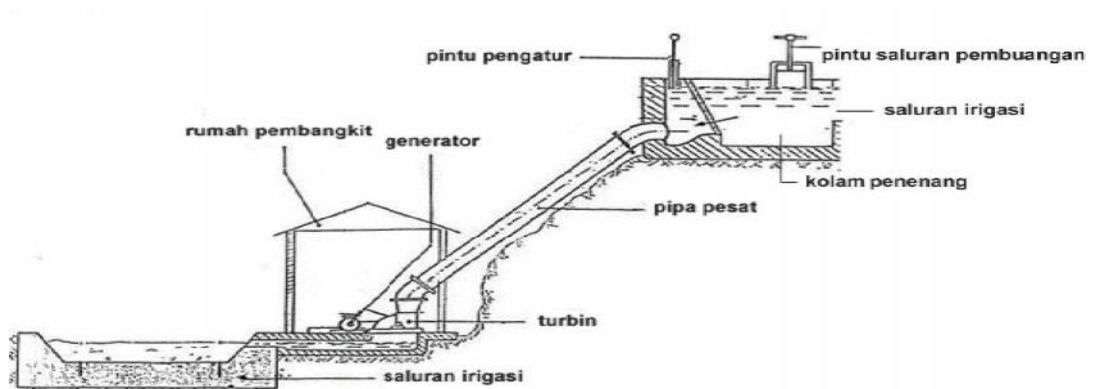
$$= h \times t \times g \quad (2.13)$$

dimana :

h = efisiensi hidrolis

t = efisiensi turbin

g = efisiensi generator



Gambar 4. Perencanaan Tenaga Air

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

a. Kehilangan energi akibat gesekan (primer)

Besar kehilangan energi akibat gesekan (h_f) dapat dihitung dengan persamaan *Darcy – Weisbach*, yaitu :

$$hf = L \times V / D \times 2g \quad (2.14)$$

dimana :

= koefisien gesekan

D = diameter saluran (m)

L = panjang saluran (m)

g = gaya gravitasi bumi (m²/detik)

v = kecepatan air di saluran (m/s)

2.8 Sistem Informasi Geografis

SIG adalah sistem yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data, manusia (*brainware*), organisasi dan lembaga yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan menyebarkan informasi-informasi mengenai daerah-daerah di permukaan bumi.

(Chrissman, 1997).

SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa, dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang diolah pada SIG adalah data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti lokasi, kondisi, tren, pola dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dengan sistem informasi lainnya.

Secara umum pengertian SIG sebagai berikut:

” Suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis ”.

SIG dapat diuraikan menjadi beberapa subsistem sebagai berikut :

a. *Data Input*

Subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan, mempersiapkan, dan menyimpan data spasial dan atributnya dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengonversikan atau mentransformasikan format-format data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh perangkat SIG yang bersangkutan.

b. *Data Output*

Sub-sistem ini bertugas untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran (termasuk mengekspornya ke format yang dikehendaki) seluruh atau sebagian basis data (spasial) baik dalam bentuk softcopy maupun hardcopy seperti halnya tabel, grafik, report, peta, dan lain sebagainya.

c. *Data Management*

Sub-sistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun tabel-tabel atribut terkait ke dalam sebuah sistem basis data sedemikian

rupa hingga mudah dipanggil kembali atau *diretrieve*, *diupdate*, dan *diedit*.

d. *Data Manipulation & Analysis*

Sub-sistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu sub-sistem ini juga melakukan manipulasi (evaluasi dan penggunaan fungsifungsi dan operator matematis & logika) dan pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

Telah dijelaskan di awal bahwa SIG adalah suatu kesatuan sistem yang terdiri dari berbagai komponen, tidak hanya perangkat keras komputer beserta dengan perangkat lunaknya saja akan tetapi harus tersedia data geografis yang benar dan sumber daya manusia untuk melaksanakan perannya dalam memformulasikan dan menganalisa persoalan yang menentukan keberhasilan SIG.

1. Data Spasial

Data spasial adalah data yang berorientasi geografis, memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang membuatnya berbeda dari data lain, yaitu informasi lokasi (spasial) dan informasi deskriptif (atribut) yang dijelaskan berikut ini :

- a. Informasi lokasi (spasial), berkaitan dengan suatu koordinat baik koordinat geografi (lintang dan bujur) dan koordinat XYZ, termasuk di antaranya informasi datum dan proyeksi.

- b. Informasi deskriptif (atribut) atau informasi non spasial, suatu lokasi yang memiliki beberapa keterangan yang berkaitan dengannya, contohnya : jenis vegetasi, populasi, luasan, kode pos, dan sebagainya.

Data spasial yang dibutuhkan pada SIG dapat diperoleh dengan berbagai cara, salah satunya melalui survei dan pemetaan yaitu penentuan posisi/koordinat di lapangan.

1. Peta, Proyeksi Peta, Sistem Koordinat, Survey dan GPS

Berdasarkan desain awalnya tugas utama SIG adalah untuk melakukan analisis data spasial. Dilihat dari sudut pemrosesan data geografik, SIG bukanlah penemuan baru. Pemrosesan data geografik sudah lama dilakukan oleh berbagai macam bidang ilmu, yang membedakannya dengan pemrosesan lama hanyalah digunakannya data digital. Adapun tugas utama dalam SIG adalah sebagai berikut :

1. Input data.
2. Pembuatan peta.
3. Manipulasi data.
4. Manajemen file
5. Analisis query
6. Memvisualisasi hasil

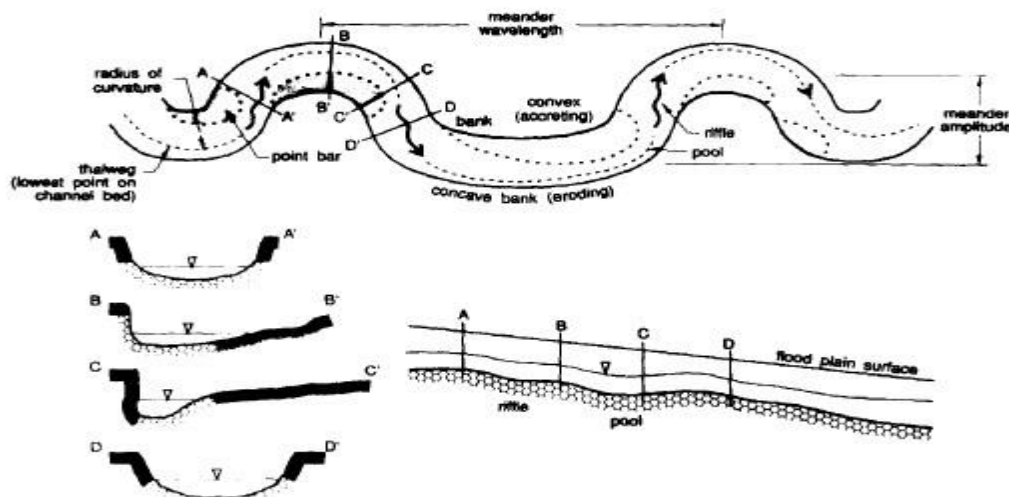
2.9 Sungai

Sungai merupakan salah satu unsur penting dalam siklus air di bumi, oleh karena itu pemahaman perilaku sungai dan pengelolaannya merupakan

pengetahuan penting dalam keteknikan pertanian, demikian pula ahli bidang ilmu lain. Ahli lingkungan misalnya, meneliti sedimen sungai yang berasal dari buangan limbah serta pengaruhnya terhadap lingkungan.

Sedangkan ahli teknik keairan, mengelola sungai untuk keperluan *reservoir*, perencanaan bangunan dan penanggulangan daya rusak air.

Untuk keperluan tersebut, diperlukan pengetahuan tentang sungai dan pengalirannya, seperti morfologi sungai, sejarah perkembangan sungai serta pola pengaliran sungai.



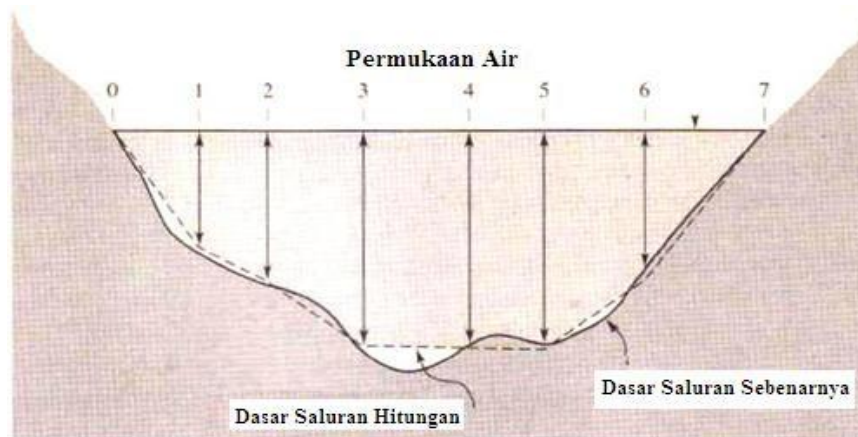
Gambar 5. Morfologi Sungai dan Bentuk Pengalirannya

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sungai itu dapat digunakan juga untuk berbagai jenis aspek seperti pembangkit tenaga listrik, pelayaran, pariwisata, perikanan, dan lain – lain. Dalam bidang pertanian sungai berfungsi sebagai sumber air yang penting untuk irigasi (Sosrodarsono dan Takeda, 1993).

Dua proses penting dalam sungai adalah erosi dan pengendapan, yang dipengaruhi oleh jenis aliran air dalam sungai yaitu:

- a. *Aliran laminar* : jika air mengalir dengan lambat, partikel akan bergerak ke dalam arah paralel terhadap saluran.
- b. *Aliran turbulen* : jika kecepatan aliran berbeda pada bagian atas, tengah, bawah, depan dan belakang dalam saluran, sebagai akibat adanya perubahan friksi, yang mengakibatkan perubahan gradien kecepatan. Kecepatan maksimum pada aliran turbulen umumnya terjadi pada kedalaman $1/3$ dari permukaan air terhadap kedalaman sungai.

Pembagian penampang sungai untuk pengukuran lebar sungai dan kedalaman adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Pembagian Penampang Melintang Sungai

Sungai adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang di samping mengalirkan air juga mengangkut sedimen yang terkandung dalam air sungai tersebut. Jadi sedimen terbawa hanyut oleh aliran air, yang dapat dibedakan sebagai muatan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*). Sedang muatan melayang terdiri dari butiran halus, senantiasa melayang di dalam aliran air. Untuk butiran yang sangat halus, walaupun air tidak lagi

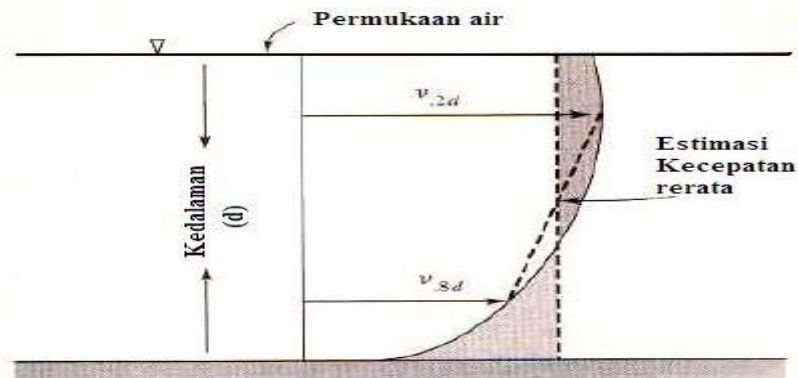
mengalir, tetapi butiran tersebut tidak mengendap serta airnya tetap saja keruh dan sedimen semacam ini disebut muatan kikisan (*wash load*).

Untuk kebutuhan usaha pemanfaatan air, pengamatan permukaan air sungai dilaksanakan pada tempat-tempat dimana akan dibangun bangunan air seperti bendungan, bangunan-bangunan pengambil air dan lain-lain. Untuk kebutuhan usaha pengendalian sungai atau pengaturan sungai, maka pengamatan itu dilaksanakan pada tempat yang dapat memberikan gambaran mengenai banjir termasuk tempat-tempat perubahan tiba-tiba dari penampang sungai (Sosrodarsono dan Takeda, 1993).

Sungai seringkali dikendalikan atau dikontrol supaya lebih bermanfaat atau mengurangi dampak negatifnya terhadap kegiatan manusia.

Berdasarkan kemanfaatan bangunan penyusun sungai, bagian sungai dapat dikelompokkan menjadi beberapa komponen yaitu :

- a. Bendung dan bendungan dibangun untuk mengontrol aliran, menyimpan air atau menghasilkan energi.
- b. Tanggul dibuat untuk mencegah sungai mengalir melampaui batas dataran banjirnya.
- c. Kanal-kanal dibuat untuk menghubungkan sungai-sungai untuk mentransfer air maupun navigasi
- d. Badan sungai dapat dimodifikasi untuk meningkatkan navigasi atau diluruskan untuk meningkatkan rerata aliran.



Gambar 7. Profil Distribusi Kecepatan Aliran Sungai

2.10 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

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*.

Seperti dikatakan di atas, Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Daya output yang dihasilkan PLTMH.

1. *Large-hydro* : Daya di atas 100 MW
2. *Medium-hydro* : Antara 15 MW – 100 MW
3. *Small-hydro* : Antara 1 MW – 15 MW
4. *Mini-hydro* : Antara 100 KW- 1 MW
5. *Micro-hydro* : Antara 5 KW – 100 KW
6. *Pico-hydro* : Ratusan watt – 5 KW

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), biasa disebut mikrohidro, adalah suatu pembangkit listrik kecil yang menggunakan tenaga air dengan kapasitas tidak lebih dari 100 kW yang dapat berasal dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan debit air (Prayogo, 2003).

Umumnya PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air jenis *run-off river* dimana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama pada suatu tempat dimana *head* yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan melalui pipa pesat air diterjunkan untuk memutar turbin yang berada di dalam rumah pembangkit. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

Berikut adalah beberapa kelebihan PLTMH sehingga cocok untuk dimanfaatkan :

- Merupakan sumber daya terbarukan
- Biaya operasional dan pemeliharaan lebih murah dibanding mesin dengan energi fosil
- Penerapannya relatif mudah dan ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi udara dan suara
- Efisiensinya tinggi
- Aman bila dipakai untuk memompa air, karena tidak digerakkan motor listrik. Selain itu efisiensinya lebih baik.
- Produk sampingan seperti air keluaran bisa dimanfaatkan untuk keperluan irigasi. Selain itu panas yang dihasilkan juga bisa dipakai.
- Masyarakat yang menikmati manfaat mikrohidro dapat membantu menjaga kondisi lingkungan daerah tangkapan airnya.

Berikut adalah beberapa kekurangan PLTMH yang ada di Indonesia sehingga perlu dicari solusinya :

- Biaya investasi untuk teknologi mikrohidro masih tinggi.
- Kurangnya sosialisasi PLTMH, terutama potensinya sebagai penggerak mekanis seperti pompa air, penggiling padi, dll
- Diperlukan sosialisasi mengenai dampak positif penerapan mikro hidro terhadap pengembangan kegiatan sosial ekonomi masyarakat pedesaan seperti industri kecil/rumah, perbengkelan, pertanian, peternakan, pendidikan, dll.

2.10.1 Komponen PLTMH

- *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*).

- *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.

- *Headrace* (Saluran Pembawa)

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

- *Headtank* (Bak Penenang)

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

- *Penstock* (Pipa Pesat/*Penstock*)

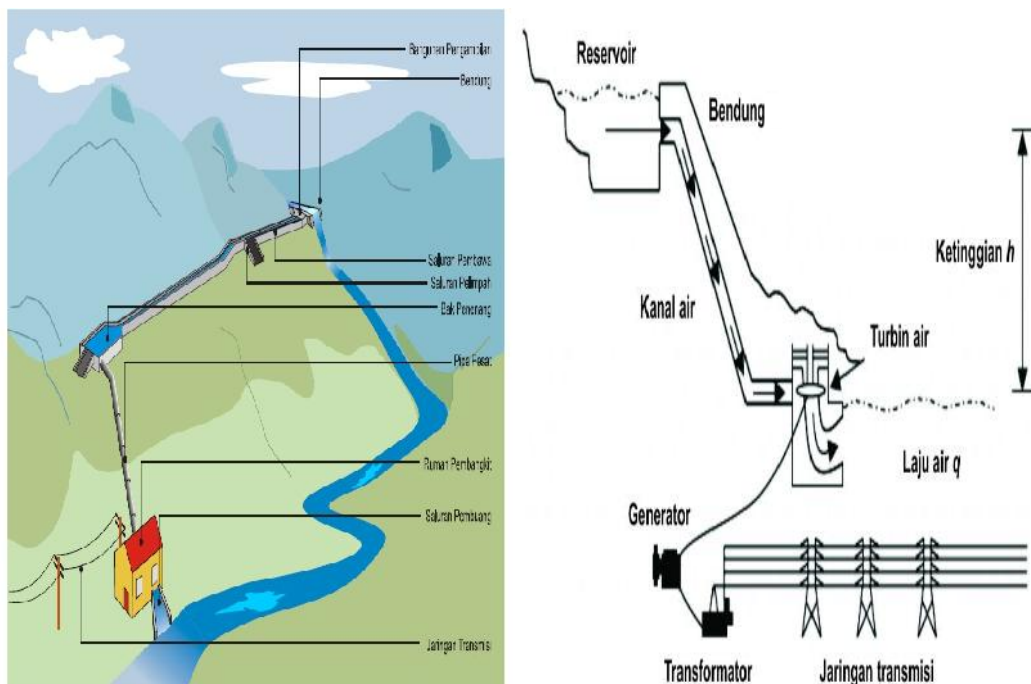
Penstock dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin.

- 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, dimana diberi tenaga oleh skema hidro, disebut dengan 'Beban' (*Load*).



Gambar 8. Komponen dan Instalasi PLTMH

2.10.2 Mekanisme Kerja PLTMH

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu :

- Air (sumber energi),
- Turbin dan
- Generator

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.

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 dilanjutkan dengan 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 sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih. Saluran ini dibuat 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

(*penstock*). Saluran ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat.

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk keturbin. 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. Pondasi dan dudukan ini diusahakan selurus mungkin, karena itu perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah.

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. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan. Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian inlet. Di dalamnya terdapat *guided vane* untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke *runner/blade* (komponen utama turbin). *Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua 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 *kerunner*. 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 kegenerator 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), langsung, yaitu menggunakan sabuk atau *belt* untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar.

Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt*, sedang *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 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.

2.10.3 Aspek Teknologi

Berdasarkan aspek teknologi terdapat keuntungan pada pembangunan dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lain, yaitu :

1. Konstruksinya relatif mudah

2. Pemeliharaan yang mudah dan dengan biaya yang murah
3. Dapat dioperasikan dan dirawat oleh masyarakat pedesaan

2.10.4 Aspek Sosial Ekonomi

Selain dapat menyediakan listrik untuk kebutuhan rumah tangga, kehadiran PLTMH juga dapat membantu menyediakan energi yang dapat dimanfaatkan untuk kegiatan – kegiatan produktif terutama pada siang hari ketika beban listrik rendah. Berdasarkan sudut pandang ini maka kelebihan PLTMH :

1. Meningkatkan produktivitas dan aktivitas ekonomi masyarakat pedesaan
2. Menciptakan lapangan lapangan kerja baru di pedesaan

2.10.5 Aspek Pengembangan Kelembagaan Masyarakat

Pengoperasian PLTMH menuntut adanya suatu lembaga tersendiri yang menjalankan fungsi – fungsi pengelolaan dan perawatan. Lembaga tersebut akan menambah keberadaan lembaga yang sudah ada di desa dan secara tidak langsung dapat menjadi media pengembangan kapasitas masyarakat.

2.10.6 Aspek Lingkungan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ramah terhadap lingkungan karena tidak menghasilkan polusi udara atau limbah lainnya dan tidak merusak ekosistem sungai.