

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Konsep Dasar Pembangkit Listrik Tenaga MikroHidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air dari aliran sungai atau air terjun kecil untuk menghasilkan listrik. PLTMH biasanya memiliki kapasitas dibawah 100Kw dan ideal untuk daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik nasional.

Pada dasarnya, PLTMH memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Disamping factor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Perbedaan tinggi yang semakin besar membuat energi potensialnya semakin besar juga. Perbedaan tinggi dalam PLTMH disebut dengan tinggi jatuh air (*head*), tinggi jatuh air tersebut nantinya akan dikalikan dengan hambatan-hambatan lain agar didapatkan tinggi jatuh efektif.

Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

Ada beberapa jenis PLTA Seperti:

- PLTA Piko : Pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya < 500W
- PLTA Mikro : pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan batasan kapasitas daya dari 0,5 kW - 100 Kw
- PLTA Mini : Pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai Batasan kapasitas daya dari 100 kW- 1000 kW
- PLTA Kecil : pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas listrik yang dihasilkan 1000 kW - 10.000 kW
- PLTA Besar : pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas listrik yang dihasilkan > 10.000 kW.

## 2.2. Analisa Debit Andalan

Debit andalan di definisikan sebagai debit yang tersedia sepanjang tahun dengan resiko kegagalan tertentu. Menurut pengalaman dan berdasarkan pengalaman, Besar debit andalan untuk berbagai keperluan adalah sebagai berikut (Limantara, 2010):

- Air Minum 99% (Sering kali mendekati 100%)
- Industri 95 – 98%
- Irigasi (Setengah lembap) 70 – 85%
- Kering 80 – 95%
- PLTA 85 – 90%

Untuk PLTA umumnya dipakai peluang 97,3% karena dalam 1 tahun biasanya turbin dan generator akan mengalami turun mesin (*overhaul*) selama kurang lebih 10 hari. Dengan demikian, dalam 1 tahun PLTA beroperasi efektif selama kurang lebih  $365 - 10 = 355$  hari, yaitu  $(355/365) \times 100\% = 97,3\%$ .

Dalam melakukan analisis debit andalan terlebih dahulu ditentukan factor koreksi debit aliran sebagai debit andalan atau debit minimum. Faktor koreksi dinyatakan dalam satuan persen (%) besarnya berbeda-beda tergantung dari keperluan debit aliran untuk kegiatan apa. Ada beberapa metode untuk melakukan analisa debit andalan, antara lain (Limantara, 2010):

1. Metode debit Rata – rata minimum
2. Metode *Flow Characteristic*
3. Metode tahun dasar perencanaan
4. Metode bulan dasar perencanaan
5. Metode F.J. Mock

Masing-masing metode mempunyai karakteristik sendiri dan penggunaan metode sesuai dengan kebutuhan.

### 2.2.1 Metode debit rata– rata minimum

Metode Debit Rata-rata Minimum mempunyai karakteristik sebagai berikut (Limantara, 2010):

- a. Dalam satu tahun data hanya diambil satu data, biasanya diambil data debit rata-rata harian dalam satu tahun. Misal tersedia 10 tahun data debit, maka yang dipakai analisa adalah debit rata-rata tahunan sehingga jumlah data adalah 10 debit rata-rata tahunan.
- b. Metode ini cocok untuk:
  - Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum tidak terlalu besar dari tahun ke tahun.
  - Kebutuhan relative konstan sepanjang tahun.

### 2.2.2 Metode Flow Characteristic

Metode *Flow Characteristic* berhubungan dengan basis / dasar tahun normal, tahun kering, dan tahun basah (*Limantara, 2010*) dengan penjelasan sebagai berikut:

- a) Debit berbasis tahun normal adalah jika debit rata – rata tahunannya kurang lebih sama dengan debit rata – rata keseluruhan tahun ( $Q_{rt} \approx Q_r$ ).
- b) Debit berbasis tahun kering adalah jika debit rata – rata tahunannya lebih kecil dari debit rata – rata keseluruhan tahun ( $Q_{rt} = Q_r$ )
- c) Debit berbasis tahun basah adalah jika debit rata – rata tahunannya lebih kecil dari debit rata – rata keseluruhan tahun ( $Q_{rt} = Q_r$ )

Keterangan  $Q_{rt}$  adalah debit rata – rata tahunan, sedangkan  $Q_r$  adalah debit rata – rata semua tahun, adapun metode *Flow Characteristic* cocok Untuk:

- DAS dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum relative besar dari tahun ke tahun.
- Kebutuhan relative tidak konstan sepanjang tahun.
- Data yang tersedia cukup panjang.

Keandalan berdasarkan kondisi debit dibedakan menjadi 4 kondisi, antara lain:

- a) Debit air musim kering, yaitu debit yang dilampaui oleh debit - debit sebanyak 355 hari dalam 1 tahun, jadi keandalannya:  $(355/365) \times 100\% = 97,3\%$ .

- b) Debit air rendah, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 275hari dalam 1 tahun, jadi keandalannya:  $(275/365) \times 100\% = 75,3\%$ .
- c) Debit air normal, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 185hari dalam 1 tahun, jadi keandalannya:  $(185/365) \times 100\% = 50,7\%$ .
- d) Debit air cukup, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 95 hari dalam 1 tahun, jadi keandalannya:  $(95/365) \times 100\% = 26,0\%$ .

### 2.2.3 Metode tahun dasar perencanaan

Analisa debit andalan menggunakan metode tahunan dasar perencanaan biasanya digunakan dalam perencanaan atau pengelolaan irigasi (Limantara,2010). Umumnya di bidang irigasi dipakai debit dengan keandalan 80% sehingga rumus untuk menentukan tahun dasar perencanaan adalah sebagai berikut :

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$R_{80}$  = Debit yang terjadi adalah 20% dan  $\geq R_{80}$

$n$  = Kala ulang pengamatan yang di inginkan

Angka 5 Didapat dari  $(100\%) / (100\% - 80\%) = 5$  jadi akan dicari  $R_{90}$  Berarti =  $(100\%)/(100\% - 90\%) = 10$  Sesuai dengan rumus diatas jumlah data  $n = 20$

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1 = 20 \frac{20}{5} + 1 = 5$$

Berarti yang dipakai sebagai dasar perencanaan dalam khusus ini adalah data hujan tahunan yang ke 5 yaitu pada tahun 1991. Dengan demikian, data hujan dan data debit yang di pakai pada perencanaan ini adalah tahun 1991.

### 2.2.4 Metode bulan dasar perencanaan

Analisa debit andalan menggunakan metode bulan dasar perencanaan hampir sama dengan metode *flow characteristic* yang dianalisa untuk bulan- bulan tertentu. Metode ini paling sering digunakan karena keandalan debit dihitung mulai bulan januari sampai dengan bulan desember. Hasilnya berupa keandalan debit tiap bulan mulai januari sampai dengan desember, jadi lebih bisa menggambarkan keandalan pada musim kemarau dan musim penghujan.

Log Q rerata = 0,710

Simp baku (S) = 0,050

Skew ness (Cs) = 0,382

Untuk debit andalan 80% yang didapat:

G = -0,8146 sehingga:

$\text{Log } X = \log X + G \times S$

$\text{Log } X = 0,710 - 0,8146 \times 0,050$

$\text{Log } X = 0,6692 \quad X = 4,669 \text{ m}^3/\text{detik}$

Jadi debit andalan dari 80% (untuk bulan januari) adalah 4,669 m<sup>3</sup>/detik

### 2.2.5 Metode F.J. Mock

Metode ini dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Pada dasarnya metode ini adalah hujan yang jatuh pada catchment area sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi aliran permukaan (direct run off) dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Dalam penelitian ini debit andalan merupakan debit yang memiliki probabilitas 80%. Debit dengan probabilitas 80% adalah debit yang memiliki kemungkinan terlampaui sebesar 80% dari 100% kejadian. Jumlah data minimum yang diperlukan untuk analisis adalah lima tahun dan pada umumnya untuk memperoleh nilai yang baik data yang digunakan hendaknya berjumlah 10 tahun data (Direktorat Jenderal Pengairan, 1986).

Pada tahun 1973, Dr. F.J. Mock telah memperkenalkan metode penghitungan aliran sungai dengan menggunakan data curah hujan, evapotranspirasi potensial, dan karakteristik hidrologi DAS untuk memprediksi besar debit sungai dengan interval waktu bulanan. Cara ini dikenal dengan nama model Dr. Mock.

Ketentuan perhitungan yang di perlukan dalam metode Mock adalah sebagai berikut: (Hesti, 2011).

- a. Data meteorologi, yaitu (data curah hujan bulanan, dan data hari hujan)
- b. Data klimatologi/iklim, yaitu (data suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan penyinaran matahari)
- c. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah perpaduan dua istilah yakni evaporasi dan transpirasi. Evaporasi yaitu penguapan di atas permukaan tanah, sedangkan transpirasi yaitu penguapan melalui permukaan dari air yang semula diserap oleh tanaman. Atau

dengan kata lain, evapotranspirasi adalah banyaknya air yang menguap dari lahan dan tanaman dalam suatu petakan karena panas matahari (Asdak, 1995). Dalam metode simulasi perimbangan air dari Dr. F.J.Mock evapotranspirasi yang diperhitungkan ialah evapotranspirasi actual. Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak tertutupi tumbuhan hijau (exposed surface) pada musim kemarau. Besarnya exposed surface (m) untuk tiap daerah berbeda-beda. F.J. Mock mengklasifikasikan menjadi beberapa daerah dengan masing-masing nilai exposed surface. Penentuan harga evapotranspirasi actual ditentukan berdasarkan rumus:

$$Et = ETo \times d/30 \times m; \text{ atau } Et$$

$$= ETo \times (m / 20) \times (18-n)$$

$$Ea = ETo - Et$$

dimana :

$$Ea = \text{Evapotranspirasi aktual (mm)}$$

$$Et = \text{Evapotranspirasi terbatas (mm)}$$

$$Eto = \text{Evapotranspirasi potensial (mm)}$$

$$d = 27 - (3/2) \times n$$

$$n = \text{jumlah hari hujan dalam sebulan}$$

m = Perbandingan permukaan tanah tanah yang tidak tertutup dengan tumbuh-tumbuhan penahan hujan koefisien yang tergantung jenis areal dan musiman dalam % , m = 0% untuk lahan dengan hutan lebat, m = 0% untuk lahan dengan hutan sekunder pada akhir musim dan bertambah 10 % setiap bulan berikutnya. m = 10 – 40% untuk lahan yang erosi , m = 30 –50 % untuk lahan pertanian yang diolah ( sawah ).

Sementara itu diperlukan besarnya nilai evapotranspirasi potensial (Et0). Untuk mendapatkan nilai evapotanspirasi potensial ini terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Salah satunya ialah metode Penman Modifikasi. Metode Penman adalah metode penduga evapotanspirasi terbaik yang direkomendasikan FAO sebagai metode standar sedangkan metode penduga lain baik digunakan pada

iklim tertentu (Lascano dan Bavel 2007; Smith 1992)

Metode Penman Modifikasi (FAO) digunakan untuk luasan lahan dengan data pengukuran temperatur, kelembaban, kecepatan angin dan lama matahari bersinar. Cara Penman menurut diubah sesuai nilai  $E_t0$  untuk iklim dan tempat tertentu. Perhitungan  $E_t0$  dengan menggunakan persamaan Penman Modifikasi, dilakukan dengan menyelesaikan persamaan sebagai berikut (Dinas PU KP-01,1986):

$$E_t0 = c \times \{W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)\}$$

$$R_n = R_{ns} - R_{n1}$$

$$R_{ns} = R_s \times (1 - \alpha)$$

$$R_s = \{(0,25 + 0,50 (n/N))\} \times R_a$$

$$R_{n1} = f(T) \times f(e_d) \times f(n/N)$$

$$f(e_d) = 0,34 - 0,044 \times e_d^{0,5}$$

$$e_d = RH \times e_a$$

$$f(n/N) = 0,10 + 0,9 (n/N)$$

$$f(u) = 0,27 \times \{1 + (u/100)\}$$

dimana:

$$E_t0 = \text{Evapotranspirasi acuan (mm/hari)}$$

$$c = \text{Faktor koreksi terhadap perbedaan cuaca khususnya kecepatan angin antara siang dan malam;}$$

$$W = \text{Faktor koreksi temperatur terhadap radiasi;}$$

$$1 - W = \text{Faktor pembobot;}$$

$$f(u) = \text{Faktor pengaruh kecepatan angin (km/hari);}$$

$$u = \text{Kecepatan angin pada ketinggian 2m (km/jam);}$$

$$R_n = \text{Radiasi netto (mm/hari);}$$

$$e_a = \text{Tekanan uap jenuh (mbar);}$$

$$e_d = \text{Tekanan uap nyata (mbar);}$$

$$RH = \text{Kelembaban relatif (\%);}$$

$$e_a - e_d = \text{Perbedaan antara tekanan uap jenuh pada temperatur rata-rata udara dengan tekanan rata-rata air di udara yang sebenarnya;}$$

$$R_{ns} = \text{Radiasi netto gelombang pendek,}$$

dimana

$\alpha$  = 0,25;  $R_{nl}$  = Radiasi netto gelombang panjang (mm/hari);  $R_s$  = Radiasi gelombang pendek (mm/hari);

$R_a$  = Radiasi Extra Terrestrial atau radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer (mm/hari);

$f(T)$  = Fungsi Temperatur;

$f(e_d)$  = Fungsi tekanan uap nyata

$f(n/N)$  = Fungsi rasio lama penyinaran;

$n$  = Rata-rata lama cahaya matahari yang sebenarnya (jam/hari);

$N$  = Lama matahari maksimum yang mungkin terjadi;

$n/N$  = Presentasi penyinaran matahari (%)

Adapun nilai  $W$ ,  $e_a$ ,  $f(T)$ ,  $R_a$  dan  $c$  didapatkan berdasarkan tabel 2.1, tabel 2.2 dan tabel 2.3.

***Tabel 2.1 Hubungan  $T$  dengan  $E_a$ ,  $W$  dan  $f(T)$***

| Suhu (T) | Ea   | W                  | (1 – W) | F (T) |
|----------|------|--------------------|---------|-------|
|          | Mbar | Elevasi 1 – 2000 m |         |       |
| 27,2     | 37.8 | 0,77               | 0,22    | 16,16 |
| 26,5     | 34.5 | 0,76               | 0,24    | 16,01 |
| 27,2     | 35.8 | 0,76               | 0,23    | 16,16 |
| 27,5     | 36.6 | 0,77               | 0,23    | 16,22 |
| 27,3     | 36.2 | 0,77               | 0,22    | 16,18 |
| 27,9     | 35.1 | 0,76               | 0,23    | 16,09 |
| 26,2     | 33.9 | 0,75               | 0,24    | 15,94 |
| 26,4     | 33.9 | 0,76               | 0,23    | 15,98 |
| 27,0     | 35.3 | 0,76               | 0,23    | 16,11 |
| 27,6     | 13.7 | 0,50               | 0,49    | 16,24 |
| 27,6     | 42.8 | 0,76               | 0,23    | 16,24 |
| 27,1     | 35.8 | 0,76               | 0,23    | 16,13 |



***Tabel 2.2 Angka Angot (Ra) Untuk Daerah Indonesia Antara 4° Ls - 10° Ls***

| Bulan     | Letak Lintang |       |       |        |
|-----------|---------------|-------|-------|--------|
|           | 4° Ls         | 6° Ls | 8° Ls | 10° Ls |
| Januari   | 15,5          | 15,8  | 16,1  | 16,1   |
| Februari  | 15,8          | 16,0  | 16,1  | 16,0   |
| Maret     | 15,6          | 15,6  | 15,5  | 15,3   |
| April     | 14,9          | 14,7  | 14,4  | 14,0   |
| Mey       | 13,8          | 13,4  | 13,1  | 12,6   |
| Juni      | 13,2          | 12,8  | 12,4  | 12,6   |
| Juli      | 13,4          | 13,1  | 12,7  | 11,8   |
| Agustus   | 14,3          | 14,0  | 13,7  | 12,2   |
| September | 15,1          | 15,0  | 14,9  | 13,3   |
| Oktober   | 15,6          | 15,7  | 15,8  | 14,6   |
| November  | 15,5          | 15,8  | 16,0  | 15,6   |
| Desember  | 15,4          | 15,7  | 16,0  | 16,0   |

***Tabel 2.3 Angka Koreksi (c) Bulanan Untuk Rumus Penman***

| Bulan     | C    |
|-----------|------|
| Januari   | 1,04 |
| Februari  | 1,05 |
| Maret     | 1,06 |
| April     | 0,9  |
| Mey       | 0,9  |
| Juni      | 0,9  |
| Juli      | 0,9  |
| Agustus   | 1    |
| September | 1,1  |
| Oktober   | 1,1  |
| November  | 1,1  |
| Desember  | 1,1  |

d. Keseimbangan air di permukaan tanah ( $\Delta S$ )

- 1) Air hujan yang mencapai permukaan tanah dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\Delta S = R - E_a \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$\Delta S$  = Keseimbangan air di permukaan tanah R  
= Hujan Bulanan

$E_a$  = Evapotranspirasi Aktual

Bila harga positif ( $R > E_a$ ) maka air akan masuk ke dalam tanah bila kapasitas kelembaban tanah belum terpenuhi. Sebaliknya, jika kondisi kelembaban tanah sudah tercapai maka akan terjadi limpasan permukaan (*surface run off*). Bila harga tanah  $\Delta S$  negative ( $R < E_a$ ), air hujan tidak dapat masuk ke dalam tanah (infiltrasi) tetapi air tanah akan keluar dan tanah akan kekurangan air (defisit).

- Kandungan air tanah (SS)  
Jika  $R > E_a$  , maka  $SS = 0$   
Jika  $R < E_a$ , maka  $SS = \Delta S - PF$
- Limpasan badai (  $PF = 5\%$ )  
Jika  $\Delta S > 0$ , maka  $PF = 0$   
Jika  $\Delta S < 0$ , maka  $PF = R \times 0,05$

- 2) Kapasitas kelembaban air tanah (SMC)

Jika  $SS = 0$  maka, kelembaban air tanah = 200

Jika  $SS \neq 0$  maka, kapasitas kelembaban air tanah = kandungan air tanah

- 3) Kelebihan air (WS) Water surplus di artikan sebagai air hujan (presipitasi) yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan tanah (soil storage). Water surplus ini berpengaruh langsung pada infiltrasi atau perkolasi dan total run off yang merupakan komponen debit.

Rumus *water surplus* adalah sebagai berikut: (Standar Perencanaan Irigasi KP 01:221)

$$W_s = R - E_a \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

WS = Water surplus

R = Presipitasi atau curah hujan

Ea = Evapotranspirasi actual

e. Limpasan Dan Penyimpanan Air Tanah

Koefisien C didefinisikan sebagai nilai antara laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah, tanaman penutup tanah dan intensitas hujan (Arsyad, 2006). Faktor utama yang mempengaruhi koefisien adalah laju infiltrasi tanah, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan. Selain itu juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah, air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah, dan tingkat kejenuhan tanah (Suripin, 2004). Nilai koefisien limpasan berdasarkan SNI 03-2415-1991 dapat dilihat pada Tabel 2.1 di halaman berikutnya.

a. Infiltrasi

Infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran. Daya infiltrasi ditentukan oleh permukaan lapisan atas dari tanah. Misalnya kerikil mempunyai daya infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah liat yang kedap air. Untuk lahan yang terjal dimana air sangat cepat menipis diatas permukaan tanah sehingga air tidak dapat sempat berinfiltrasi yang menyebabkan daya infiltrasi lebih kecil.

Rumusan dari infiltrasi adalah sebagai berikut :

$$I = i \times W_s \dots \dots \dots (2.4)$$

Faktor infiltrasi  $i = 0,4$

b. Volume air tanah

$$G = 0,5 (1 + k) \times I \dots \dots \dots (2.5)$$

- c. Penyimpanan volume air tanah

$$L = k \times 100 \dots\dots\dots (2.6)$$

- d. Total Volume penyimpanan air tanah

$$V_n = G + L_e \dots\dots\dots (2.7)$$

- e. Perubahan volume aliran dalam tanah

$$\Delta V_n = V_n - 100 \dots\dots\dots (2.8)$$

- f. Limpasan Langsung

Limpasan langsung adalah limpasan permukaan adalah air yang mengalir di atas permukaan tanah baik sebagai aliran tipis di permukaan tanah atau sebagai aliran disaluran (Basak, 1999). Limpasan permukaan berasal dari Water surplus yang telah mengalami infiltrasi. Jadi direct runoff dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut : (Bappenas, 2006)

$$DRO = WS - I \dots\dots\dots (2.9)$$

- g. Aliran dasar sungai (*Base flow*)

Base flow adalah sebagian hujan yang terperkolasi ke dalam menembus lapisan tanah dan pada akhirnya akan mengisi saluran sungai. Base flow merupakan selisih antara infiltrasi dengan perubahan groundwater storage, dalam bentuk persamaan: (Bappenas, 2006).

$$BF = I - \Delta V_n \dots\dots\dots (2.10)$$

- h. Total Limpasan (Ron)

$$Ron = BF + DRO \dots\dots\dots (2.11)$$

- i. Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya

$$Q_n = Ron \times A \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

$Q_n$  = Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya

$A$  = Luas daerah tangkapan (catchment area) km<sup>2</sup>

Neraca air metode F.J. Mock dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = (Dro + Bf) A$$

Dimana :

|     |                                                                |
|-----|----------------------------------------------------------------|
| Q   | = Debit andalan (m <sup>3</sup> /dtk)                          |
| Dro | = <i>Direct run off</i> (m <sup>3</sup> /dtk/km <sup>2</sup> ) |
| Bf  | = <i>Base flow</i> (m <sup>3</sup> /dtk/km <sup>2</sup> )      |
| A   | = Catchment area (km <sup>2</sup> )                            |

## 2.3 Debit Banjir Rencana

Debit banjir atau besarnya aliran adalah volume aliran yang melalui suatu penampang melintang persatuan waktu (m<sup>3</sup>/detik).

Kegunaan debit banjir:

- Untuk perencanaan bangunan air.
- Untuk memperkirakan bencana banjir.
- Untuk pemanfaatan air baku dan irigasi.
- Untuk pemanfaatan PLTA.

### 2.3.1 Analisa Data Hujan

Air yang dibutuhkan oleh tanaman dapat sepenuhnya atau sebagian di dapatkan dari curah hujan. Curah hujan untuk setiap periode atau dari tahun ke tahun berubah-ubah sehingga disarankan untuk menggunakan curah hujan rencana misalnya dengan probabilitas 70% atau 85 % dari pada menggunakan curah hujan rata-rata. Apabila ada kemungkinan terjadinya produksi tanaman yang nyata selama musim kemarau, misalnya pada saat tanaman sangat sensitip dengan kurangnya air maka probabilitas dapat dinaikkan menjadi 90%. Untuk menentukan besarnya curah hujan kawasan ada 3 (tiga) cara yang umum dipakai antara lain :

#### 2.3.1.1 Metode Aritmatik

Metode ini menggunakan perhitungan curah hujan wilayah dengan merataratakan semua jumlah curah hujan yang ada pada wilayah tersebut menggunakan persamaan (Triatmodjo B, 2008):

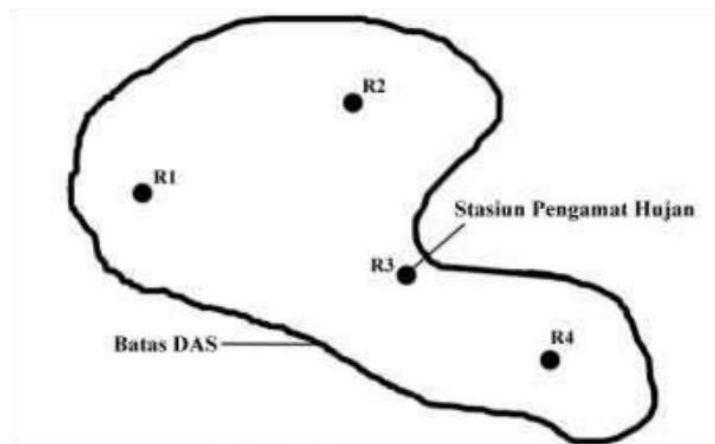
$$P : \frac{p_1+p_2+p_3+p_4+p_5+p_6}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

P = Curah hujan rata rata (mm)

n = Jumlah stasiun pengukuran hujan.

Berikut Gambar Metode Aritmatik



**Gambar 2.1 Metode Aritmatik**

### 2.3.1.2 Metode Polygon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing Pos Hujan yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada Pos Hujan yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu Pos Hujan mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran Pos Hujan di daerah yang ditinjau tidak merata, pada metode ini Pos Hujan minimal yang digunakan untuk perhitungan adalah tiga Pos Hujan.

Perhitungan hujan rata-rata metode polygon thiessen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menghubungkan masing-masing Pos Hujan dengan garis polygon.
2. Membuat garis beratantara 2 Pos Hujan hingga bertemu dengan garis berat lainnya pada satu titik dalam polygon.
3. Luas area yang mewakili masing-masing Pos Hujan dibatasi oleh garis berat pada polygon.
4. Luas sub-area masing-masing Pos Hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

Sehingga perhitungan hujan rata-rata pada suatu daerah aliran sungai menggunakan persamaan (Triatmodjo B, 2008):

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.14)$$

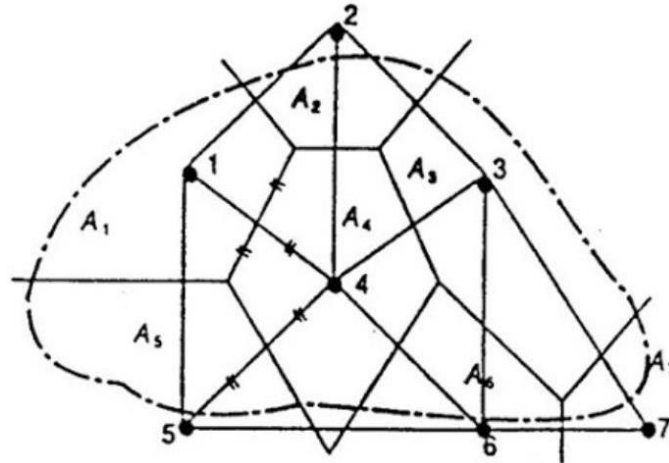
Dimana:

P = rata-rata curah hujan wilayah (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas pengaruh pada Pos Hujan 1, 2, ..., n ( $km^2$ )

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = curah hujan pada Pos Hujan 1, 2, ..., n (mm)

Berikut gambar metode Polygon Thiessen



**Gambar 2.2 Metode Polygon Thiessen**

### 2.3.1.3 Metode Isohyet

Isohyet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai jumlah hujan yang sama. Pada metode isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah diantara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet tersebut. Sehingga menggunakan persamaan (Triatmodjo B, 2008):

$$P = \frac{A_1 \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + \dots + A_n \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.15)$$

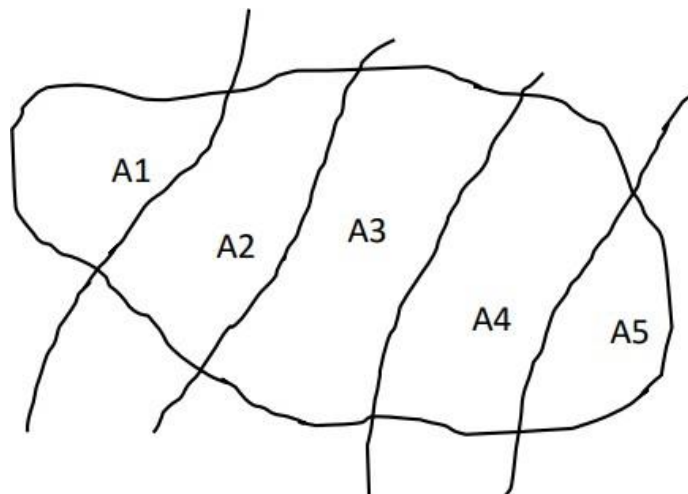
Dimana:

$P$  = rata-rata curah hujan wilayah (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas pengaruh pada Pos Hujan 1, 2, ..., n ( $km^2$ )

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = curah hujan pada Pos Hujan 1, 2, ..., n (mm)

Berikut Gambar Metode Isohyet.



**Gambar 2.3 Metode Isohyet**

### 2.3.2 Hujan Rencana

Periode ulang adalah terminologi yang sering digunakan dalam bidang sumberdaya air, yang kadang difahami secara berbeda oleh berbagai pihak. Definisi fundamental dari hidrologi statistik mengenai "periode ulang" (Haan,1977): "Periode Ulang adalah rerata selang waktu terjadinya suatu kejadian dengan suatu besaran tertentu atau lebih besar" Curah hujan rancangan adalah curah harian maksimum yang mungkin terjadi dalam periode waktu tertentu misal 5 tahunan, 10 tahunan dan seterusnya. Metode analisis periode ulang hujan maksimum dapat dilakukan antara lain dapat dilakukan dengan :

#### 1. Metode Gumbel

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumble digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut :

$$X_t = X + \frac{S}{\sqrt{n}} (Y_T - Y_n) \dots\dots\dots (2.16)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum \{X - X_{rata} - rata\}^2}{(n - 1)}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

$X_T$  = Nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun (mm)

$X$  = Nilai rata-rata hujan (mm)

$S$  = Deviasi standar (simpangan baku)

$Y_T$  = Nilai reduksi variat (reduced variate) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun.



$Y_n$  = Nilai rata-rata dari reduksi variat (reduce mean ) nilainya tergantung dari jumlah data (n).

$S_n$  = Deviasi standar dari reduksi variant (reduced standart deviation) nilainya tergantung dari jumlah (n)

Hubungan antara periode ulang T dengan YT dapat dihitung dengan rumus : untuk  $T \leq 20$ , maka  $Y = \ln T$

## 2. Metode Log Pearson

Metode Log Pearson apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = y + k \times S \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

$Y$  = Nilai logaritmatik dari X atau  $\log X$

$X$  = Curah hujan (mm)

$\bar{Y}$  = Rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

$S$  = Deviasi standar nilai Y

$K$  = Karakteristik distribusi peluang Log-Person

### 2.3.4 Uji Keselarasan Distribusi

Menurut Harahap (2017) analisis frekuensi adalah prosedur untuk memperkirakan frekuensi suatu kejadian di masa lalu atau masa depan. Berikut dua jenis distribusi frekuensi yang paling banyak digunakan dalam bidang hidrologi: Log Pearson, dan distribusi Gumbel.

#### 1. Chi Square

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai chi square ( $X^2$ ) dengan nilai chi square kritis ( $X^2_{cr}$ ). Uji keselarasan chi square menggunakan rumus:

$$X^2 = \sum \left( n \frac{O_i - E_i}{E_i} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$X^2$  = Harga Chi Square terhitung

O = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke -i

Ei = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

N = Jumlah Data

Suatu distrisbusi dikatakan selaras jika nilai  $X^2$  hitung <  $X^2$  kritis. Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan chi square kritis paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (level of significant) yang sering diambil adalah 5 %. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$dk = K - (P + 1) \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

Dk = Derajat kebebasan

P = Nilai untuk distribusi Metode Gumbel,  $p = 1$

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan dirtibusi teoritis yang digunakan dapat diterima;
- Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

## 2. Smirnov Kolmogorof

Uji keselarasan Smirnov-Kolmogorof, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik (non parametrik test), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedurnya adalah sebagai berikut ;

$$\alpha = \frac{P_{\max}}{P(\alpha)} = \frac{P(\alpha)}{\Delta \alpha_f} \dots\dots\dots (2.21)$$

1. Urutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan besarnya nilai masing-masing peluang dari hasil penggambaran grafis data (persamaan distribusinya) :

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$

$$X_m \rightarrow P'(X_m)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

2. Berdasarkan tabel nilai kritis ( *Smirnov – Kolmogorof test* ) tentukan harga  $D_0$  seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Nilai Delta Kritis Untuk Uji Keselarasan Smirnov Kolmogorof  
(Soewarno,2010)

| Jumlah data | $\alpha$ derajat kepercayaan |          |          |          |
|-------------|------------------------------|----------|----------|----------|
|             | 0,20                         | 0,10     | 0,05     | 0,01     |
| 5           | 0,45                         | 0,51     | 0,56     | 0,67     |
| 10          | 0,32                         | 0,37     | 0,41     | 0,49     |
| 15          | 0,27                         | 0,30     | 0,34     | 0,40     |
| 20          | 0,23                         | 0,26     | 0,29     | 0,36     |
| 25          | 0,21                         | 0,24     | 0,27     | 0,32     |
| 30          | 0,19                         | 0,22     | 0,24     | 0,29     |
| 35          | 0,18                         | 0,20     | 0,23     | 0,27     |
| 40          | 0,17                         | 0,19     | 0,21     | 0,25     |
| 45          | 0,16                         | 0,18     | 0,20     | 0,24     |
| 50          | 0,15                         | 0,17     | 0,19     | 0,23     |
| $n > 50$    | $1,07/n$                     | $1,22/n$ | $1,36/n$ | $1,63/n$ |

### 2.3.5 Koefisien pengaliran

Koefisien pengaliran atau koefisien limpasan merupakan variabel untuk menentukan besarnya suatu limpasan permukaan yang ditentukan oleh kondisi daerah pengaliran karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut. Koefisien aliran (C) yang makin besarmenunjukan bahwasemakinbanyakairhujanyangmengaliri permukaan.

Di bawah ini merupakan tabel koefisien pengaliran dengan pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor-faktor fisik. (Suyono Sosrodarsono, 2001).

**Table 2.5 Koefisien Pengaliran**

| Kondisi DAS                                                                             | Koefisien Pengaliran (C) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Daerah Pegunungan berlereng terjal                                                      | 0,75 -0,90               |
| Daerah Perbukitan                                                                       | 0,70 -0,80               |
| Daerah bergelombang dan bersemak-semak                                                  | 0,50 -0,75               |
| Daerah dataran yang digarap                                                             | 0,45 -0,65               |
| Daerah persawahan irigasi                                                               | 0,70 -0,80               |
| Sungai di daerah pegunungan                                                             | 0,75 -0,85               |
| Sungai kecil di daerah dataran                                                          | 0,45 -0,75               |
| Sungai besar dengan wilayah pengaliran yang lebih dari seperduanya terdiri dari daratan | 0,50 -0,75               |

### 2.3.6 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah ketinggian air persatuan waktu satuan mm/jam, sedangkan lama hujan adalah panjang waktu dimana hujan turun dalam menit atau jam. Pengaruh intensitas hujan terhadap aliran permukaan tergantung kapasitas infiltrasinya. Jika intensitas melampaui kapasitas infiltrasi, maka besarnya aliran permukaan akan segera meningkat sesuai dengan peningkatan intensitas hujan (Sosrodarsono, 2003:135). Hujan yang deras dalam waktu singkat kecepatan infiltrasi terbatas dan waktu yang tidak seimbang menyebabkan tidak ada waktu untuk air masuk kedalam tanah, sehingga akan menjadi aliran permukaan langsung. Suripin (2004:75) menjelaskan bahwa dan meliputi daerah yang tidak luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi yang cukup panjang (Sriyono, 2012). Hujan dengan intensitas yang tinggi menghasilkan aliran permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan hujan biasa meliputi seluruh DAS. Intensitas hujan yang tinggi umumnya berlangsung dengan durasi pendek total aliran permukaan untuk suatu hujan secara langsung berhubungan dengan lama waktu hujan untuk intensitas tertentu infiltrasi akan berkurang pada tingkat awal suatu kejadian hujan. Pada umumnya rumus sederhana dari intensitas hujan adalah sebagai berikut :

$$I = \frac{R}{t} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana:

I = intensitas hujan(mm/jam)

R = tinggi hujan (mm)  
t = lamanya hujan (jam)

### 2.3.7 Luas Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau kelaut secara alami, yang dibatas di darat merupakan pemisah topografis dan batas dilaut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Sungai mempunyai fungsi utama menampung curah hujan setelah aliran permukaan dan mengalirkannya sampai kelaut. Oleh karena itu, sungai dapat di artikan sebagai wadah atau penampung dan penyalur aliran air yang terbawa dari DAS ketempat yang lebih rendah dan bermuara di laut. Selanjutnya dijelaskan bahwa DAS adalah suatu system yang merubah curah hujan kedalam debit dipelepasannya sehingga menjadi sistem yang kompleks (*Soewarno, 1995*).

Panjang sungai adalah Panjang yang diukur sepanjang sungai, dari stasiun yang ditinjau dari muara sungai sampai ujung hulunya. Sungai utama adalah sungai terbesar pada daerah tangkapan dan yang membawa aliran menuju muara sungai. Pengukuran panjang sungai dan panjang DAS adalah penting dalam analisis aliran limpasan dan debit aliran sungai. Panjang DAS adalah panjang maksimum sepanjang sungai utama dari stasiun yang ditinjau (muara) ke titik terjauh dari batas DAS (*Triatmodjo, 2010*).

DAS adalah suatu area dipermukaan bumi yang didalamnya terdapat sistem pengaliran yang terdiri dari satu sungai yang utama dan beberapa anak cabangnya, yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air dan mengalirkan air melalui satu keluaran (*Soewarno, 1995*).

Luas DAS merupakan salah satu parameter karakteristik daerah aliran sungai, makin besar DAS makin lama pula limpasan mencapai outlet, sehingga lebar DAS akan semakin besar karena hujan yang ditangkap juga semakin banyak.

Jaringan sungai dan anak-anak sungainya mempunyai bentuk seperti percabangan pohon. Parit- parit bergabung membentuk alur yang lebih besar, yang selanjutnya beberapa alur bergabung membentuk anak sungai, dan kemudian

beberapa anak sungai tersebut membentuk sungai utama (*Triatmodjo, 2010*).

DAS ada yang kecil dan ada yang sangat luas. DAS yang sangat luas bisa terdiri dari beberapa sub - DAS dan sub - DAS dapat terdiri dari beberapa sub – sub DAS, tergantung banyaknya anak sungai dari cabang sungai yang ada, yang merupakan bagian dari suatu sistem sungai utama. DAS mempunyai karakteristik yang berkaitan erat dengan unsur utamanya, seperti tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik DAS tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh ditempat tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya aliran air sungai (*Asdak, 2010*).

Asdak (2010), mengemukakan bahwa beberapa karakteristik DAS yang mempengaruhi debit aliran antara lain, yaitu:

- a) Luas DAS. Luas DAS menentukan besarnya daya tampung terhadap masukan hujan. Makin luas DAS semakin besar daya tampung, berarti makin besar volume air yang terdapat disimpan dan disumbangkan oleh DAS.
- b) Kemiringan lereng DAS. Semakin besar kemiringan lereng suatu DAS semakin cepat laju debit dan akan mempercepat respon DAS terhadap curah hujan.
- c) Bentuk DAS. Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menurunkan laju limpasan daripada DAS yang berbentuk melebar walaupun luas keseluruhan dari dua bentuk DAS tersebut sama.
- d) Jenis tanah. Setiap jenis tanah memiliki kapasitas infiltrasi yang berbeda-beda, sehingga semakin besar kapasitas infiltrasi suatu jenis tanah dengan curah hujan yang singkat maka laju debit akan semakin kecil.
- e) Pengaruh vegetasi. Vegetasi dapat memperlambat jalannya air larian dan memperbesar jumlah air yang tertahan di atas permukaan tanah dengan demikian akan menurunkan laju debit aliran.

#### **2.3.8 Analisa data Banjir Rencana**

Debit banjir rencana adalah perkiraan jumlah maksimum air yang diharapkan akan mengalir di suatu lokasi selama banjir, dengan mempertimbangkan periode ulang

tertentu. Ini adalah data penting dalam perencanaan konstruksi bangunan air dan sistem drainase untuk memastikan keamanan dan fungsionalitas.

### 2.3.8.1 Metode HSS Nakayasu

Pada perencanaan ini debit banjir rencana atau hidrograf banjir rencana dihitung dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu. Nakayasu menurunkan rumus hidrograf satuan sintetik Nakayasu berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian pada beberapa sungai. Besarnya nilai debit puncak hidrograf satuan dihitung dengan rumus (Soemarto,1987):

$$Q_p = \frac{C \times A \times R_o}{3,60 (0,30 T_p + T_{0,30})} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana :

C = Koefisien Pengaliran

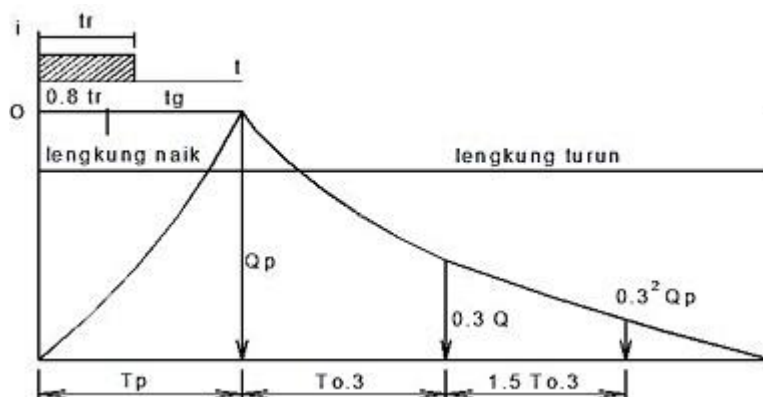
A = Luas daerah tangkapan sampai outlet

$Q_p$  = Debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/detik)

$T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,30}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

$R_o$  = Hujan satuan, 1 mm



**Gambar 2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Hadisusanto, 2010)**

1) Untuk menentukan  $T_p$  digunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$T_p = t_g + 0,80 t_r \dots \dots \dots 2.24$$

Dimana:

$t_g$  = waktu konsentrasi (jam),

Untuk  $L < 15$  km nilai  $t_g = 0,21 L^{0,70}$



Untuk  $L > 15$  km nilai  $t_g = 0,40 + 0,058 L$

$t_r$  = waktu hujan efektif (jam)  $t_r = 0,50 t_g$  (jam)

- 2) Waktu yang diperlukan penurunan debit  $T_{0,30}$  dihitung dengan persamaan:

$$T_{0,30} = \alpha \times t_g$$

Bagian lengkung naik (rising limb) hidrograf satuan seperti pada Gambar 2.1, mempunyai persamaan:  $Q \leq t \leq T_p$

$$\frac{Q}{Q_p} = \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,40} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$Q_t$  = debit limpasan sebelum sampai puncak banjir (jam)

$t$  = Waktu (jam)

Bagian lengkung turun (decreasing limb) hidrograf satuan mempunyai persamaan:

$$T_p \leq t \leq T_p + T_{0,30}$$

- 3) Nilai  $\alpha$  merupakan faktor koefisien yang ditetapkan berdasarkan bentuk hidrograf banjir yang terjadi pada daerah aliran sungai.
- Untuk nilai daerah aliran  $\alpha = 2,0$
  - Untuk bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat  $\alpha = 1,5$
  - Untuk bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat  $\alpha = 3,0$
- 4) Nilai tinggi hujan satuan yang umum digunakan adalah 1 inchi atau 1 mm. Durasi hujan satuan umumnya diambil  $T_r = 1$  jam, namun dapat dipilih durasi lain asalkan dinyatakan dalam satuan jam (misal 0.5 jam, 10 menit = 1/6 jam). Jika durasi data hujan semula dinyatakan dalam 1 jam, jika diinginkan melakukan perhitungan dalam interval 0.5 jam, maka tinggi hujan setiap jam harus dibagi 2 dan didistribusikan dalam interval 0.5 jam.

### 2.3.8.2 Metode HSS *Snyder*

Dalam permulaan tahun 1938, F. F Snyder dari Amerika Serikat telah mengembangkan rumus empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengaliran (Siddik, 2014).

Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan A=Luas daerah pengaliran (km<sup>2</sup>), L=Panjang aliran utama (km), LC=Jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang aliran utama.

Dengan unsur-unsur tersebut maka Snyder membuat rumus-rumusnya sebagai berikut:

$$t_p = C_t (L \times L_c) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$Q_p = 2,78 C_p \times A \dots\dots\dots (2.27)$$

$$t_b = 72 + 3 t_p \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana:

$t_p$  = waktu mulai titik berat hujan sampai debit puncak (jam)

$t_r$  = lama curah hujan efektif (jam)

$Q_p$  = debit maksimum total

$t_b$  = waktu dasar hidrograf

Nilai koefisien waktu ( $C_t$ ) dan koefisien debit ( $C_p$ ) harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan yang lain. Besarnya  $C_t = 0,75-3,00$  sedangkan  $C_p = 0,90-1,40$ . Lamanya hujan efektif  $t_r' = t_p/5,5$  dimana  $t_r$  diasumsi 1 jam. Jika  $t_r' > t_r$  (asumsi), dilakukan koreksi terhadap  $t_p$

$$t_p' \leq t_p \leq 0,25(t_r' - t_r)$$

$$t_p \leq t_p' + \frac{t_r}{2}$$

Jika  $t_r' < t_r$  (asumsi), maka :

$$t_p \leq t_p + \frac{t_r}{2}$$

Menentukan grafik hubungan antara  $Q_p$  dan  $t$  (UH) berdasarkan persamaan Alexeyev

$$Q \leq Y \cdot Q_p$$

$$Y = 10^{-a} (1-x)^{2/x}$$

$$X = \frac{t}{t_p}$$

$$a = 1,32 \times a^2 + 0,1a + 0,045$$

$$\square = Q_p \times T_p / (h \times A)$$

Dimana:

$Q$  = debit dengan periode hidrograf

Y = perbandingan debit periode hidrograf dengan debit puncak

X = perbandingan waktu periode hidrograf dengan waktu mencapai puncak banjir

Setelah  $\square$  dan a dihitung, maka nilai y untuk masing masing X dapat dihitung

(dengan membuat tabel), dari nilai-nilai tersebut diperoleh  $t = X \cdot T_p$  dan  $Q = y \cdot Q_p$

### 2.3.8.3 Metode Rasional

Metode Rasional debit puncak ( $Q_t$ ) adalah model hidrologi yang di gunakan untuk memperkirakan besarnya debit puncak dengan mempertimbangkan factor faktor berikut: Koefisien aliran permukaan, Intensitas hujan, Luas daerah aliran sungai.

Metode rasional hanya digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 40-80 km<sup>2</sup>. Metode rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1980).

$$Q_t = 0,278 \cdot C \cdot I_{tc,T} \cdot A \text{ (m}^3/\text{dtk)} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

$Q_t$  = debit puncak (m<sup>3</sup>/det) untuk kala ulang tahun

C = koefisien aliran (run off), yang di pengaruhi kondisi tata guna lahan pada daerah tangkapan air (DAS)

$I_{tc,T}$  = intensitas hujan rata-rata (mm/jam) untuk waktu konsentrasi (tc).

A = luas daerah tangkapan air/DAS (km<sup>2</sup>)

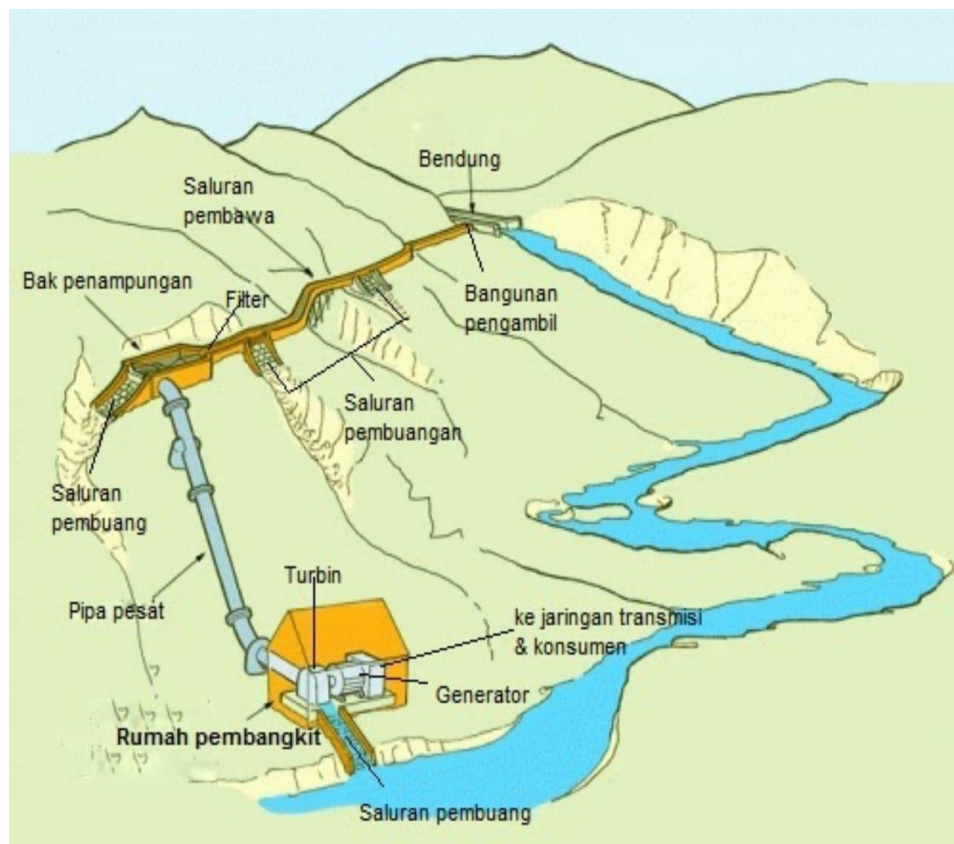
## 2.4 Perencanaan Sistem Dan Komponen – Komponen PLTMH

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Pertama adalah energi potensial dari air berubah menjadi energi kinetik. Air pada ketinggian tertentu mempunyai energi potensial, semakin tinggi elevasinya maka energi potensialnya semakin besar. Ketika air pada ketinggian tertentu mengalir kebawah, maka terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Ketika air mengalir menabrak turbin, maka terjadi perubahan kinetik menjadi energi mekanik. Dan yang terakhir Ketika turbin berputar dan ikut menggerakkan generator, maka terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.

Sebuah skema PLTMH memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (biasa disebut 'head') untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Ini adalah sebuah sistem konversi tenaga, menyerap tenaga dari bentuk ketinggian dan aliran, dan

menyalurkan tenaga dalam bentuk daya listrik atau daya mekanik. Tidak ada sistem konversi daya yang dapat mengirim sebanyak yang diserap/dikurangi, sebagian daya hilang oleh sistem itu sendiri dalam bentuk gesekan, panas, suara dan sebagainya. Persamaan konversinya adalah Daya yang masuk = Daya yang keluar + Kehilangan (Loss) atau Daya yang keluar = Daya yang masuk  $\times$  Efisiensi konversi.

Umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis Run of River di mana 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 Contoh Gambar Skema PLTMH



**Gambar 2.5 Skema Prinsip Kerja PLTMH**

#### **2.4.1 Bendung (weir)**

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai agar bisa disadap yang merupakan salah satu bagian dari

bangunan utama. Fungsi utama dari bendung yaitu untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (intake).

a) Perencanaan elevasi puncak pelimpah (mercu bendung) direncanakan dengan mempertimbangkan elevasi muka air rencana di bangunan bagi paling hulu, kehilangan tinggi energi pada alat ukur, kehilangan tinggi energi pada pengambilan saluran primer, kehilangan tinggi energi pada pengambilan, faktor keamanan dan kemiringan saluran antara bangunan intake dengan bangunan bagi paling hulu.

**b) Lebar bendung**

Untuk menentukan lebar bendung yaitu jarak dari dinding sebelah kiri ke dinding sebelah kanan maka dilakukan langkah-langkah seperti berikut;

- Melakukan pengukuran beberapa potongan melintang (cross section) sungai pada rentang jarak antara 100 m. Misalkan : ada 6 potongan yaitu P1, P2, P3, P4, P5 dan P6.
- Memplot potongan melintang tersebut (P1 sampai P6) pada gambar.
- Menentukan kemiringan rata-rata dasar sungai (Ib).
- Menentukan banjir tahunan (Q1),
- Menentukan elevasi muka air banjir tahunan di setiap potongan.
- Menentukan lebar permukaan air di sungai untuk Q1 pada setiap potongan.
- Menghitung lebar rata-rata dari potongan P1 sampai P6

**c) Bangunan Pelimpah**

Pelimpah berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air. Elevasi puncak pelimpah direncanakan berdasarkan banyak hal antara lain; elevasi muka air rencana di bangunan bagi paling hulu, kehilangan tinggi energi pada alat ukur, kehilangan tinggi energi pada pengambilan saluran primer, kehilangan tinggi energi pada pengambilan, faktor keamanan dan kemiringan saluran antara bangunan intake dengan bangunan bagi paling hulu.



Rumus debit melalui pelimpah (Dr.Hidayat,ST.,MT,2017):

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2/3} g b H_1^{1,5} \dots\dots\dots (2.30)$$

di mana:

- Q = debit, m<sup>3</sup>/dt
- C<sub>d</sub> = koefisien debit (C<sub>d</sub> = C<sub>0</sub> C<sub>1</sub> C<sub>2</sub>)
- g = percepatan gravitasi, m/dt<sup>2</sup> (9,8)
- b = panjang mercu, m
- H<sub>1</sub> = tinggi energi di atas mercu,

**Table 2.6 Koefisien Kontraksi**

| URAIAN                                                                                                                    | K <sub>p</sub> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| -Pilar berujung segi empat dengan sudut - sudut dibulatkan pada jari - jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar. | 0,02           |
| - Pilar berujung bulat.                                                                                                   | 0,01           |
| -Pilar berujung runcing.                                                                                                  | 0              |
| URAIAN                                                                                                                    | K <sub>a</sub> |
| -Pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran.                                                    | 0,20           |
| -Pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90° ke arah aliran dengan 0,5 H <sub>1</sub> > r > 0,15 H <sub>1</sub> .    | 0,1            |
| -Pangkal tembok bulat, dimanar > 0,5 H <sub>1</sub> dan tembok hulu tidak lebih dari 45° ke arah aliran.                  | 0              |

- d) Bangunan pengambil (*intake*) berfungsi untuk mengarahkan aliran air dari sungai ke saluran pembawa. Bangunan pengambil dilengkapi dengan pintu air yang

berfungsi sebagai pengontrol besaran air yang akan masuk ke saluran pembawa. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimension requirement*) guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek. (Dr.Hidayat, ST., MT, 2017) :



**Gambar 2.6 Bangunan Pengambil air (Intake)**

$$Q_{\text{intake}} = \mu \times a \times b \times \sqrt{2gz} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana:

- Q = Debit rencana (m<sup>3</sup> /dt)
- $\mu$  = Koefisien pengaliran
- h = Tinggi pintu intake (m)
- b = Lebar pintu intake (m)
- g = Gaya gravitasi = 9,81 m/dt<sup>2</sup>
- z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan antara 0,15 - 0,3 m

#### **2.4.2 Bak Pengendap (*Sand trap*)**

Untuk mencegah agar sedimen tidak mengendap di seluruh saluran penghantar, bagian awal dari saluran penghantar direncanakan untuk berfungsi sebagai kantong lumpur. Kantong lumpur merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan memberi kesempatan kepada sedimen untuk mengendap. Pada Gambar 2.4. ditunjukkan sand trap. Untuk menampung endapan sedimen ini, dasar bagian saluran diperdalam atau



diperlebar. Tampungannya ini dibersihkan tiap jangka waktu tertentu dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran terkonsentrasi yang berkecepatan tinggi.

#### 1. Ukuran Partikel Rencana

Melihat hubungan antara diameter endapan dengan kecepatan endap untuk air tenang dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2.7 Hubungan diameter endap dengan kecepatan endap**

|                            |      |     |      |       |   |       |       |      |
|----------------------------|------|-----|------|-------|---|-------|-------|------|
| <b>Diameter (mm)</b>       | 5    | 5   | 1    | 0,5   | 0 | 0,125 | 0,063 | 0,05 |
| <b>Kecepatan (m/detik)</b> | 0,25 | 0,2 | 0,15 | 0,075 | 0 | 0,01  | 0,003 | 0,05 |

#### 2. Volume Kantong Lumpur

- Perhitungan volume kantong lumpur ini menggunakan rumusan:

$$V = a \cdot Q_n \cdot T \dots \dots \dots (2.32)$$

Dimana :

a = Sedimen yang harus diendapkan

Q = Debit rencana

T = Periode pembilasan

- Perhitungan untuk mengetahui luas permukaan rata-rata menggunakan persamaan :

$$L \cdot B = Q / w \dots \dots \dots (2.33)$$

Dengan persyaratan :  $L / B > 8$

- Penentuan kemiringan (in) pada saat kantong lumpur hampir penuh dan kemiringan (is) pada saat kantong kosong/pembilasan.

Kecepatan yang ditentukan tersebut, dapat mencegah tumbuhnya vegetasi dan agar partikel-partikel yang lebih besar tidak langsung mengendap di hilir pengambilan. Koefisien kekasaran ks diambil untuk dasar dari pasangan batu. Penampang adalah berbentuk trapesium dengan kemiringan 1 : 1.



**Gambar 2.7 Bak Pengendap (Sand trap)**

#### **2.4.3 Saluran pembawa (Headrace)**

Fungsi saluran pembawa adalah untuk mengalirkan air dari intake ke bak penenang, yang direncanakan sebagai saluran pasangan menggunakan pasangan batu kali. Penampang saluran yang umum digunakan berbentuk persegi panjang atau trapesium. Aliran yang akan dilewatkan sebesar 120% dari debit desain. Persamaan untuk dimensi saluran pembawa adalah sebagai berikut (*Dr.Hidayat, ST., MT, 2017*);

$$Qd = A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}/n \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana :

- $Qd$  = debit desain ( $m^3/dt$ )
- $A$  =  $b \times h$  = *area of cross section* ( $m^2$ )
- $R$  =  $A/P$  (m)
- $P$  =  $B + 2 \times h$  , Panjang dari sisi air (m)
- $N$  = koefisien rougness
- $S_L$  = kemiringan (*longitudinal slope*)
- $Q$  =  $v \times A$
- $Q$  =  $v \times (b \times h)$

Dimana:

- $b$  = Lebar air dalam saluran (m)
- $h$  = Tinggi air dalam saluran (m)
- $v$  = Kecepatan air dalam saluran ( $m/dt^2$  )
- $Q$  = Debit air yang akan di lewatkan ( $m^3/dt$ )

Perencanaan saluran pembawa berdasarkan pada kriteria:

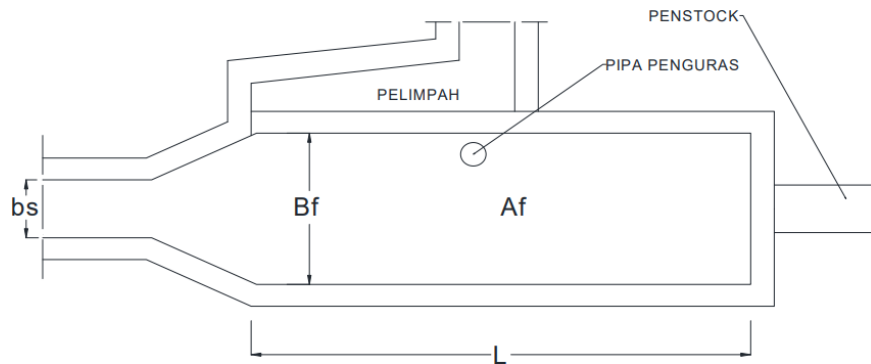
- Nilai ekonomis yang tinggi
- Efisiensi fungsi
- Aman terhadap tinjauan teknis
- Mudah pengerjaannya
- Mudah pemeliharaannya
- Struktur bangunan yang memadai
- Kehilangan tinggi tekan (head losses) yang kecil Berikut Gambar Saluran Pembawa (Headrace)



***Gambar 2.8 Saluran Pembawa (Head race)***

#### **2.4.4 Bak Penenang (*Forebay*)**

Bak penenang berfungsi untuk mengontrol perbedaan debit dalam pipa pesat (penstock) dan saluran pembawa karena fluktuasi beban, disamping itu juga sebagaipemindah sampah terakhir (tanah, pasir, kayu yang mengapung) dalam air yangmengalir. Bak penenang dilengkapi saringan (trashrack) dan pelimpah (spillway),seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5



**Gambar 2.9 Skema Bak Penenang (Fore bay)**

Kapasitas bak penenang :

$$V_f = A_f \times H_s = B_f \times L_f \times d_f \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana:

- $V_f$  = kapasitas bak penenang ( $m^3$ ),
- $A_f$  = luas bak penenang ( $m^2$ ),
- $L_f$  = panjang bak penenang (m),
- $H_s$  = kedalaman air dari sebuah saluran
- $B_f$  = lebar bak penenang (m).

Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam perhitungan dimensi bak penenang:

- a) Volume bak penenang 10 sampai 20 kali debit yang masuk untuk menjamin aliran steady dipipa pesat dan mampu meredam tekanan balik pada saat penutupan aliran di pipa pesat, dengan  $Q$  = debit desain ( $m^3$  /detik).
- b) Bak penenang direncanakan dengan menetapkan kecepatan partikel sedimen sebesar 0.03 m/detik.
- c) Pipa pesat ditempatkan 15 cm di atas dasar bak penenang untuk menghindari masuknya batu atau benda – benda yang tidak diinginkan terbawa memasuki turbin, karena berpotensi merusak turbin.

Dimensi bak penenang yang direncanakan berbentuk segiempat ditentukan dengan persamaan:

$$B = 3b \text{ dan } L = 2b \dots\dots\dots(2.36)$$

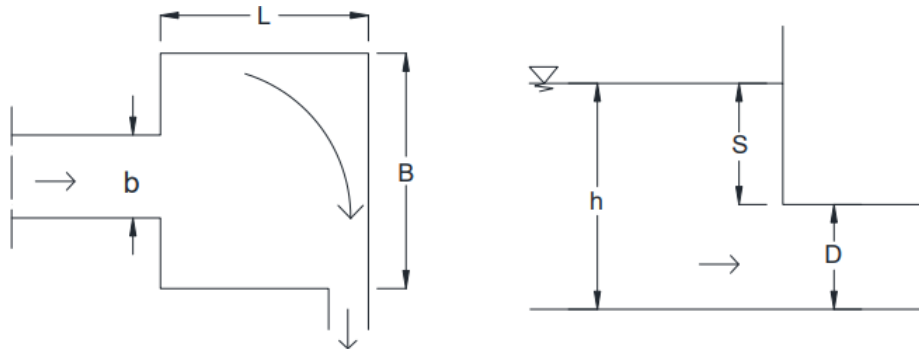
Dimana:

- $B$  = lebar kolam penenang,

b = lebar saluran penghantar

L = panjang kolam penenang

Penampang bak penenang dan Intake ke pipa pesat ditunjukkan Gambar 2.6



**Gambar 2.10 Penampang bak penenang dan intake ke pipa pesat**

Untuk menghitung kedalaman air di bak penenang yang arah alirannya tegak lurus dengan arah aliran pipa pesat adalah

$$n = S + D \dots\dots\dots (2.37)$$

$$S = 0.54 \cdot v \cdot D^{0.5} \dots\dots\dots (2.38)$$

dimana :

n = kedalaman air di kolam penenang

S = kedalaman air di atas pipa pesat

v = kecepatan aliran pipa pesat

D = diameter pipa pesat

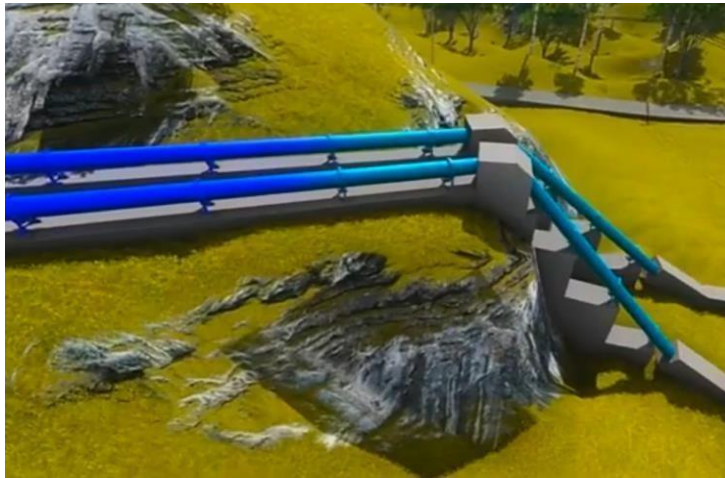
#### **2.4.5 Pipa Pesat (Penstock)**

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay tank*) menuju rumah pembangkit (*powerhouse*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter penstock, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*). Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*friction losses*) seminimal mungkin. Ketebalan penstock dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan surge pressure yang dapat terjadi. Kriteria perancangan pipa pesat adalah sebagai berikut:

1. Penstock bisa terbuat dari mildsteel, HDPE, atau PVC harus dalam kondisi baru dan baik.

Dimana:

|    |                                             |
|----|---------------------------------------------|
| Ap | = Sudut rata-rata penstock                  |
| Hp | = Beda tinggi antara forebay dan powerhouse |
| Lp | = Panjang penstock                          |



***Gambar 2.11 Pipa Pesat (Penstock)***

#### **2.4.6 Saluran Pembuang (Tailrace)**

Saluran pembuang direncanakan untuk menampung dan mengalirkan air yang keluar dari turbin kembali ke sungai. Oleh karena itu, dimensi saluran pembuang ditentukan oleh debit yang keluar dari turbin, yaitu debit rencana pembangkitan. Saluran pembuang direncanakan berbentuk segi empat diperkuat dengan struktur beton bertulang. Untuk menghitung dimensi saluran pembuang (tail race) berbentuk segi empat menggunakan persamaan berikut (Dr.Hidayat, ST., MT, 2017);

- Luas  $A = b \cdot Y$ ..... (2.41)
- Keliling basah  $P = b + 2y$ ..... (2.42)
- Jari-jari hidraulik  $R = A / p$ ..... (2.43)
- Kecepatan  $v = (1/n) R^{2/3} S^{1/2}$  ..... (2.44)
- Debit  $Q = v \cdot A$ ..... (2.45)



***Gambar 2.12 Saluran Pembuang (Tailrace)***

#### **2.4.7 Rumah Pembangkit (*PowerHouse*)**

Peralatan mekanikal-elektrikal pada sebuah PLTMH dipusatkan pada sebuah gedung sentral yang lebih umum dengan istilah power house (PH). Power house pada suatu pembangkit tenaga listrik sangat penting, dimana bangunan ini berfungsi untuk melindungi peralatan-peralatan mekanikal dan elektrikal. Untuk suatu pembangkit listrik tenaga air bangunan ini merupakan disesuaikan dengan kapasitas daya sebuah PLTMH / PLTA. Dalam sebuah PH terdapat peralatan mesin-mesin yang berfungsi untuk merubah energi air menjadi mekanik dan selanjutnya menjadi energi listrik. Mesin mesin tersebut diantaranya:

- Turbin
- Generator
- Panel Kontrol
- Transformator
- Proteksi





**Gambar 2.13 Rumah Pembangkit (PowerHouse)**

#### 2.4.8 Perhitungan Daya Dan Energi

Keuntungan suatu proyek Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ditentukan dari besar daya yang di-bangkitkan dan jumlah energi yang dibangkitkan tiap tahun. Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah  $H_{eff}$  (m), Debit maksimum turbin adalah  $Q$  ( $m^3/dtk$ ), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah  $\eta_t$  dan  $\eta_g$  maka daya atau tenaga yang dibangkitkan oleh suatu Pembangkit Listrik. Cara kerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini sangat bergantung pada tiga faktor, yaitu debit air, jatuh ketinggian, dan efisiensi. Dari tiga faktor itu maka dapat di rumuskan bagaimana potensi suatu sungai jika dibangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLMTH) dan berapa daya keluarannya sebagai berikut (IJEAT, 2013):

$$P = p \times g \times Q \times H_{eff} \times \eta \quad (2.46)$$

Dimana:

- $P$  = Daya terbangkitkan (w)
- $p$  = Massa jenis air =  $1000kg/m^3$
- $g$  = Grafitasi =  $9,81m/s^2$
- $Q$  = Debit air ( $m^3/s$ )
- $H_{eff}$  = head net, beda ketinggian muka air atas dan bawah (m)
- $\eta$  = Efisiensi sistem (%)