

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Prinsip Pembangkit Tenaga Air

Pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (*power*) yang di hasilkan dapat di hitung berdasarkan rumus: <sup>[2]</sup>

$$P = 9,8.H.Q \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana P = tenaga yang dikeluarkan secara teoritis (kW)

H = tinggi jatuh air efektif (m)

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s)

Daya yang dikeluarkan dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis.

Daya yang dihasilkan adalah hasil kali dari tinggi jatuh dan debit air; oleh karena itu berhasilnya pembangkitan tenaga air tergantung dari pada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis. Pada umumnya debit yang besar membutuhkan fasilitas dengan ukuran yang besar, misalnya bangunan ambil air (*intake*), saluran air dan turbin, oleh karena itu tinggi jatuh yang besar dengan sendirinya lebih murah. Dimana hulu sungai pada umumnya kemiringan dasar sungai lebih curam akan mudah diperoleh tinggi jatuh yang besar. Sebaliknya jika di sebelah hilir sungai, tinggi jatuh rendah dan debit besar. Oleh karena itu bagian hulu sungai lebih ekonomis. Sedangkan bagian hilirnya kurang ekonomis mengingat tinggi jatuh air yang kecil dan debit yang besar.<sup>[2]</sup>

## 2.2 Potensi Tenaga Air

Pembangkitan tenaga air tergantung pada kondisi geografis, keadaan curah hujan dan areal (penampungan) aliran (*catch area*). Jadi, pembangunan pembangkit tenaga air dapat dilaksanakan di banyak daerah dengan skala kapasitas yang bermacam-macam.

Untuk mengembangkan sumber-sumber tenaga air secara wajar, perlu diketahui secara jelas seluruh potensi sumber tenaganya. Jumlah potensi tenaga air di permukaan tanah disebut potensi tenaga air teoritis, sumber-sumber yang dapat dikembangkan ditinjau dari segi teknis disebut potensi tenaga air teknis, sedangkan sumber-sumber yang dapat dikembangkan secara ekonomis disebut potensi tenaga air ekonomis. <sup>[2]</sup>

## 2.3 Hubungan Antara Curah Hujan dan Limpasan

Data curah hujan biasanya tersedia lebih banyak dari data debit, maka dicari korelasi antara aliran sungai dan hujan untuk ditetapkan dalam periode tersedia data curah hujan. Hubungan antara curah hujan dan limpasan dapat dikembangkan secara teoritis, jika sesuatu mengenai karakteristik fisik sistem daerah pengaliran, kondisi mula, proses fisik, dan sebagainya yang ingin di ketahui. Hal ini tidak mungkin dilaksanakan. Sebagai penggantinya kita harus mencari hubungan tersebut secara empiris dengan menggunakan metode statistik.

Dalam hidrologi adalah bagaimana caranya menurunkan aliran sungai dalam suatu daerah pengaliran sungai dari curah hujan yang diketahui. Menurut DOOGE : *A system is anything consisting of parts connected together (structure, device, scheme, procedure) and interrelating in a given time reference an input, effect or response in the field of matter, energy or information.*

Daerah pengaliran sungai adalah suatu sistem yang mengubah curah hujan (*input*) ke dalam debit (*output, response* atau sambutan) di pelepasannya (*outlet*). Pengaruh yang diakibatkan curah hujan juga tergantung pada permulaan hujan yang ditentukan oleh keadaan iklim sebelumnya. Curah hujan ditentukan oleh intensitas lama waktu, distribusi dan sebagainya.

Curah hujan yang jatuh di daerah aliran sungai (*watershed*) mengalir lewat berbagai rute. Sebagian hujan total menjadi limpasan langsung, yang terdiri dari limpasan permukaan dan *interflow* (aliran yang masuk ke dalam lapisan tipis dibawah permukaan tanah dengan permeabilitas rendah, dan keluar lagi di tempat yang lebih rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan). Aliran limpasan langsung termasuk proses cepat, sedangkan aliran air tanah termasuk proses lambat . [22]

### 2.3.1 Curah Hujan Wilayah

Stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik dimana stasiun tersebut berada, sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran dan ditempatkan secara terpecah, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun dapat tidak sama. Curah hujan pada suatu daerah tertentu, ditinjau atas dasar satu kali hujan musiman atau tahunan. Dibutuhkan dalam jenis masalah metode yang sederhana ialah dengan merata-ratakan jumlah yang terukur dalam daerah secara aritmatika. Berikut metode perhitungan curah hujan rata-rata pada suatu daerah: [10]

#### 1. Metode *Thiessen*

Metode *Thiessen* berusaha untuk mengimbangi tidak meratanya distribusi alat ukur dengan menyediakan suatu faktor pembobot bagi masing-masing stasiun. Stasiun-stasiunnya diplot pada suatu peta dan garis-garis yang menghubungkan di gambar. Garis-garis bagi yang tegak lurus dari garis penghubung ini membentuk poligon-poligon di sekitar masing-masing stasiun. [23]

$$\bar{P} = \frac{(P_1 \times A_1) + (P_2 \times A_2) + \dots + (P_n \times A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

P = Rata-rata curah hujan

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ... P<sub>n</sub> = Tinggi curah hujan pada stasiun 1, 2, ... n

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, ... A<sub>n</sub> = Luas daerah pengaruh hujan pada stasiun 1, 2, ... n

## 2. Metode Titik Gris atau meratakan hujan

Metode Titik Gris atau meratakan hujan yang diperkirakan di semua titik yang berhimpitan di atasnya. Pendekatan ini mempunyai keunggulan tertentu dibandingkan dengan metode Thiessen, tetapi lebih praktis jika dibantu dengan komputer.

## 3. Metode Isohyet

Metode Isohyet lokasi stasiun dan besarnya diplot pada suatu peta yang cocok dan kontur untuk hujan yang sama kemudian di gambar. Hujan rata-rata suatu daerah dihitung dengan mengalikan hujan rata-rata antara isohyet yang berdekatan dengan luas antara isohyet, menjumlahkan hasilnya dan membaginya dengan luas total.

### 2.3.2 Pengukuran Curah Hujan.

Curah hujan dinyatakan dengan tingginya air dalam suatu tabung, biasanya dalam milimeter (mm). Untuk mengukur curah hujan digunakan alat ukur hujan (*rain gauge*); yang dikenal antara lain, adalah alat ukur hujan yang dapat dipergunakan untuk mengukur curah hujan dalam suatu hari dan kurang telat untuk mengetahui intensitasnya dan lamanya hujan itu berlangsung. Alat pengukur curah hujan yang mencatat sendiri sesuai untuk mengukur intensitas dan lama hujan. <sup>[2]</sup>

### 2.3.3 Komponen Limpasan

Aliran permukaan atau limpasan permukaan adalah air yang dalam perjalanannya menuju alur pengairan berada di atas permukaan tanah. Kata alur yang dipakai menunjukkan pada setiap lekukan yang dapat membuat sejumlah kecil air dalam aliran turbulen selama hujan berlangsung dan tak lama setelah itu. Jarak yang ditempuh oleh air sebagai aliran permukaan relatif pendek, kurang lebih dari ratusan meter.

Pembagian suatu hidrograf menjadi limpasan langsung dan limpasan air tanah sebagai dasar bagi analisis selanjutnya yang dikenal sebagai *hydrograph analysis*. Penerapan konsep hidrograf satuan, metode pemisahannya harus sedemikian rupa sehingga dasar waktu limpasan langsung tetap relatif konstan dari hujan yang satu ke hujan berikutnya. Biasanya hal ini diberikan dengan mengakhiri limpasan langsung pada waktu yang ditetapkan setelah puncak hidrograf. <sup>[12]</sup>

### 2.3.4 Aliran Sungai (Debit)

Aliran sungai atau debit adalah jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu curah hujan, keadaan geologi, flora, temperatur dan lain-lain. Debit selalu berubah dari musim ke musim dan dari hari ke hari. Kecenderungan karakteristik dan besarnya debit secara kasar dapat diketahui dengan pengamatan dalam jangka waktu yang lama. Pengukuran debit sungai sangat penting untuk dapat menentukan tenaga yang dihasilkan oleh pusat listrik tenaga air. Pengetahuan tentang debit pada waktu banjir mutlak diperlukan untuk keamanan dalam perencanaan dan pembangunan PLTA. <sup>[2]</sup>

## 2.4 Jenis-Jenis Pusat Listrik Tenaga Air

Berdasarkan jenis-jenis pusat listrik tenaga air dibedakan menjadi dua penggolongan yaitu: <sup>[2]</sup>

### 2.4.1 Penggolongan berdasarkan Tinggi Terjun yang ada

Berdasarkan tinggi terjun yang ada, pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi : <sup>[2]</sup>

1. Pusat listrik jenis terusan air (*water way*) adalah pusat listrik yang mempunyai tempat ambil air (*intake*) di hulu sungai, dan mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan kemiringan (*gradient*) yang agak kecil. Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dengan kemiringan sungai tersebut.
2. Jenis bendungan (DAM) adalah jenis pusat listrik dengan bendungan yang melintang sungai guna menaikkan permukaan air di bagian hulu bendungan dan membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan tinggi terjun yang diperoleh antara sebelah hulu dan hilir sungai.
3. Pusat listrik jenis bendungan dan terusan air merupakan jenis gabungan dari kedua jenis tersebut di atas. Jenis ini membangkitkan tenaga listrik dengan menggunakan tinggi terjun yang didapat dari bendungan dan terusan. <sup>[2]</sup>

### 2.4.2 Penggolongan menurut Aliran Air

Berdasarkan dari aliran air, pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi: <sup>[2]</sup>

1. Pusat listrik jenis aliran sungai langsung (*run-of-river*) kerap kali dipakai pada pusat listrik jenis saluran air. Jenis ini membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan aliran air sungai itu sendiri secara alamiah.
2. Pusat listrik jenis dengan kolam pengatur (*regulating pond*) mengatur aliran sungai setiap hari atau setiap minggu dengan menggunakan kolam pengatur yang dibangun melintang sungai dan membangkitkan tenaga listrik sesuai dengan perubahan beban. Disamping itu ada lagi jenis lain dengan kolam pengatur yang dibangun di bagian hilir pusat listrik beban puncak (*peaking power plant*) dengan waduk berkapasitas besar atau kolam (*pondage*), yang mengatur perubahan aliran air waktu beban puncak (*peak water flow*) sehingga menjadi aliran air yang konstan. Pusat listrik semacam ini disebut pusat listrik jenis kolam kompensasi.
3. Pusat listrik jenis waduk (*reservoir*) mempunyai sebuah bendungan besar yang dibangun melintang sungai. Dengan demikian terjadi sebuah danau buatan, kadang-kadang sebuah danau asli dipakai sebagai waduk. Air yang dihimpun dalam musim hujan dikeluarkan pada musim kemarau. Jadi, pusat listrik jenis ini sangat berguna untuk pemakaian sepanjang tahun.
4. Pusat listrik jenis dipompa (*pumped storage*) adalah jenis PLTA yang memanfaatkan tenaga listrik berlebih pada musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang pada tengah malam. Pada waktu air dipompa kembali oleh pompa ke atas dan disimpan dalam waduk. Jadi, pusat listrik jenis ini memanfaatkan kembali air yang didapat untuk membangkitkan tenaga listrik pada beban puncak siang hari. <sup>[2]</sup>

## 2.5 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Analisa frekuensi merupakan prakiraan, dalam arti probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk hujan rencana yang sebagai

fungsi dasar perhitungan perencanaan hidrologi untukantisipasi setiap kemungkinan yang akan terjadi.

Analisis frekuensi diperlukan data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan dimasa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu. Ada 2 macam seri data yang digunakan dalam analisis frekuensi, yaitu .<sup>[23]</sup>

1. Data maksimum hujan tahunan

Data ini diambil setiap tahun dengan satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya.

2. Seri parsial

Dengan menetapkan suatu besaran tertentu sebagai batas bawah, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis.<sup>[23]</sup>

Dalam analisis frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Semakin pendek data yang tersedia, maka semakin besar penyimpangan yang terjadi. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah:

1. Distribusi Normal
2. Distribusi Log Normal
3. Distribusi *Gumbel*
4. Distribusi *Log Pearson Type III*

Penentuan jenis distribusi sesuai dengan data yang dilakukan dengan mencocokkan parameter data tersebut dengan syarat masing-masing jenis distribusi. Persyaratan parameter statistik distribusi sesuai pada tabel 2.1 <sup>[10]</sup>

**Tabel 2.1** Persyaratan Parameter Statistik suatu distribusi <sup>[10]</sup>

Distribusi	Syarat
Normal	Cs = 0 Ck = 3
Log Normal	Cs/Cv = 3,00
Gumbel	Cs = 1.14 Ck = 5.41
Log Pearson III	Selain dari nilai diatas

Pada tabel di atas beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien varian, dan koefisien *skewness* (kecondongan atau kemencengan). Untuk menghitung parameter tersebut digunakan rumus:

1. Untuk menghitung rata-rata  $\bar{x}$  <sup>[23]</sup>

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Untuk menghitung Standar deviasi (s) <sup>[23]</sup>

$$s = \left[ \frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.4)$$

3. Untuk menghitung Koefisiensi variasi (C<sub>v</sub>) <sup>[23]</sup>

$$C_s = \frac{s}{\bar{x}} \dots\dots\dots (2.5)$$

4. Untuk menghitung Koefisiensi Kemencengan(C<sub>s</sub>) / Koefisien Skewness (G) <sup>[23]</sup>

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^3}{(n-1) \times (n-2) s^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

5. Untuk menghitung Koefisiensi kurtosis ( $C_k$ ) <sup>[10]</sup>

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) s^4} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$\bar{x}$  = Rata-rata ( $m^3/detik$ )

$n$  = Jumlah data (tahun)

$\sum_{i=1}^n x_i$  = total dari curah hujan  $x_i$  ( $m^3/detik$ )

$s$  = Standar Deviasi ( $m^3/detik$ )

$C_s/G$  = koefisien kemencengan / Koefisien Skewness

### 2.5.1 Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal disebut juga distribusi *Gauss*. Perhitungan curah hujan rencana menurut metode distribusi normal, mempunyai persamaan sebagai berikut: <sup>[10]</sup>

$$X_T = \bar{X} + K_T S \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$X_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata hitung variant

$S$  = Standar deviasi nilai variant

$K_T$  = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Tabel 2.2 Nilai Variabel Reduksi Gauss<sup>[23]</sup>

No	Periode ulang T (tahun)	Peluang	K <sub>T</sub>	No	Periode ulang T (tahun)	Peluang	K <sub>T</sub>
1	1.001	0.999	-3.05	11	2.500	0.400	0,25
2	1.005	0.995	-2.58	12	3.330	0.300	0,52
3	1.010	0.99	-2.33	13	4.000	0.250	0,67
4	1.050	0.95	-1.64	14	5.000	0.200	0,84
5	1.110	0.9	-1.28	15	10.000	0.100	1,28
6	1.250	0.8	-0.84	16	20.000	0.050	1,64
7	1.330	0.75	-0.67	17	50.000	0.020	2,05
8	1.430	0.7	-0.52	18	100.000	0.010	2,33
9	1.670	0.600	-0.25	19	200.000	0.005	2,58
10	2.000	0.500	0	20	500.000	0.002	2,88
				21	1000.000	0.001	3,09

Nilai faktor frekuensi  $K_T$  umumnya sudah tersedia dalam tabel untuk mempermudah perhitungan, disebut sebagai tabel nilai variable reduksi *Gauss* (*Variable reduced Gauss*), seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.2

### 2.5.2 Distribusi Log Normal

Distribusi log normal data X diubah kedalam bentuk logaritmik  $Y = \log X$ . jika variable acak  $Y = \log X$  terdistribusi secara normal. Maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Untuk distribusi Log Normal perhitungan curah hujan rencana menggunakan persamaan:<sup>[23]</sup>

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \dots\dots\dots (2.10)$$

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{Y}}{S} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

$Y_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T- tahunan

$\bar{Y}$  = Nilai rata-rata hitungan variant,

S = Deviasi standar nilai variant, dan

$K_T$  = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

### 2.5.3 Distribusi *Gumbel*

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode *Gumbel*, mempunyai perumusan sebagai berikut: <sup>[23]</sup>

$$X = \bar{X} + S \cdot K \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

X = Harga rata-rata sampel,

S = Standar deviasi (simpangan baku) sampel.

Nilai K (faktor probabilitas) untuk harga-harga ekstrim *Gumbel* dapat dinyatakan dalam persamaan : <sup>[10]</sup>

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk mengetahui nilai dari *reduced mean*  $Y_n$  dengan periode ulang dapat dilihat pada tabel 2.3

**Tabel 2.3 Reduced Mean  $Y_n$  <sup>[23]</sup>**

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.49	0.499	0.503	0.507	0.510	0.512	0.515	0.518	0.520	0.52
20	0.52	0.525	0.526	0.528	0.529	0.530	0.532	0.533	0.534	0.53
30	0.53	0.537	0.538	0.538	0.839	0.540	0.541	0.541	0.542	0.54
40	0.54	0.544	0.544	0.545	0.545	0.546	0.546	0.547	0.547	0.54
50	0.54	0.548	0.549	0.549	0.550	0.550	0.550	0.551	0.551	0.55
60	0.55	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.55
70	0.55	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.556	0.556	0.556	0.55
80	0.55	0.557	0.557	0.557	0.557	0.557	0.558	0.558	0.558	0.55
90	0.55	0.558	0.558	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.55
100	0.56	0.560	0.560	0.560	0.560	0.560	0.560	0.560	0.561	0.56

Dimana:

$Y_n$  = *Reduced mean* yang tergantung jumlah sample atau data n (Tabel 2.2)

$N$  = Jumlah data dalam tahun

Untuk mengetahui nilai dari *reduced standard deviation*  $S_n$  dengan periode ulang dapat dilihat pada tabel 2.4 .

**Tabel 2.4** *Reduced Standard Deviation,  $S_n$*  <sup>[23]</sup>

<b>N</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
10	0.949	0.967	0.983	0.997	1.009	1.020	1.031	1.041	1.049	1.056
20	1.062	1.069	1.075	1.081	1.086	1.091	1.096	1.100	1.104	1.108
30	1.112	1.115	1.119	1.122	1.125	1.128	1.131	1.133	1.136	1.138
40	1.141	1.143	1.145	1.148	1.149	1.151	1.153	1.155	1.157	1.159
50	1.160	1.162	1.163	1.165	1.166	1.168	1.169	1.170	1.172	1.173
60	1.174	1.175	1.177	1.178	1.179	1.180	1.181	1.182	1.183	1.184
70	1.185	1.186	1.187	1.188	1.189	1.189	1.190	1.191	1.192	1.193
80	1.193	1.194	1.195	1.195	1.196	1.197	1.198	1.198	1.199	1.200
90	1.200	1.201	1.202	1.202	1.203	1.203	1.204	1.204	1.205	1.206
100	1.206	1.206	1.207	1.207	1.208	1.208	1.208	1.209	1.209	1.209

Dimana :

$S_n$  = *Reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sample / data

$N$  = jumlah data dalam tahun

Untuk mengetahui nilai dari *reduced variate*,  $Y_{Tr}$  dengan periode ulang dapat dilihat pada tabel 2.5. <sup>[23]</sup>

**Tabel 2.5** *Reduced variate*,  $Y_{Tr}$  sebagai fungsi periode ulang<sup>[23]</sup>

Periode Ulang Tr (tahun)	<i>Reduced variate</i> $Y_{Tr}$	Periode ulang Tr (tahun)	<i>Reduced variate</i> $Y_{Tr}$
2	0.3668	100	4.6012
5	1.5004	200	5.2969
10	2.2510	250	5.5206
20	2.9709	500	6.2149
25	3.1993	1000	6.9087
50	3.9028	5000	8.5188

Dimana:

$Y_{Tr}$  = *Reduced Variate*

#### 2.5.4 Distribusi *Log Pearson Type III*

Perhitungan curah hujan rencana menurut metode *Log Pearson Type III*, mempunyai langkah-langkah perumusan sebagai berikut:

1. Perhitungan untuk harga rata-rata:<sup>[23]</sup>

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots \dots \dots (2.15)$$

2. Perhitungan untuk harga simpangan baku :<sup>[23]</sup>

$$s = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1} \right]^{0.5} \dots \dots \dots (2.16)$$

3. Perhitungan untuk koefisien kemencengan:<sup>[23]</sup>

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots \dots \dots (2.17)$$

4. Perhitungan untuk banjir dengan periode ulang T dengan rumus:<sup>[22]</sup>

$$\log X_T = \log \bar{X} + K \cdot s \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana K adalah variable standar (*standardized variable*) untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G. tabel 2.5 memperlihatkan harga K untuk berbagai nilai kemencengan G.

## 2.6 Perhitungan Debit Banjir dengan Metode HSS Nakayasu

Perhitungan banjir rancangan dalam penelitian ini digunakan dengan cara hidrograf satuan dengan pertimbangan bahwa cara ini adalah cara yang paling di percaya dan hasilnya berupa grafik hidrograf yang dapat dipakai sebagai debit *inflow* pada analisis penelusuran banjir. Pada sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan observasi hidrograf banjirnya, maka perlu ditentukan karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut lebih dahulu, contohnya waktu untuk mencapai puncak hidrograf, lebar dasar, luas DAS, kemiringan dasar sungai, panjang alur terpanjang, koefisien pengaliran dan sebagainya. Kolerasi tersebut biasanya digunakan hidrograf-hidrograf sintetis yang dikembangkan di negara lain seperti metode *Nakayasu*, metode *Synder Alexejev*, metode *Gamal* dll.

Parameter tersebut harus sesuai dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau. Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) *Nakayasu* (1950). *Nakayasu* berbangsa jepang membuat rumus hidrograf satuan sintetis dari penyelidikan sebagai berikut: [22]

1. Waktu kelambatan (*time lag*,  $t_g$ ) dengan rumus: [22]

$$t_g = 0.4 + 0.058 \times L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$t_g = 0.21 + L^{0.7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots (2.20)$$

2. Waktu durasi hujan ( $t_r$ ) dengan rumus: [22]

$$T_r = 0.5 \times t_g \text{ sampai } t_g \dots\dots\dots (2.21)$$

3. Waktu puncak dan debit puncak hidrograf satuan sintetis dirumuskan, dengan rumus: [22]

$$t_p = t_g + 0.8 T_r \dots\dots\dots (2.22)$$

4. Waktu saat debit sama dengan 0.3 kali debit puncak : [22]

$$t_{0.3} = \alpha + t_g \dots\dots\dots (2.23)$$

5. Debit puncak: [22]

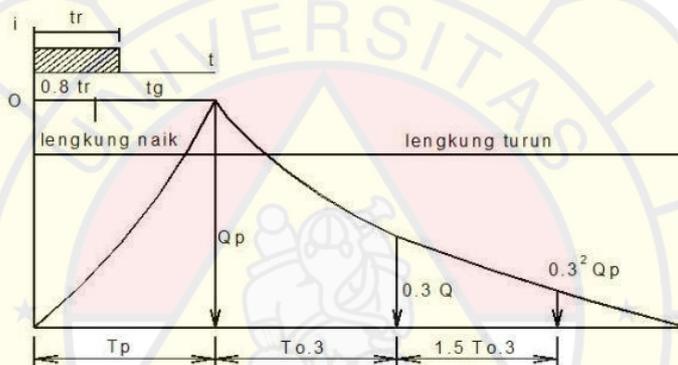
$$Q_p = \frac{1}{3.6} \times A \times R_o \times \frac{1}{(0.3 \times t_p + t_{0.3})} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

$t_g$  = Waktu keterlambatan (jam)

L = Panjang sungai (km)

- $t_{0.3}$  = Waktu saat debit sama dengan 0.3 kali debit puncak (jam)
- $1.5 t_{0.3}$  = Waktu saat debit sama dengan  $0.3^2$  kali debit puncak (jam)
- $\alpha$  = Koefisien, nilainya antara 1.5-3
- $t_p$  = waktu puncak (jam)
- $Q_p$  = Debit puncak ( $m^3/det$ )
- $A$  = Luas daerah tangkapan sampai outlet ( $km^2$ )
- $R_o$  = Satuan kedalaman satuan (mm)
- $Tr$  = Durasi hujan (jam)



**Gambar 2.1** HSS Nakayasu<sup>[22]</sup>

6. Bagian lengkung naik ( $0 < t < t_p$ )<sup>[22]</sup>

$$Q = Q_p \frac{t^{2.4}}{t_p} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

- $Q$  = Debit sebelum mencapai debit puncak ( $m^3/det$ )
- $t$  = Waktu (jam).

7. Bagian lengkung turun<sup>[22]</sup>

a. Jika  $t_p < t < t_{0.3}$

$$Q = Q_p \times 0.3 \dots\dots\dots (2.26)$$

b. Jika  $t_{0.3} < t < 1.5 t_{0.3}$

$$Q = Q_p \times 0.3 \frac{t - t_p + 0.5 \times 0.3}{1.5 \times t_{0.3}} \dots\dots\dots (2.27)$$

c. Jika  $t_{0.3} > 1.5 t_{0.3}$

$$Q = Q_p \times 0.3^{\frac{t-t_p+0.5 \times 0.3}{2 \times t_{0.3}}} \dots\dots\dots (2.28)$$

## 2.7 Evapotranspirasi dengan menggunakan Metode Penman

Evaporasi adalah iklim, sedangkan untuk transpirasi adalah iklim varietas, jenis tanaman, dan umur tanaman. Faktor iklim terdiri dari suhu udara kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara dan sinar matahari.

Metode yang ada di air dalam tanah juga dapat naik ke udara melalui tumbuh-tumbuhan, peristiwa ini disebut juga evapotraspirasi. Evapotranspirasi merupakan gabungan dari evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evaporasi merupakan peristiwa berubahnya air dari bentuk cair menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah atau permukaan air menuju ke udara. Transpirasi merupakan proses penguapan yang terjadi melalui tumbuhan. Faktor yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah iklim, sedangkan untuk transpirasi adalah iklim varietas, jenis tanaman, dan umur tanaman. Faktor iklim terdiri dari suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara dan sinar matahari.

Metode yang digunakan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi yang terjadi adalah menggunakan metode *Penman* modifikasi yang disesuaikan dengan keadaan daerah Indonesia. <sup>[10]</sup>

$$E_{To} = c(W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)) \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

$E_{To}$  = Evapotranspirasi acuan (mm/hari),

$W$  = Faktor koreksi temperatur,

$R_n$  = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hari),

$R_n$  =  $R_{ns} - R_{nl}$ ,

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

$\alpha$  = koefisien pemantulan = 0.25,

$R_s$  =  $(0.25 + 0.5 (n/N)) \cdot R_a$ ,

$R_{nl}$  =  $2.01 \times 10^9 \cdot T^4 (0.34 - 0.44 e^{0.5}) \cdot (0.1 + 0.9 n/N)$ ,

$f(u)$  = fungsi angin,

$(e_a - e_d)$  = Perbedaan antara tekanan uap air lembab pada temperatur udara rata-rata dan tekanan uap air aktual rata-rata (mbar),

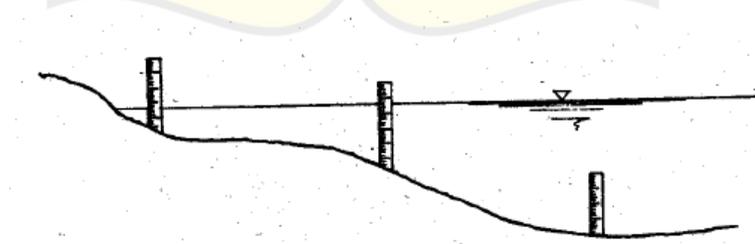
$c$  = faktor koreksi untuk mengkompensasikan siang dan malam.

## 2.8 Pengukuran Debit Sungai

Data debit diperlukan dalam studi-studi untuk menentukan volume aliran air atau perubahan-perubahan yang diakibatkan oleh bangunan yang dibuat disungai oleh manusia. Karena besarnya sama dengan luas penampang basah dikalikan dengan kecepatan arus maka pengukurannya diarahkan terhadap kedua faktor tersebut. <sup>[22]</sup>

### 2.8.1 Pengukuran Duga Air

Duga air sungai adalah elevasi diatas datum 0 permukaan air di pos pengukuran duga air yang ditentukan sembarangan. Datum tersebut kadang-kadang ditentukan sebagai duga di atas permukaan air laut, tetapi sering kali ditentukan di bawah duga debit nol. Karena sulitnya untuk mengukur debit secara langsung dan menerus, dipandang lebih mudah untuk mengukur duga air yang dengan demikian data primer yang dapat dikumpulkan di pos pengukuran debit adalah duga air.



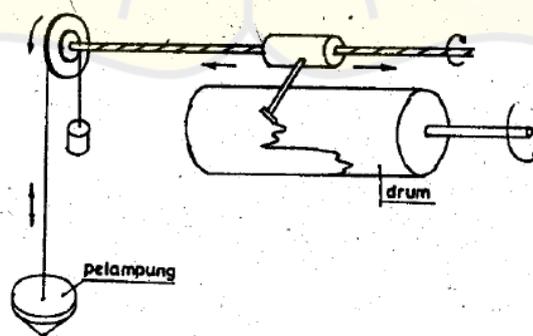
**Gambar 2.2** Potongan-potongan pendek rambu<sup>[22]</sup>

Cara yang paling sederhana dengan cara mengukur duga air adalah dengan menggunakan rambu duga air (*staff gauge*) yaitu skala yang dipasang sedemikian rupa sehingga ada bagian yang selalu tenggelam di dalam air, rambu tersebut dapat terdiri atas skala vertikal tunggal yang ditempelkan pada pilar jembatan, di tiang pancang, tembok penahan tanah atau konstruksi lain yang mencapai palung aliran kecil (*low water channel*) dari sungai. Jika tidak ada konstruksi atau bangunan yang dapat dipakai untuk menempelkan rambu duga air pada kedalaman maka dipasang rambu air seksional (*sectional staff gauge*) seperti pada gambar 2.2, kemudian potongan pendek rambu dipasang pada bangunan khusus yang dibuat sedemikian rupa sehingga setiap potongan tersebut dapat dibaca atau diamati.

Tipe lain pengukuran duga air adalah suatu benda yang diikat dengan kawat yang dapat diturunkan jembatan atau konstruksi lain sehingga mencapai permukaan air sungai. Elevasi air dapat ditentukan dengan mengurangi elevasi titik tetap diatas jembatan atau konstruksi lain dengan panjang kawat. [22]

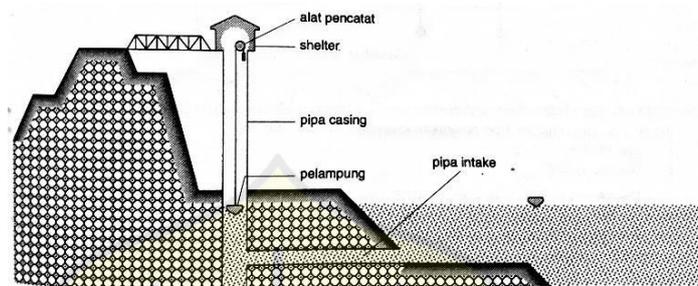
### 2.8.2 Pencatat Duga Air (*Waterlevel Recorder*)

Rambu pengukur duga air (*staff gauge* atau *peilschaal*) sangat murah biayanya, tetapi harus sering dibaca untuk mendapatkan hidrograf jika muka air sungai berubah secara cepat. Untuk mengatasi kesulitan ini dipakai alat pencatat duga air (*automatic waterlevel recorder*), dimana gerakan pelampungnya bergerak karena perubahan muka air sungai, dicatat diatas suatu grafik. Pencatatan dilakukan oleh suatu pena diatas grafik yang dilekatkan pada suatu drum yang diputar oleh peralatan jam.



**Gambar 2.3** Alat pencatat (*Automatic Waterlevel*) pada pos duga air<sup>[22]</sup>

Alat pencatat tersebut ditempatkan di dalam suatu shelter (bangunan pos duga air). Pelampungnya ditempatkan di dalam pipa casing yang dihubungkan dengan pipa intake ke sungai agar tidak terganggu oleh sampah-sampah.



**Gambar 2. 4** Alat pencatat tersebut ditempatkan di dalam suatu shelter <sup>[22]</sup>

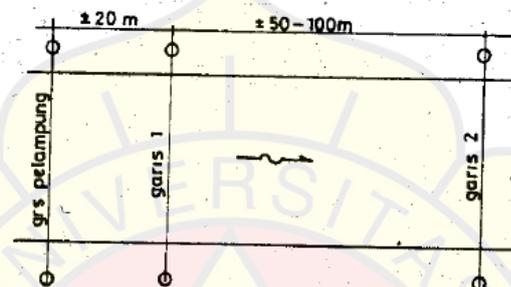
Pengukuran debit dengan menggunakan bangunan pengukur debit ini dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan, jika digunakan alat pengukur kecepatan arus. Pada dasarnya digunakan ambang tetap seperti bendung, pengukuran debit *cypoletti*, *rehbock* dan sebagainya. Ambang tidak dapat dibuat pada semua penampang sungai karena biaya pembuatannya lebih mahal dan pelaksanaannya lebih sukar. Cara ini dilakukan kalau kebetulan ditempat tersebut memang telah ada bendungan untuk keperluan irigasi, penyediaan air minum dan sebagainya.

### 2.8.3 Pengukur Debit

Cara untuk mengukur debit sungai dengan cara manual dengan: <sup>[22]</sup>

- I. Mengukur kecepatan arus dan penampang melintang suatu sungai
- II. Menggunakan bangunan pengukur debit seperti bendung, ambang tetap dan sebagainya.
  1. Mengukur kecepatan arus. Mengukur kecepatan arus dapat dilakukan dengan: <sup>[22]</sup>
    - a. Pelampung
    - b. Alat pengukur kecepatan (*current meter*)

Jika digunakan alat pelampung pengukuran kecepatan arus dapat dilakukan dengan mudah meskipun muka air sungai itu tinggi. Tempat yang dipilih untuk keperluan ini harus bagian sungai yang lurus dengan perubahan lebar, kedalaman dan gradien sungai yang kecil. Seperti pada gambar 2.5. pelampung dilepas digaris pelampung yang terletak 20 meter sebelum garis 1. Waktu tempuh pelampung diantara dua buah garis pengamatan (garis 1 dan garis 2) diukur dengan *stopwatch*.



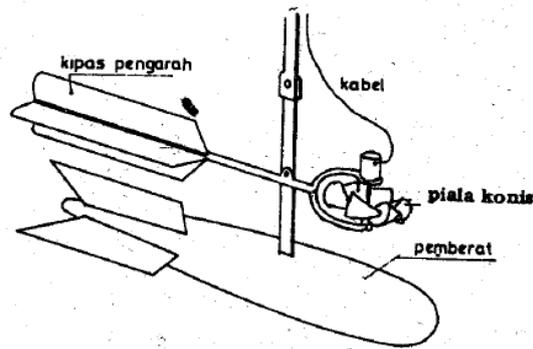
**Gambar 2.5** Pengamatan yang di pasang di dua titik yang berjarak 50 - 100 meter<sup>[22]</sup>

Setelah kecepatan arus dihitung, diadakan perhitungan debit, yaitu sama dengan kecepatan dikalikan dengan luas penampang basah sungai. Biasanya digunakan 3 buah pelampung, dan kecepataannya diambil kecepatan rata-ratanya. Mengingat arah tempuh pelampung dapat berubah-ubah akibat adanya pusaran-pusaran air maka nilai yang didapat dari pelampung yang arahnya sangat menyimpang harus ditiadakan.

Cara yang lebih teliti adalah menggunakan alat pengukur kecepatan arus atau *current meter*. Ada dua macam tipe *current meter*, yaitu:<sup>[22]</sup>

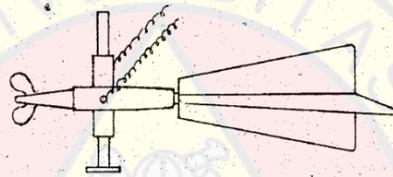
1. *Current meter type price*
2. *Current meter type propeller*

*Current meter type price* terdiri dari 6 buah piala konis (*conical cups*) yang berputar terhadap sumbu vertikal.



**Gambar 2.6** *Current meter type price* <sup>[22]</sup>

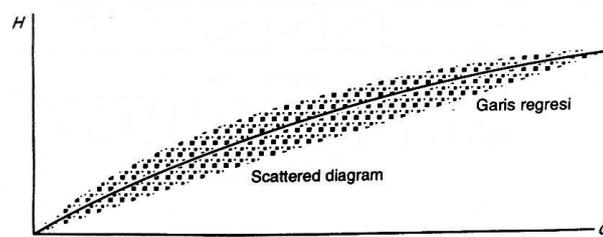
Tipe *propeller* adalah pengukur kecepatan arus dimana unsur putarnya berupa baling-baling (*propeller*) yang berputar terhadap sumbu horizontal.



**Gambar 2.7** *Current meter type propeller* <sup>[22]</sup>

#### 2.8.4 Lengkung Debit (*Rating Curve*)

Lengkung debit yaitu menggambarkan hubungan antara duga air  $H$  dengan debit  $Q$ . *Scatter* diagram tersebut kerap kali dapat menunjukkan suatu hubungan kedua variable tersebut dengan menarik garis regresi diantara titik-titik yang padat. Bentuk garis tersebut (garis lurus, parabolis, hiperbolis, eksponensial dan sebagainya) merupakan bentuk hubungan fungsi dari kedua variable tersebut. Untuk menentukan parameter hubungan tersebut digunakan cara kwadrat kecil (*least square method*). Sebelum dilakukan Analisa regresi harus ditentukan dulu variable  $Q$  dan  $H$ , kemudian titik  $Q$  dan  $H$  diplot diatas *scattered* diagram.



**Gambar 2.8** *Rating Curve*<sup>[22]</sup>

### 2.8.5 Debit Aliran Ketersediaan dengan Metode *F.J Mock*

Untuk mengetahui besarnya debit rata-rata yang mengalir suatu sungai dapat dilakukan dengan perhitungan secara empiris menggunakan metode *F.J. Mock*. Pada prinsipnya metode *F.J. Mock* memperhitungkan volume air masuk, keluar dan tersimpan di dalam tanah (*soil storage*).

Perhitungan pada debit andalan menggunakan metode *F.J. Mock* dibagi menjadi lima perhitungan utama. Kelima perhitungan tersebut yaitu evapotranspirasi aktual, *water balance*, *run off* dan air tanah, total volume tersimpan dan aliran permukaan.

Perhitungan debit andalan (*dependable flow discharge*) didekati dengan menggunakan cara metode *F.J. Mock*. Metode ini menganggap bahwa hujan yang jatuh pada Daerah Aliran Sungai (*Catch Area*) sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi limpasan permukaan (*direct run off*) dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*). *Infiltrasi* ini pertama-tama akan menjenuhkan *top-soil* kemudian menjadi perkolasi ke tampungan air tanah yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai *base flow*. Dalam hal ini harus ada keseimbangan antara hujan yang jatuh dengan evapotranspirasi, *direct run off* dan *infiltrasi* sebagai *soil moisture* dan *ground water discharge*. Aliran dalam sungai adalah jumlah aliran yang langsung dipermukaan tanah (*direct run off*) dan *base flow*.

Metode *F.J. Mock* mempunyai dua prinsip pendekatan perhitungan aliran permukaan yang terjadi di sungai, yaitu dengan neraca air diatas permukaan tanah

dan neraca air bawah tanah yang berdasarkan curah hujan, iklim dan kondisi tanah.<sup>[22]</sup>

### 2.8.6 Debit Andalan

Debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Tujuan penetapan debit andalan adalah untuk menentukan debit perencanaan yang diharapkan selalu tersedia di sungai.<sup>[19]</sup> Misalkan debit andalan ditetapkan sebesar 80%, maka akan dihadapi resiko adanya debit-debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 20% dari pengamatan yang ada.

Menurut pengamatan, besarnya debit andalan untuk penyelesaian optimum penggunaan air di beberapa macam proyek adalah:

**Tabel 2.6** Debit Andalan Untuk Penyelesaian Optimum Penggunaan Air<sup>[22]</sup>

Jenis Penggunaan Air	Debit Andalan
Untuk penyediaan air minum	99%
Untuk penyediaan air industry	95% - 88%
Untuk penyediaan air irigasi bagi:	
1. Daerah beriklim setengah lembab	70% - 85%
2. Daerah beriklim terang	80% - 95%
Untuk pembangkit listrik tenaga air	85% - 90%

### 2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Air adalah salah satu sumber energi yang dimanfaatkan untuk membangkitkan energi yang dapat menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan air merupakan sumber energi yang murah dan mudah di dapat, karena air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada saat air mengalir). Energi air banyak dimanfaatkan sebagai energi kinetik untuk menghasilkan energi listrik. Energi air dimanfaatkan dalam memutar atau menggerakkan kincir air atau turbin yang berada di sungai ataupun air terjun.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik.

Pembangkit listrik skala kecil dibagi menjadi dua menurut kapasitas daya yang dihasilkan. Jika kapasitas dibawah 200 kW (*kiloWatt*) disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), jika kapasitas dihasilkan 200 kW (*kiloWatt*) sampai dengan 5 MW (*Mega Watt*) maka disebut Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM). Air yang dimanfaatkan sebagai sumber daya listrik yang memiliki aliran dan ketinggian tertentu, pembangkit listrik dapat digunakan dengan memanfaatkan tinggi jatuh / *head* (dalam satuan meter) dan jumlah debit air (dalam satuan  $m^3/detik$ ). Semakin besar kapasitas aliran air, dan ketinggian dari instalasi, maka semakin besar energi yang di manfaatkan untuk menghasilkan listrik.<sup>[18]</sup>

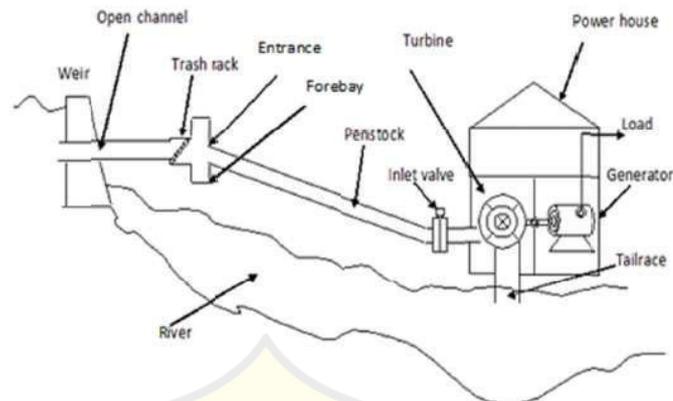
Keuntungan penggunaan turbin air (PLTMH) sebagai pembangkit listrik, antara lain:<sup>[3]</sup>

- a. Biaya operasional relatif lebih murah karena berasal dari energi terbarukan, sehingga penggunaan turbin menguntungkan untuk penggunaan dalam waktu yang lama,
- b. Turbin-turbin pada PLTMH dapat dioperasikan atau dihentikan pengoperasiannya setiap saat,
- c. Perawatan yang baik turbin dapat beroperasi dalam waktu yang cukup lama,
- d. Sumber energi yang digunakan energi air sehingga tidak mengakibatkan pencemaran udara dan air

Kekurangan dari penggunaan turbin air (PLTMH) adalah:<sup>[3]</sup>

- a. Persiapan suatu proyek PLTMH pada umumnya memakan waktu yang cukup lama sehingga untuk pembuatan memerlukan biaya yang cukup besar,
- b. Sumber energi yang digunakan (air) sangat dipengaruhi oleh iklim dan curah hujan.

### 2.9.1 Komponen Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro



**Gambar 2.9** Skema Diagram PLTMH<sup>[3]</sup>

Pada umumnya sebuah PLTMH terdapat beberapa komponen-komponen besar diantaranya yaitu:

1. Dam atau Bendungan pengalihan (*Weir*) dan *intake*. Dam pengalihan berfungsi sebagai pengalihan air melalui sebuah pembuka dibagian sisi sungai ke dalam bak pengendap,
2. Bak pengendap atau Kantong lumpur (*Sand trap*) digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Bak Pengendap berfungsi untuk melindungi komponen-komponen pasir atau batu,
3. Saluran pembawa (*Headrace*) saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan,
4. Bak penenang (*Headtank*) bak penenang berfungsi untuk mengatur perbedaan air antara pipa pesat dan saluran pembawa, dan pemisahan terakhir kotoran dalam air seperti pasir dan kayu-kayuan,
5. Pipa pesat (*Penstock*), *Penstock* dihubungkan ke sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air atau yang dikenal sebagai turbin,
6. Rumah pembangkit (*Power house*) adalah bangunan yang berisi turbin, generator, dan mesin-mesin lain yang dioperasikan oleh operator,
7. Turbin dan Generator, Turbin berfungsi sebagai konversi energi potensial dan energi kinetik dari air menjadi energi mekanik. Generator,

berfungsi sebagai konversi energi mekanik menjadi listrik. Dimana generator disesuaikan dengan daya yang dihasilkan turbin atau sumber daya air yang digunakan,

8. Saluran pembuangan (*tail race*), saluran pembuangan mengalirkan air yang telah digunakan untuk memutar turbin kembali ke sungai.<sup>[3]</sup>

## 2.9.2 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro

Berikut yang disampaikan klasifikasi pembangkit listrik hidro secara umum berdasarkan daya yang dihasilkan.

**Tabel 2.7** Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro<sup>[21]</sup>

No.	Jenis	Daya / Kapasitas
1.	PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)	> 5 MW
2.	PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro)	100kW – 5 MW
3.	PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro)	< 100 kW

## 2.10 Turbin Air

Turbin air adalah sebuah mesin yang berputar mengambil energi kinetik dari arus air. Arus air masuk ke dalam turbin dan memutar sudu pada turbin maka dihasilkan energi mekanik. Turbin tersebut terkopel pada generator dan memutar generator. Dalam pemilihan turbin pembangkit listrik ada beberapa faktor yang dapat dilihat dalam pemilihan turbin agar sesuai dengan perhitungan yaitu:

1. Tinggi jatuh air (*head*) dan debit air. Faktor ini merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin yang sesuai dengan kondisi dan alokasi perencanaan pembangunan pembangkit listrik.
2. Faktor daya (P) berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
3. Faktor kecepatan turbin berputar, faktor ini dapat mempengaruhi putaran dari generator yang dipakai.

Ketinggian jatuh air dapat diklasifikasikan *head* yang sesuai untuk memilih turbin. Dapat dilihat pada tabel 2.8 :<sup>[7]</sup>

**Tabel 2.8** Klasifikasi Head<sup>[7]</sup>

<b>Klasifikasi</b>	<b>Head</b>
<i>Head Rendah</i>	2-40 meter
<i>Head Sedang</i>	40-100 meter
<i>Head Tinggi</i>	> 100 meter

Dari tabel 2.8 ditentukan pengelompokan turbin dan jenis yang sesuai dengan ketinggian jatuh air.

### 2.10.1 Klasifikasi Turbin Air

Jenis-jenis turbin air adalah sebagai berikut:

1. Turbin impuls adalah tekanan air yang dirubah menjadi energi kinetik sebelum masuk ke dalam penggerak dari turbin. Energi kinetik tersebut berbentuk pancaran / semburan air yang mempunyai kecepatan yang tinggi kemudian membentur *bucket*, kemudian memenuhi dari sudu penggerak
2. Turbin reaksi memiliki cara kerja merubah seluruh energi air menjadi energi putar, jenis turbin ini beroperasi di dalam, sehingga bagian yang masuk dan keluar dari turbin ada tekanan yang besar berikut klasifikasi tipe turbin air.<sup>[2]</sup>

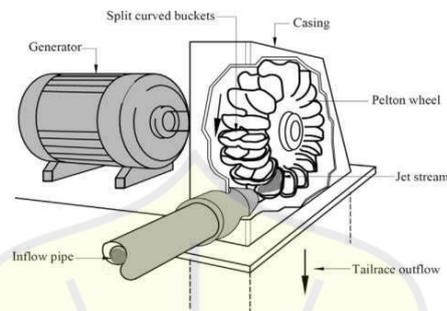
**Tabel 2.9** Klasifikasi Turbin Air<sup>[4]</sup>

<b>Tipe Turbin</b>	<b>Klasifikasi Head</b>		
	<b>High &gt; 50 m</b>	<b>Medium &gt; 10m – 15m</b>	<b>Low &lt; 10 m</b>
<b>Impuls</b>	<i>Pelton</i>	<i>Cross-flow</i>	<i>Cross-flow</i>
	<i>Turgo</i>	<i>Turgo</i>	
	<i>Multi-jet Pelton</i>	<i>Multi-jet Pelton</i>	
<b>Reaksi</b>		<i>Francis (Spiral Case)</i>	<i>Francis</i>
			<i>Propeler</i>
			<i>Kaplan</i>

### 2.10.2 Macam-macam Turbin Impuls

#### 1. Turbin Pelton

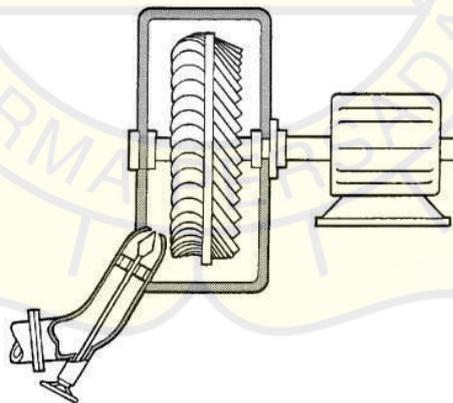
Turbin pelton memiliki nozzle yang menyemburkan air. Energi air masuk ke dalam roda turbin dalam bentuk energi kinetik. Saat air melewati roda turbin, energi kinetik diteruskan ke poros generator. [4]



**Gambar 2.10** Turbin Pelton<sup>[25]</sup>

#### 2. Turbin Turgo

Turbin turgo termasuk jenis turbin impuls, akan tetapi sudunya yang berbeda. Turbin *Turgo* beroperasi pada *head* 3 s/d 150m. Pancaran air dari nozel membentur sudu pada sudut 20°. Kecepatan putaran turbin *Turgo* lebih besar dari turbin *Pelton*. Akibatnya transmisi langsung dari turbin ke generator hingga menaikkan efisiensi total menurunkan biaya perawatan.<sup>[25]</sup>



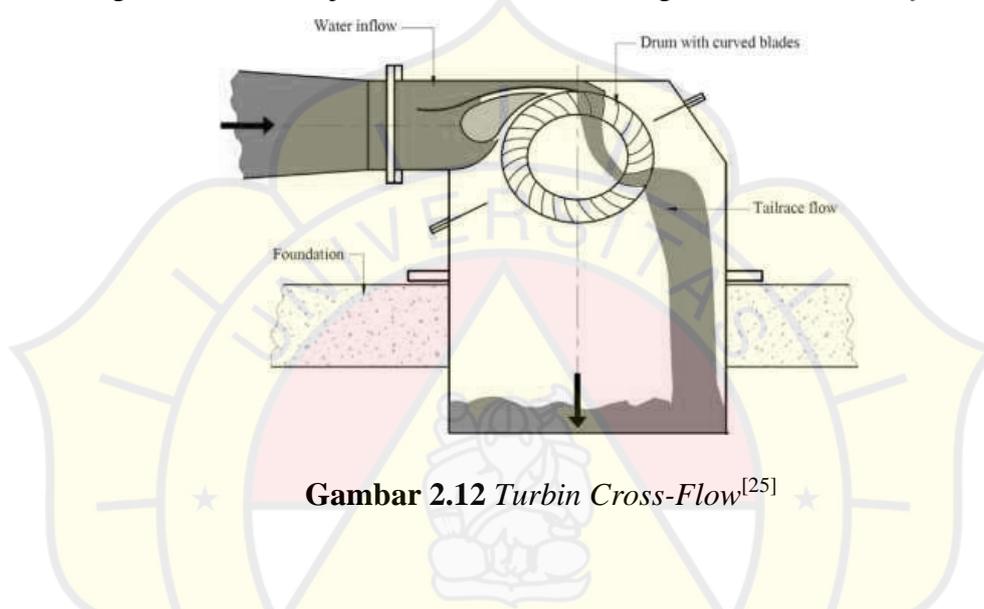
**Gambar 2.11** Turbin Turgo<sup>[25]</sup>

#### 3. Turbin *Cross-flow*

Turbin *Cross-flow* ditemukan oleh Michell Banki, diproduksi oleh perusahaan Osberger, Turbin *crossflow* digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air yang kecil dengan daya yang kurang lebih 750kW. *Head* yang digunakan ialah

1 meter s/d 200meter dan memiliki range debit air yaitu  $20 \text{ m}^3/\text{second}$  s/d  $10 \text{ m}^3/\text{second}$ . Kecepatan putarannya antara 60rpm sampai dengan 200rpm tergantung dari diameter roda.

Prinsip kerja dari turbin *Crossflow* adalah air yang keluar dari nozel masuk ke dalam *runner* menabrak sudu-sudu tahap pertama dan air tersebut keluar dari celah sudu-sudu tahap pertama lalu melewati ruang kosong dalam *runner*, selanjutnya menabrak sudu-sudu tahap kedua dan air itu keluar dari celah sudu-sudu tingkat kedua menuju kolam bawah. Berikut gambar turbin *crossflow*.<sup>[25]</sup>



**Gambar 2.12 Turbin Cross-Flow**<sup>[25]</sup>

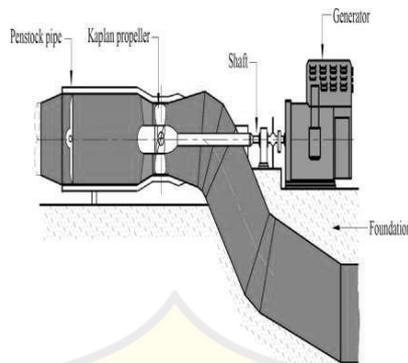
### 2.10.3 Macam-macam Turbin Reaksi

#### 1. Turbin *Kaplan*

Turbin *Kaplan* memiliki prinsip kerjanya menggunakan prinsip turbin reaksi. Turbin *Kaplan* dapat beroperasi dengan kecepatan tinggi sehingga roda turbin lebih kecil dan dapat dihubungkan langsung dengan generator. Pada kondisi beban tidak penuh, turbin *Kaplan* mempunyai efisiensi yang tinggi, karena sudu-sudu turbin dan dapat diatur dengan beban yang ada.

Turbin *Kaplan* banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai karena mempunyai kelebihan yang dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun, turbin ini memiliki roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang, berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada turbin berfungsi untuk mendapatkan gaya yaitu gaya putar yang menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada turbin *Francis*, sudu-sudu pada

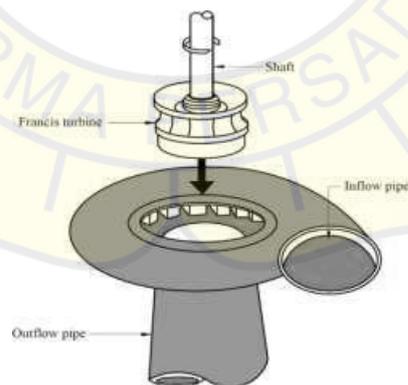
roda jalan turbin *Kaplan* dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. [25]



**Gambar 2.13** Turbin Kaplan<sup>[25]</sup>

## 2. Turbin *Francis*

Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah, sudu pengarah berfungsi sebagai mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin *Francis* merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudut atau kemiringannya. Turbin *Francis* dapat di aplikasikan antara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Untuk penggunaan di berbagai kondisi aliran penggunaan sudu pengarah yang dapat di atur merupakan pilihan yang tepat. [25]



**Gambar 2.14** Turbin *Francis*<sup>[25]</sup>



Pada gambar 2.16 turbin *francis* mempunyai karakteristik yang berbeda dengan yang lainnya yaitu dapat beroperasi pada *head* yang rendah atau beroperasi pada *head* yang tinggi. Turbin *Pelton* adalah turbin yang dapat beroperasi dengan *head* yang tinggi dengan debit air yang rendah. Sedangkan untuk turbin *Cross-flow* dapat beroperasi pada *head* rendah dengan kapasitas aliran yang rendah. Secara umum pemilihan jenis turbin dapat didasarkan pada *head* air yang didapatkan dan kurang lebih pada rata-rata debitnya, umumnya turbin impuls digunakan untuk tempat yang *head* tinggi dan turbin reaksi dapat digunakan dengan *head* yang rendah.

## 2.12 Generator

Generator adalah mesin bergerak yang mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik. Generator merupakan kesatuan dari turbin untuk menghasilkan energi listrik. Turbin terhubung ke generator melalui bearing yang dihubungkan ke salah satu shaft turbin sehingga saat turbin berputar maka rotor yang terdapat pada generator akan mengalami perputaran dan menginduksikan fluks pada stator akan menimbulkan energi listrik.

Generator memiliki beberapa jenis, berikut adalah jenis – jenis generator:

Jenis generator berdasarkan letak kutub:<sup>[2]</sup>

1. Generator kutub dalam,
2. Generator kutub luar.

Jenis generator berdasarkan putaran medan:

1. Generator sinkron,
2. Generator asinkron.

Jenis generator berdasarkan arus yang dibangkitkan:

1. Generator alternating current (AC),
2. Generator direct current (DC).

Jenis generator berdasarkan fasa:

1. Generator 1 fasa,
2. Generator 3 fasa.

Jenis generator berdasarkan bentuk rotornya:

1. Generator rotor kutub menonjol,
2. Generator rotor kutub datar.

Untuk menghitung besarnya daya generator, dengan menggunakan rumus sebagai berikut :<sup>[2]</sup>

$$P_{\text{generator}} = \eta_{\text{generator}} \times P_{\text{turbin}} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :  $P_{\text{generator}}$  = daya generator yang dihasilkan (MW)

$\eta_{\text{generator}}$  = efesiensi generator 0,8 s/d 0,95

$P_{\text{turbin}}$  = daya turbin.

Dalam pemilihan kapasitas daya yang terpasang pad generator dapat ditentukan dengan mencari daya semu. Untuk mencari daya semu dapat menggunakan rumus sebagai berikut :<sup>[2]</sup>

$$P_{\text{semu}} = \frac{P_{\text{generator}}}{\cos \theta} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :

$P_{\text{semu}}$  = daya semu (VA)

$P_{\text{generator}}$  = daya generarator

$\cos\theta$  = faktor daya (0.8)