

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Umum

Kondisi ketersediaan air yang melimpah khususnya di Indonesia, saat ini hanya dimanfaatkan kurang lebih 8% saja untuk digunakan sebagai penghasil energi listrik. Sementara itu banyak masyarakat Indonesia yang kekurangan bahkan belum menikmati energi listrik. Kondisi air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik haruslah dikembangkan, salah satunya adalah dengan pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Kondisi topografi di Indonesia antara lain dengan banyaknya daerah pegunungan sangat berpotensi untuk pengembangan sumber daya energi khususnya energi listrik. Pengembangan tersebut dapat dengan cara pembuatan PLTA kapasitas menengah seperti Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM). PLTM merupakan suatu bentuk perubahan tenaga air dengan ketinggian debit tertentu menjadi tenaga-tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator (QDC, *Telecommunication and Power Instructure Build and Investment* : 2014).

2.1.1. PLTM Tipe *Run off River*

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) tipe *run off river* adalah merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang memanfaatkan aliran sungai secara langsung tanpa perlu penampungan atau waduk terlebih dahulu. Menurut MM. Dandekar dan KN Sharma (1991), PLTA diklasifikasikan berdasarkan kapasitas yang diperoleh dari pembangkit listrik sebagai berikut :

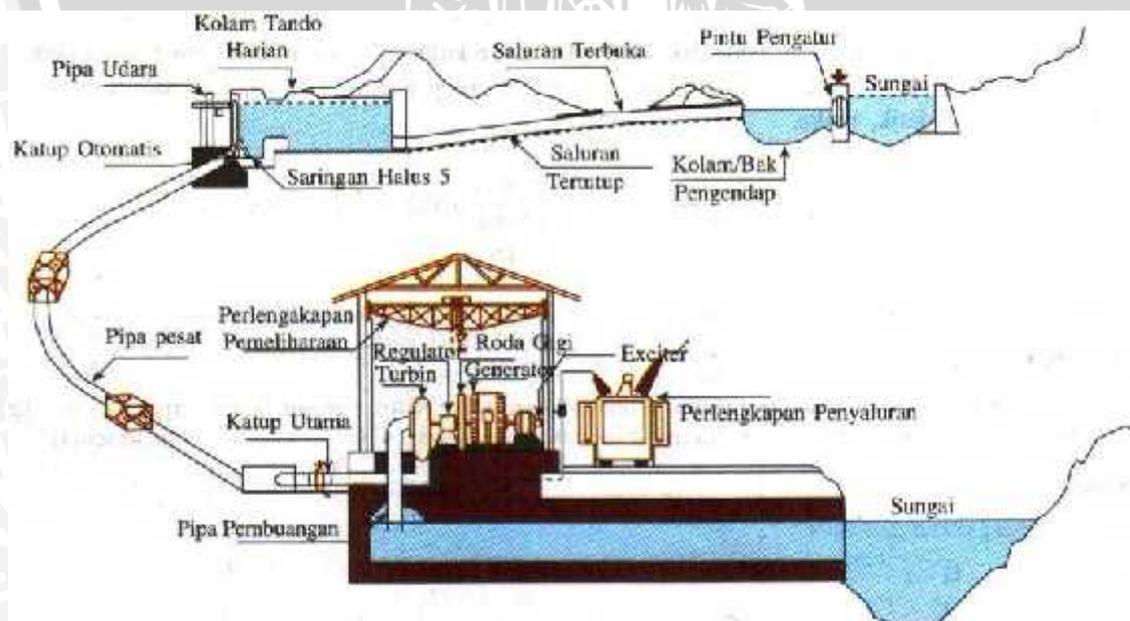
- Kapasitas kecil : kapasitas *output* < 5 MW (< 100 kW)
- Kapasitas menengah : kapasitas *output* 5 - 100 MW (100 – 500 kW)
- Kapasitas tinggi : kapasitas *output* 100 - 1000 MW (500 – 1000 kW)
- Kapasitas sangat tinggi : kapasitas *output* > 10000 MW (> 1000 kW)

PLTM diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas antara 200 kW – 500 kW per unit, sedangkan yang berkapasitas diatas 5000 kW per unit diklasifikasikan sebagai PLTA, dan yang dibawah 200 kW diklasifikasikan sebagai PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Pembangkit Listrik Tenaga

Minihidro (PLTM) tipe *run off river* adalah merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan potensi energi kisaran antara 1 MW sampai dengan 10 MW.

Cara kerja PLTM dimulai dengan proses perubahan aliran air yang merupakan energi potensial menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran turbin, untuk kemudian dikonversi menjadi energi listrik pada generator. Air yang mengalir pada kapasitas tertentu, disalurkan pada ketinggian tertentu menuju rumah turbin. Turbin akan menerima energi air tersebut, dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar kemudian ditransmisikan ke generator dan akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah.

Tipe *run off river* menjadikan sumber air yang ada pada sungai secara apa adanya sebagai sumber dari debit yang diandalkan untuk PLTM dengan tidak adanya tampungan secara khusus yang signifikan. Dengan kata lain prinsip kerja dari PLTA *Run off river* yaitu mengalihkan air sungai dengan menggunakan dam yang dibangun memotong aliran sungai, kemudian disalurkan ke bangunan air PLTA. Untuk daya yang dapat dibangkitkan tergantung pada debit air sungai, namun dari segi pembiayaan PLTA *run off river* ini lebih murah dibandingkan dengan PLTA kolam tandon. Prinsip kerja PLTM *run off river* diilustrasikan pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1. Prinsip kerja PLTM *run off river*.

Sumber : <http://putracelebespapua.blogspot.com> (22 Juni 2014)

Dalam perencanaan sebuah PLTM *run off river*, penentuan potensi suatu sungai merupakan tahap yang penting karena pada umumnya PLTM ini dibangun dengan daerah tangkapan air menengah yang memiliki ketinggian dengan kisaran > 500 meter. Penggunaan *Flow Duration Curve* Majemuk untuk penentuan potensi tenaga listrik suatu sungai merupakan salah satu cara melihat potensi suatu sungai secara sederhana. Dengan penggunaan *FDC* majemuk maka dapat memecahkan persoalan untuk mendapatkan potensi optimum energi suatu sungai. Dengan metode ini dapat terhindarkan akibat kekurangan atau kelebihan dari debit desain yang merupakan hal penting dalam penentuan desain turbin/generator (Pantouw *et al*, 2014).

2.1.2. Simulasi Energi

Simulasi dalam permasalahan pendayagunaan sumber daya air adalah suatu teknik pemodelan yang digunakan untuk menirukan dan memindahkan perilaku suatu sistem ke dalam model dengan bantuan komputer, menggambarkan semua karakteristik dari sistem secara luas dengan penjabaran matematis atau aljabar (Maas *et al*, 1962; Yeh, 1985). Dengan kata lain, simulasi merupakan sistem coba-coba, yaitu masing-masing variabel penentu diberi harga, kemudian harga sasarnya dihitung. Pada model simulasi bisa diprediksi dan ditunjukkan apa yang akan terjadi pada suatu sistem apabila diberikan masukan-masukan tertentu. Dengan demikian pola pengelolaan sistem dapat diputuskan dan ditetapkan dengan mempelajari reaksi terhadap berbagai skenario pengelolaan sistem tanpa perlu memiliki sistem itu sendiri secara nyata.

Penerapan model simulasi dalam permasalahan krisis energi, merupakan model perencanaan DAS deterministik untuk produksi hydropower. Produksi energi listrik pada suatu periode tergantung kapasitas terpasang, aliran (debit) melalui turbin, tinggi jatuh (*head*) rata-rata, waktu, *plant factor* dan efisiensi. Dapat disimpulkan, simulasi energi merupakan sistem pemodelan variabel (dalam hal ini adalah debit, *head* dan kapasitas terpasang) dengan beberapa macam skenario (Limantara & Soetopo, 2009).

2.2. Analisa Klimatologi

Analisis klimatologi bertujuan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi potensial yang terjadi di daerah studi. Hal ini dikarenakan dalam perhitungan parameter curah hujan, juga terdapat parameter evaporasi dan transpirasi sebagai salah satu komponen analisis. Evaporasi adalah perubahan air menjadi uap air. Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber daya air yang

mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, keperluan irigasi dan lain-lain. Sedangkan transpirasi adalah peristiwa perubahan air menjadi uap yang naik ke udara melalui jaringan hidup tumbuh-tumbuhan. Dalam kondisi lapangan (*field condition*), tidaklah mungkin untuk membedakan antara evaporasi dengan transpirasi jika tanahnya tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut (evaporasi dan transpirasi) saling berkaitan, sehingga dinamakan evapotranspirasi (Soemarto, 1986).

2.2.1. Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi adalah peristiwa hilangnya air menjadi uap dari permukaan tanah dan sekeliling tanaman (evaporasi) ditambah penguapan air dari tanaman (transpirasi) (Soemarto, 1986). Evapotranspirasi menurut Suyono (2003), adalah proses transpirasi dan evaporasi dari permukaan tanah secara bersamaan. Jika air dalam tanah cukup banyak, maka evapotranspirasi itu disebut evapotranspirasi-potensial.

Dalam ilmu hidrologi, evapotranspirasi/evapotranspirasi potensial merupakan suatu hal yang sangat penting. Banyak metode telah dikembangkan untuk memperkirakan besarnya evapotranspirasi. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi potensial adalah metode Penman dan Penman Modifikasi, metode Radiasi, metode Blaney dan Cridle, metode Thornwaite, metode Hargreaves, metode Janson-Haise dan lain-lain. Beberapa metode yang telah disebutkan di atas memiliki prinsip umum yang sama, yaitu :

$$E_{To} = c x E_{To}^* \dots\dots\dots (2-1)$$

E_{To} = evaporasi potensial (mm/hari)

c = faktor koreksi

E_{To}^* = evaporasi (mm/hari)

Dalam studi ini, untuk memperkirakan besarnya evapotranspirasi digunakan metode Blaney Cridle, Radiasi dan Penman. Dari ketiga metode tersebut, kemudian dipilih satu metode yang menghasilkan nilai evapotranspirasi paling besar.

2.3. Analisa Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam, meliputi berbagai bentuk air yang menyangkut perubahan-perubahannya dalam bentuk cair, padat, dan gas dalam atmosfer, diatas dan dibawah permukaan tanah.

Analisa Hidrologi dikerjakan untuk meneliti keseragaman data dari curah hujan dengan cara pengujian data. Dengan demikian, resiko kesalahan data dalam perhitungan untuk perencanaan dapat diminimalisir.

2.3.1. Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan suatu metode untuk memeriksa data hujan. Hal tersebut dilakukan untuk meneliti konsistensi data hujan serta untuk mengantisipasi kemungkinan kesalahan. Pemeriksaan dilakukan secara statistik berupa pengujian data hujan melalui uji homogenitas dan pemeriksaan *outlier* (Soewarno, 1995).

Sekumpulan data dari suatu variabel hidrologi sebagai hasil pengamatan atau pengukuran dapat disebut sejenis atau homogen apabila data tersebut diukur dari suatu rezim yang tidak berubah. Data yang tidak sama jenis (*non-homogenous*) ditandai dengan perbedaan nilai rata-rata (*mean*) dan perbedaan varian (*variance*) dalam setiap sub kelompok populasi terhadap sub kelompok yang lain dalam populasi tersebut (Soewarno, 1995). Uji Homogenitas dimaksudkan untuk memberikan kepastian tentang konsistensi data hujan yang telah dihitung adalah tidak jauh berbeda dengan data lainnya. Dengan kata lain memberikan kemudahan dalam proses pengolahan data karena sudah sejenis untuk mengestimasi kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi.

Pada studi ini data hujan diperoleh dari satu stasiun, yaitu stasiun hujan Dongko. Dari kondisi tersebut pemeriksaan data hujan menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Metode ini digunakan untuk menguji data satu stasiun untuk dideteksi nilai rata-ratanya (*mean*) dengan data dari stasiun itu sendiri. Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

$$Q = \text{maks } |S_k^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n \dots\dots\dots (2-3)$$

$$R = \text{maks } S_k^{**} - \text{min } S_k^{**} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$S_k^* = (x - \bar{x}) \dots\dots\dots (2-5)$$

$$D_y^2 = \frac{\sum S_k^{*2}}{n} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$D_y = \sqrt{D_y^2} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \dots\dots\dots (2-8)$$

dengan:

Q = atribut dari besarnya sebuah nilai statistik, diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus seperti pada persamaan di atas.



R = atribut dari besarnya sebuah nilai statistik (*range*), diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus seperti persamaan di atas.

S_k^* = data hujan (X) – data hujan rata-rata (\bar{X})

D_y^2 = nilai kuadrat dari S_k^* dibagi dengan jumlah data

S_k^{**} = nilai S_k^* dibagi dengan D_y

n = jumlah data

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Data hujan diurutkan berdasarkan tahun, kemudian dihitung rata-ratanya
2. Menghitung nilai absolut S_k^* , yaitu tiap data dikurangi data hujan rata-rata
3. Menghitung nilai D_y^2 , yaitu $(S_k^*)^2$ dibagi jumlah data
4. Menghitung jumlah komulatif D_y^2
5. Menghitung D_y , yaitu akar dari D_y^2
6. Menghitung nilai dari S_k^{**} , yaitu S_k^* dibagi D_y
7. Menghitung nilai absolut S_k^{**} dan menentukan nilai S_k^{**} maksimal/minimal
8. Menghitung nilai Q/n dan R/n

Dengan melihat data statistik di atas, maka dapat dicari nilai Q/n dan R/n .

Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai Q/n dan R/n tabel, syarat analisis diterima (masih dalam batasan konsisten) jika nilai Q/n dan R/n hitung lebih kecil dari nilai Q/n dan R/n tabel. Nilai Q/n dan R/n dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Q/n dan R/n

n	Q/n			R/n		
	90	95	99	90	95	99
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,10	1,22	1,42	1,34	1,43	1,60
30	1,12	1,24	1,46	1,40	1,50	1,70
40	1,13	1,26	1,50	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,50	1,62	1,86
	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2,00

Sumber: Harto (1993:60)

2.3.2. Uji Abnormalitas Data

Data hasil uji Homogenitas yang telah konsisten kemudian di uji kembali menggunakan uji Abnormalitas Data untuk mengetahui keberadaan data *outlier*. Keberadaan data *outlier* biasanya mengganggu pemilihan jenis distribusi suatu sampel data, sehingga data *outlier* perlu dihapus dari data yang digunakan untuk analisis.

Pengujian metode ini menetapkan ambang bawah X_L dan ambang atas X_H sebagai berikut (Anonim, 2009) :

$$X_H = \exp. (X_{rerata} + K_n \cdot S) \dots\dots\dots (2-9)$$

$$X_L = \exp. (X_{rerata} - K_n \cdot S) \dots\dots\dots (2-10)$$

X_H = nilai ambang atas

X_L = nilai ambang bawah

X_{rerata} = nilai rata-rata dari logaritma sampel data

S = simpangan baku dari logaritma terhadap data

K_n = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data

n = jumlah sampel data

Adapun langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Data diurutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya
2. Mencari harga $\log X$ dilanjutkan mencari harga rerata dari $\log X$
3. Mencari nilai standar deviasi dari $\log X$
4. Mencari nilai K_n (Tabel 2.2)
5. Menghitung nilai ambang atas (X_H) dan nilai ambang bawah (X_L)
6. Menghilangkan data yang tidak layak digunakan

Tabel 2.2 Nilai K_n dalam Pengujian *Outlier*

Jumlah Data	K_n						
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,468	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,7	80	2,94
15	2,247	29	2,549	43	2,71	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,76	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

Sumber: Chow (1988:404)

2.3.3. Uji Kesesuaian Distribusi

Data hidrologi yang digunakan untuk mengestimasi debit andalan menggunakan analisa frekuensi belum tentu sesuai dengan distribusi-distribusi yang dipilih. Untuk itu perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi (Limantara, 2009).

Uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kebenaran hipotesa suatu analisa frekuensi. Dengan pengujian ini akan diketahui kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau diperoleh secara otomatis.

2.3.3.1. Log Pearson III

Dalam studi ini dipakai metode Log Pearson III dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan umum digunakan dalam perhitungan maupun analisis curah hujan di Indonesia, serta dapat dipakai untuk semua data. Menurut Soemarto (1987), parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson III adalah harga rata-rata, standard deviasi dan koefisien kepeccengan.

Prosedur untuk menentukan kurva distribusi Log Pearson Tipe III adalah:

1. Mengubah data debit banjir tahunan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi Log $X_1, \text{Log } X_2, \text{Log } X_3, \dots, \text{Log } X_n$.

2. Menghitung nilai rata-rata menggunakan persamaan:

$$\overline{\text{Log } x} = \frac{\sum \text{Log } X}{n} \dots\dots\dots (2-11)$$

3. Menghitung nilai standar deviasi dari Log X menggunakan persamaan:

$$S.\text{Log } x = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x - \overline{\text{Log } x})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (2-12)$$

4. Menghitung nilai koefisien kepeccengan menggunakan persamaan:

$$C_s = \frac{n \sum (\text{Log } x - \overline{\text{Log } x})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \dots\dots\dots (2-13)$$

5. Menghitung logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki :

$$\text{Log } x = \overline{\text{Log } x} + K \cdot S \dots\dots\dots (2-14)$$

dengan:

$\text{Log } x$ = Logaritma curah hujan rancangan

$\overline{\text{Log } x}$ = Logaritma rerata curah hujan

K = Variabel standar X yang besarnya tergantung koefisien kepeccengan C_s

s = Simpangan baku

Harga rata-rata K dapat dilihat dengan tingkat peluang atau periode tertentu sesuai dengan nilai C_s nya.

6. Mencari anti LogX untuk mencari debit banjir dengan waktu balik yang dikehendaki.

2.3.3.2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov adalah uji distribusi terhadap penyimpangan data ke arah horisontal untuk mengetahui suatu data sesuai atau tidak dengan jenis sebaran teoritis. Uji Smirnov-Kolmogorov sering juga disebut uji kecocokan *non-parametric*, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Limantara, 2009).

Pengujian data dari uji Smirnov-Kolmogorov ini dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data antara sebaran teoritis dan sebaran empiris yang dinyatakan dalam Δ . Sebelum melakukan uji kesesuaian, terlebih dahulu dilakukan *plotting* data dengan tahapan sebagai berikut :

1. Data hujan harian maksimum tahunan disusun dari besar kecil.
2. Hitung probabilitasnya dengan rumus Weibull (Harto, 1993) :

$$P = \frac{\pi}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(2-15)$$

3. *Plotting* data debit (X) dengan probabilitas P.
4. Menghitung selisih nilai D yang dinyatakan dengan persamaan:

$$D = \max \frac{|Pt - Pw|}{100} \dots\dots\dots(2-16)$$

Apabila besarnya nilai D yang diperoleh lebih kecil dari D_0 (dari tabel) maka hipotesa yang dilakukan diterima (memenuhi syarat distribusi yang diuji), jika nilai D yang diperoleh lebih besar dari D_0 maka hipotesa yang dilakukan tidak diterima (tidak memenuhi syarat distribusi yang diuji).

2.3.3.3. Uji Chi Square

Uji Chi-Square menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara sistematis kedekatan antara data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya. Penentuan parameter ini menggunakan X^2Cr dihitung dengan rumus berikut (Limantara, 2010) :

$$X^2Cr = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Efi - Ofi}{Efi} \right]^2 \dots\dots\dots(2-17)$$

dengan :

- X^2Cr = harga *Chi Square*
- Efi = banyaknya frekuensi yang diharapkan



Ofi = frekuensi yang terbaca pada kelas i

n = jumlah data

Perhitungan uji *Chi Square* adalah :

1. Pengurutan data pengamatan dari besar ke kecil
2. Perhitungan jumlah kelas yang ada ($K = 1 + 3,322 \log n$). Dalam pembagian kelas disarankan agar setiap kelas terdapat minimal lima buah pengamatan.
3. Perhitungan nilai $E_f = \left[\frac{n}{K} \right]$
4. Perhitungan banyaknya Of untuk masing – masing kelas.
5. Perhitungan nilai X^2_{Cr} untuk setiap kelas kemudian hitung nilai total X^2_{Cr} dari tabel untuk derajat nyata tertentu yang sering diambil sebesar 5% dengan parameter derajat kebebasan. Rumus derajat kebebasan adalah :

$$DK = K - (R + 1) \dots\dots\dots(2-18)$$

dengan :

DK = derajat kebebasan

K = kelas

R = banyaknya keterikatan (biasanya diambil $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial dan $R = 1$ untuk distribusi *Poisson* dan *Gumbel*).

Nilai X_h^2 yang terhitung ini harus lebih kecil dari harga X_h^2 tabel, yang didapat.

Tahapan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

- a. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil/sebaliknya, lalu kelompokkan data menjadi G sub grup (tiap-tiap sub grup minimal 4 data pengamatan).
- b. Menjumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup
- c. Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
- d. Untuk tiap-tiap sub grup hitung nilai : $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
- e. Menjumlah nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ pada seluruh G sub grup untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung (X_h^2).
- f. Harga X_h^2 dibandingkan dengan harga X^2 dari tabel Chi-Kuadrat dengan dk dan jumlah data (n) tertentu. Apabila $X_h^2 < X^2$ maka hipotesa distribusi dapat diterima.

Parameter X_h^2 merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai X_h^2 sama atau lebih besar dari nilai Chi-Kuadrat sebenarnya (X^2) dapat dilihat pada tabel.

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut:

1. Apabila peluang lebih dari 5%, persamaan distribusi yang digunakan dapat diterima.
2. Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi yang digunakan tidak dapat diterima.
3. Apabila peluang berada di antara 1%-5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan.

2.4. Klasifikasi Pengelompokan Data

Berdasarkan pada evaluasi besarnya curah hujan, temperatur dan karakteristik vegetasi, iklim diklasifikasikan menjadi 5 tipe iklim, yaitu :

- Tropical Rainy Climates
- Dry Climates
- Warm Temperature Rainy Climates
- Cold Snow Forest Climates
- Polar Climates

Sistem Oldeman menetapkan klasifikasi iklim berdasarkan peninjauan, dimana *hujan bulan basah*, apabila curah hujan bulanan > 200 mm dan *hujan bulan kering*, apabila curah hujan bulanan < 100 mm. Sedangkan menurut klasifikasi yang dibuat oleh Schmidt dan Ferguson adalah :

$$Q = \frac{\text{jumlah rerata bulan kering}}{\text{jumlah rerata bulan basah}}$$

- *Bulan kering*, apabila curah hujan < 60 mm
- *Bulan basah*, apabila curah hujan > 100 mm

Dengan klasifikasi sebagai berikut :

- 0,000 Q 0,143 = sangat basah
- 0,143 Q 0,333 = basah
- 0,333 Q 0,600 = agak basah
- 0,600 Q 1,000 = sedang
- 1,000 Q 1,670 = agak kering
- 1,670 Q 3,000 = kering
- 3,000 Q 7,000 = sangat kering
- 7,000 Q = luar biasa kering

2.5. Debit Andalan

Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya resiko kegagalan tertentu (Limantara, 2009). Sedangkan untuk keperluan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), debit andalan adalah debit minimum yang masih dimungkinkan untuk keamanan operasional satu bangunan air pendukung PLTA. Menurut pengamatan dan pengalaman, besarnya debit andalan untuk berbagai keperluan adalah seperti di bawah ini :

- Air baku/air minum 99% (seringkali mendekati 100%)
- Industri 95% - 98%
- Air irigasi
 - Daerah setengah lembab 70% - 85%
 - Daerah kering 80% - 95%
- Pembangkit Listrik Tenaga Air 85% - 90%

Dalam perencanaan suatu PLTA, debit perencanaan menggunakan debit andalan (*dependable discharge*). Hal tersebut berguna untuk menentukan debit yang diharapkan tersedia di sungai untuk memperkirakan besarnya kapasitas terpasang. Untuk keperluan PLTA umumnya digunakan peluang sebesar 97,3% karena dalam 1 tahun operasi, turbin dan generator akan mengalami turun mesin (*overhaul*) selama 10 hari.

2.5.1. Metode F.J. Mock.

Metode *Mock* merupakan suatu metode yang dikembangkan oleh *Dr.F.J.Mock* (1973) untuk memperkirakan besarnya debit suatu daerah aliran sungai berdasarkan konsep *water balance*. Secara umum analisis debit berdasarkan data curah hujan yang sering dilakukan di Indonesia adalah menggunakan metode ini. Prinsip metode *Mock* menyatakan bahwa hujan yang jatuh pada daerah tangkapan air, sebagian akan hilang akibat evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi *direct runoff*, dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah atau *infiltrasi*. Evapotranspirasi pada metode ini adalah evapotranspirasi yang dipengaruhi oleh jenis vegetasi, permukaan tanah dan jumlah hari hujan. Infiltrasi ini akan menjenuhkan permukaan tanah, kemudian terjadi perkolasi air tanah dan keluar sebagai *base flow* (Anonim, 2009).

Dalam Metode *Mock*, terdapat beberapa parameter yang dihitung dalam proses analisisnya. Parameter tersebut berfungsi sebagai data masukan maupun data hitungan

untuk memperkirakan besarnya debit suatu daerah aliran sungai berdasarkan data curah hujan. Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam metode *Mock* adalah :

- Evapotranspirasi Terbatas (E_t)

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta curah hujan. E_t dipengaruhi oleh faktor-faktor fisiologi tanaman dan unsur tanah.

$$E_t = E_{t0} - E \dots \dots \dots (2-19)$$

$$E = E_{t0} \cdot (m/20) \cdot (18-h) \dots \dots \dots (2-20)$$

Prosentase lahan tak tertutup vegetasi dari peta tata guna lahan (m) dengan rentang nilai 30% - 50%. Rentang nilai 10% - 40% untuk lahan yang tererosi dan nilai 0% untuk lahan dengan hutan lebat.

- Keseimbangan Air di Permukaan Tanah

Keseimbangan air di permukaan tanah dipengaruhi oleh aliran permukaan dan kandungan air yang ada di dalam tanah. Untuk menentukan dua parameter tersebut, dicari nilai air hujan yang mencapai permukaan tanah dengan rumus berikut :

$$s = P - E_t \dots \dots \dots (2-21)$$

Jika: $s \geq E_t$ maka aliran permukaan = 0

$$s < E_t \text{ maka aliran permukaan} = PF \times P \dots \dots \dots (2-22)$$

Jika: $SS = 0$ maka kapasitas kelembaban air tanah (SMC)

$$SS > 0 \text{ maka kapasitas kelembaban air tanah} = SS \dots \dots \dots (2-23)$$

$$WS = s - SS \dots \dots \dots (2-24)$$

Perubahan kandungan air tanah tergantung dari harga s , bila negatif maka kapasitas kelembaban tanah berkurang, dan jika positif akan menambah kekurangan kapasitas kelembaban sebelumnya. Perkiraan kapasitas kelembaban tanah biasanya diambil 50-250 mm, yaitu kapasitas kandungan air tanah per m^3 .

- Aliran dan Simpanan Air Tanah

Untuk menentukan parameter aliran dan simpanan air tanah, terdapat komponen-komponen pendukung yang harus dihitung. Komponen tersebut sebagai berikut :

- *Infiltrasi* (I) dan Penyimpanan Air Tanah

Menurut Triatmodjo (2010), *infiltrasi* adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. *Infiltrasi* memiliki koefisien yang ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran sebesar 0-1. Akibat proses *infiltrasi*, terjadi proses penyimpanan air tanah (*groundwater storage*). Besar



penyimpanan air tanah tergantung kondisi geologi dan waktu dengan faktor resesi air tanah (k) 0-1. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$I = i \cdot WS \dots\dots\dots (2-25)$$

$$V_n = [0,5 (1+k) x I] + [k x V_{(n-1)}] \dots\dots\dots (2-26)$$

$$V_n = V_n - V_{(n-1)} \dots\dots\dots (2-27)$$

- Limpasan (*run off*)

Limpasan adalah sejumlah air yang keluar dari *outlet* daerah pengaliran menuju sungai melalui permukaan maupun dalam tanah (Soemarto, 1987). Limpasan dihitung berdasarkan nilai aliran dasar, limpasan dan limpasan langsung :

$$BF = I - V_n \dots\dots\dots (2-28)$$

$$T_{Ro} = BF + DR \dots\dots\dots (2-29)$$

• Debit Aliran Sungai

$$Q = \frac{A \cdot T_{Ro}}{10 \text{ hari (detik)}} \dots\dots\dots (2-30)$$

Langkah-langkah perhitungan debit metode *Mock* adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan dan menghitung data-data yang dibutuhkan dalam metode *Mock*
2. Menentukan evapotranspirasi terbatas dan besar hujan di permukaan tanah (s).
4. Menentukan harga kelembaban tanah (SMC).
5. Menghitung nilai *infiltrasi* (i) dengan koefisien 0-1,0.
6. Menghitung air lebih tanah (*water surplus*) dan kandungan air bawah tanah (V_n) dan perubahan kandungan air bawah tanah.
7. Menghitung aliran dasar dan aliran langsung.
8. Menghitung nilai debit yang tersedia di lokasi/sungai.

2.5.2. *Flow Duration Curve*

Lengkung durasi aliran merupakan suatu grafik yang memperlihatkan debit sungai dan selama beberapa waktu tertentu dalam satu tahun. Lengkung durasi aliran adalah lengkung yang menunjukkan besar aliran pada setiap kemungkinan kejadiannya (Soemarto, 1986). Lengkung durasi aliran digunakan untuk menentukan besar debit andalan. Sumbu vertikal adalah besaran aliran, sedangkan sumbu horizontal merupakan besar prosentase kemungkinan kejadiannya yang dinyatakan dalam persen. Kurva durasi juga menunjukkan karakteristik aliran suatu sungai yang diperoleh dari rangkaian

data pada periode yang panjang. Pada umumnya untuk menentukan debit andalan menggunakan kurva durasi aliran, data seri hidrologi dalam hal ini adalah data debit dikelompokkan selama satu tahun penuh tanpa memisahkan antara data ketika musim basah dan data ketika musim kering. Pengelompokan data selama satu tahun penuh tersebut biasanya disebut sebagai *Flow Duration Curve* Tunggal.

Dalam membuat kurva FDC kita harus menentukan debit sungai terlebih dahulu. Debit sungai merupakan laju aliran yang didefinisikan sebagai hasil bagi antara volum air yang terleati pada suatu penampang per satuan waktu. Debit (*discharge*, Q) atau laju volume aliran sungai umumnya dinyatakan dalam satuan volum per satuan waktu, dan diukur pada suatu titik atau *outlet* yang terletak pada alur sungai yang akan diukur. Besar debit atau aliran sungai diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan aliran yang melalui suatu luasan penampang basah. Metode pengukuran debit ini dikenal dengan istilah metode kecepatan-luas (*velocity-area method*). Debit sungai dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots (2-31)$$

dengan :

- Q = laju volume aliran (cfs atau m³/detik)
- A = luas penampang melintang alur sungai (ft² atau m²)
- V = penampang melintang alur sungai (ft/sec atau m/detik)

Untuk perhitungan FDC tunggal, harga debit bulanan dibagi menjadi beberapa interval yang sama tiap kejadian yang muncul atau disebut frekuensi absolut. Bila frekuensi absolut dibagi dengan jumlah seluruh kejadian, maka hasilnya disebut frekuensi relatif dan dinyatakan dalam persen. Lengkung durasi aliran digambarkan dari data debit, sekurang-kurangnya selama 10 tahun dengan peluang kejadian 97,3% (NipponKoei, 1981). Pada tabel 2.3. disajikan kondisi hidrologi tiap interval kelas.

Tabel 2.3. *Hydrologic Condition Classes*

<i>Flow Duration Interval</i>	<i>Hydrologic Condition Class</i>
0 - 10%	<i>High flows</i>
10 - 40%	<i>Moist Conditions</i>
40 - 60%	<i>Mid-Range Conditions</i>
60 - 90%	<i>Dry Conditions</i>
90 - 100%	<i>Low Flows</i>

Sumber: Anonim, (2007:23)



Untuk menentukan karakteristik suatu sungai dapat diperhatikan susunan garis massa debit yang waktunya dinyatakan dengan persentase. Untuk keperluan itu data debit dari Hidrograf disusun mulai dari yang terendah sampai dengan yang tertinggi dan tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull berikut ini :

$$p = \frac{i}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2-32)$$

dengan :

- p = probabilitas terlampaui (%)
- i = nomor urut debit
- n = jumlah data debit

Kemudian dicari berapa kali debit yang bersangkutan terjadi di sungai. Untuk perhitungan penggunaan air apabila diambil debit rata-rata penuh, pada tahun kering akan mengalami kekurangan air. Sebaliknya apabila diambil di bawah debit rata-rata, pada musim penghujan akan banyak air yang melimpah melewati bangunan pelimpah. Oleh karena itu untuk keamanan, di dalam perhitungan biasanya diambil kira-kira 80% x debit rata-rata. Untuk perhitungan PLTA, energi yang dihasilkan dengan pengambilan 80% x debit rata-rata ini disebut energi pasti (*firm energi*).

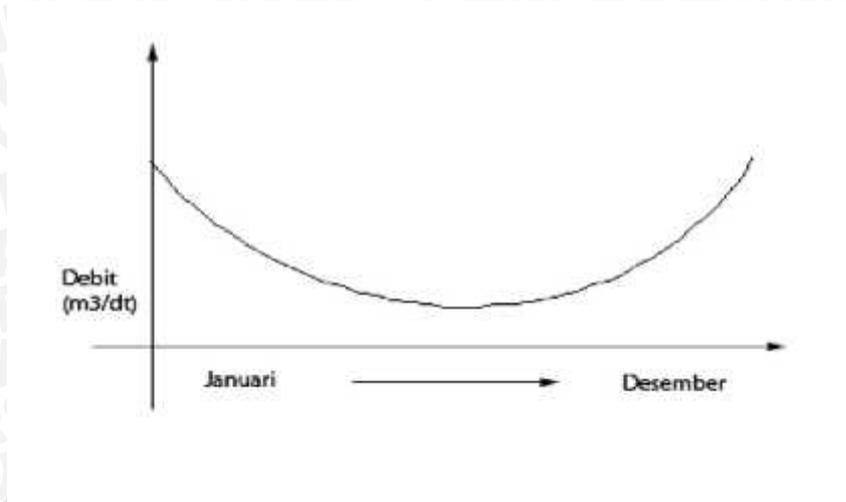
Data rata-rata debit sungai harian dapat diringkas dalam bentuk flow duration curve (FDC) yang menghubungkan aliran dengan persentase dari waktu yang dilampaui dalam pengukuran. Dalam (Cole, 2003), FDC diplotkan dengan menggunakan data aliran atau debit pada skala logaritmik sebagai sumbu y dan persentase waktu debit terlampaui pada skala peluang sebagai sumbu x yang memenuhi persamaan berikut:

$$y = \ln((a/x) - 1)/b \dots\dots\dots (2-33)$$

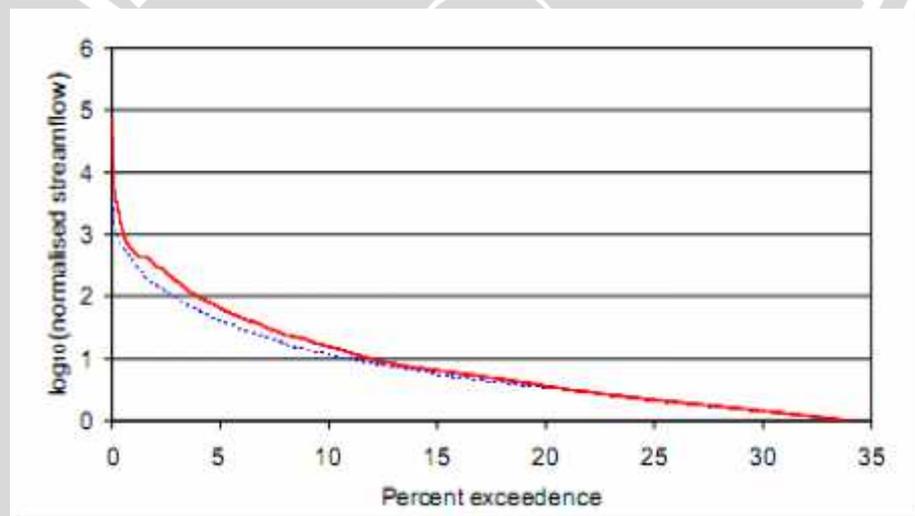
dengan :

- y : Log normalised streamflow
- x : Peluang terlampaui
- a : Intersep aliran
- b : Sebuah konstanta yang mengendalikan kemiringan kurva FDC.





Gambar 2.2. Pengelompokan data seri hidrologi selama satu tahun penuh tanpa pemisahan.



Gambar 2.3. Contoh Grafik FDC tunggal dimana sumbu x adalah peluang terlampaui dan sumbu y adalah laju aliran. (Cole, 2003)

Data debit sungai dengan menggunakan hasil pengukuran luas penampang basah dan kecepatan aliran umumnya telah direkap dan diformulasikan dalam suatu persamaan dan kurva tinggi muka air-debit aliran sungai atau lebih dikenal dengan istilah stage-discharge rating curve yang senantiasa dikoreksi setiap kurun waktu tertentu. Berikut dijelaskan langkah-langkah penggambaran kurva durasi aliran :

1. Data

Kumpulkan data debit harian selama 1 tahun digunakan untuk membuat FDC dengan jumlah hari $N = 365$.

2. Perhitungan

- ◆ Untuk membuat kurva FDC, terlebih dahulu kita harus menentukan komponen-komponennya, untuk laju aliran kita dapat menghitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Aliran/km}^2(\text{liter/detik}) = \frac{\text{rata-rata} \times 1000}{\text{Luas DAS}} \dots\dots\dots (2-34)$$

- ◆ Untuk tinggi aliran (m) dapat menggunakan persamaan :

$$h = \frac{Q}{\text{Luas DAS}} = \frac{\text{Jumlah Hari} \times 86400 \times \text{rata-rata}}{\text{Luas DAS}} \dots\dots\dots (2-35)$$

- ◆ Kemudian tentukan volume aliran (m^3) dengan cara:

$$V(\text{m}^3) = h(\text{m}) \times \text{Luas DAS}(\text{m}^2) \dots\dots\dots (2-36)$$

- ◆ Tentukan nilai frekuensi terlampaui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_f q = \frac{i}{N}, \text{ dengan } i = \text{hari ke } \dots\dots\dots (2-37)$$

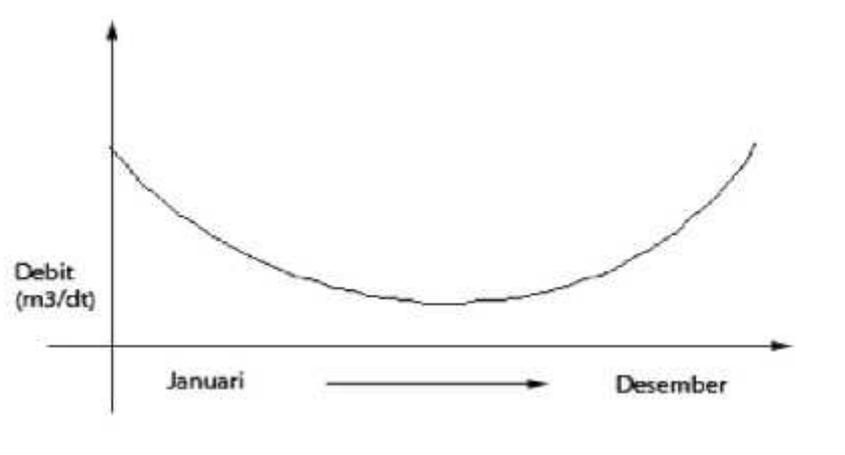
- ◆ Kemudian tabulasikan pasangan data debit dengan nilai frekuensi terlampaui.
- ◆ Plotkan dalam bentuk kurva dimana nilai frekuensi terlampaui sebagai sumbu x dan nilai debit sebagai sumbu y. Sumbu y dibuat dalam skala logaritmik.

2.5.3. Flow Duration Curve Majemuk

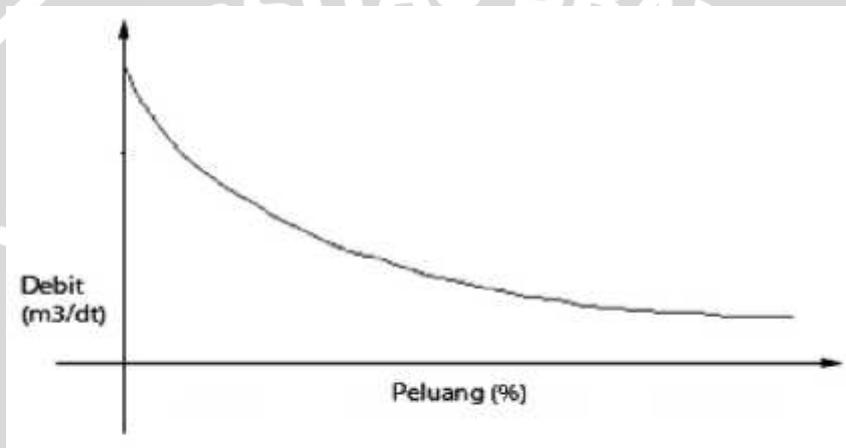
Pada studi ini, dicoba suatu metode baru hasil pengembangan dari *flow duration curve* (FDC) tunggal yang selama ini digunakan yaitu *flow duration curve* (FDC) majemuk. FDC sangat ditentukan oleh kondisi hidrologi dan geologi daripada DAS. Besarnya volume aliran atau debit seringkali dinyatakan sebagai presentasi terhadap volume aliran atau debit rata-rata. Jika periode suatu kurva yang menunjukkan aliran jangka panjang dari sebuah sungai, maka kurva tersebut dapat dipergunakan untuk memprediksi aliran masa mendatang. FDC juga dikatakan akan mengapresiasi kondisi geologi dari DAS yang ada, apakah terjadi degradasi atau tidak.

FDC mejemuk adalah pengelompokan data seri hidrologi dalam sifat menyerupai yang didasarkan pada data basah dan kering untuk satu tahun penuh yang akan menghasilkan debit rencana dengan berbagai kuantitatif. Untuk pengelompokan datanya disesuaikan dengan musim yang terjadi di negara Indonesia, yaitu musim basah dan musim kering. Pengelompokan data tersebut dapat dibagi menjadi 1 FDC, 2 FDC, 3 FDC, 4 FDC dan seterusnya seperti yang akan dijelaskan pada gambar di bawah ini :

- FDC 1 (tunggal), yaitu pengelompokan data untuk satu tahun penuh tanpa pemisahan.

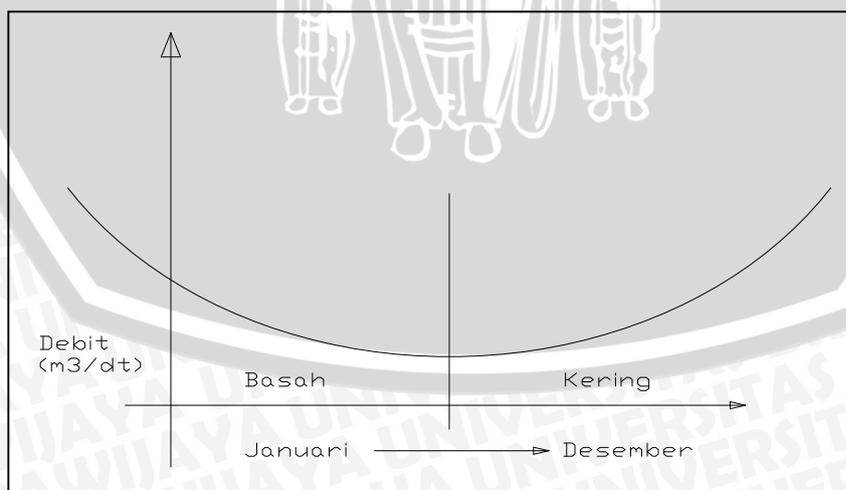


Gambar 2.4. Pengelompokan data untuk satu tahun penuh tanpa pemisahan.

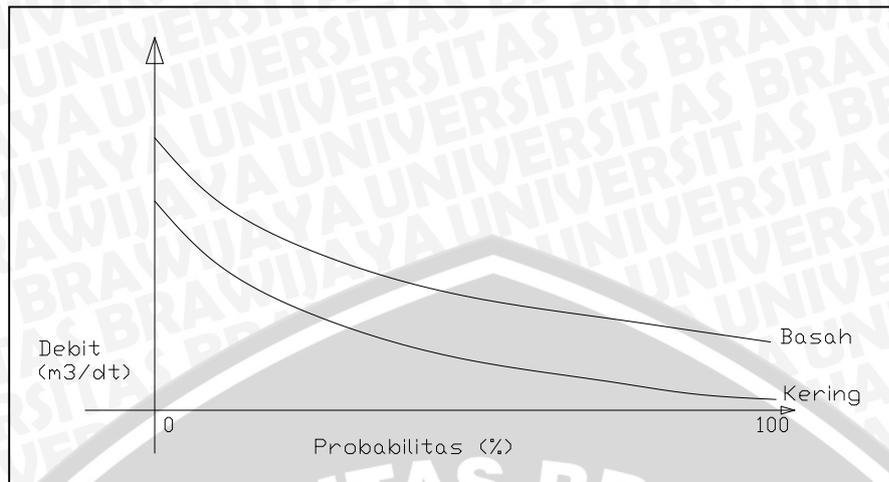


Gambar 2.5. Kurva durasi aliran untuk satu tahun.

- FDC 2, yaitu pengelompokan data untuk satu tahun penuh yang terbagi menjadi data bulan basah dan bulan kering.

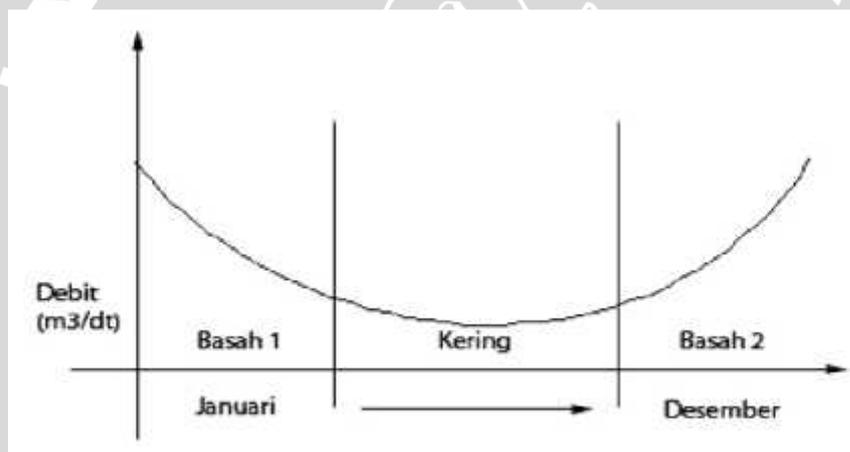


Gambar 2.6. Pengelompokan data menjadi bulan basah dan bulan kering.

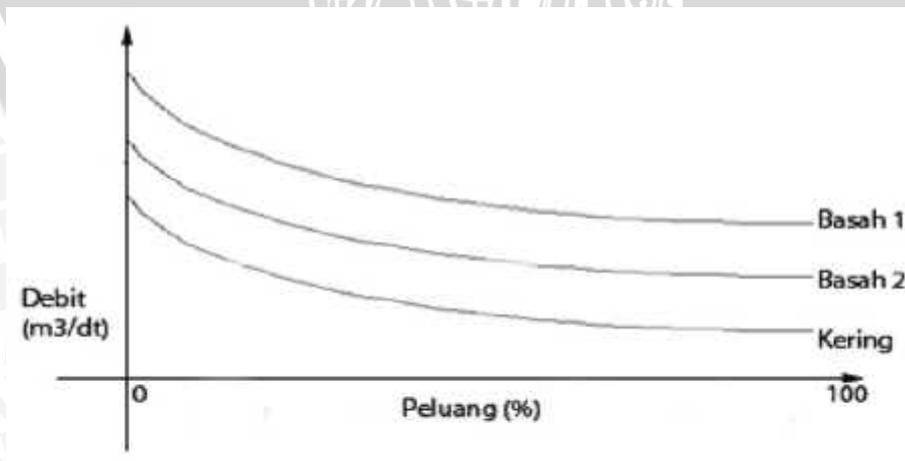


Gambar 2.7. Kurva durasi untuk pembagian data bulan basah dan bulan kering.

- FDC 3, yaitu pengelompokan data untuk satu tahun penuh yang terbagi menjadi data bulan basah 1, bulan kering dan bulan basah 2.

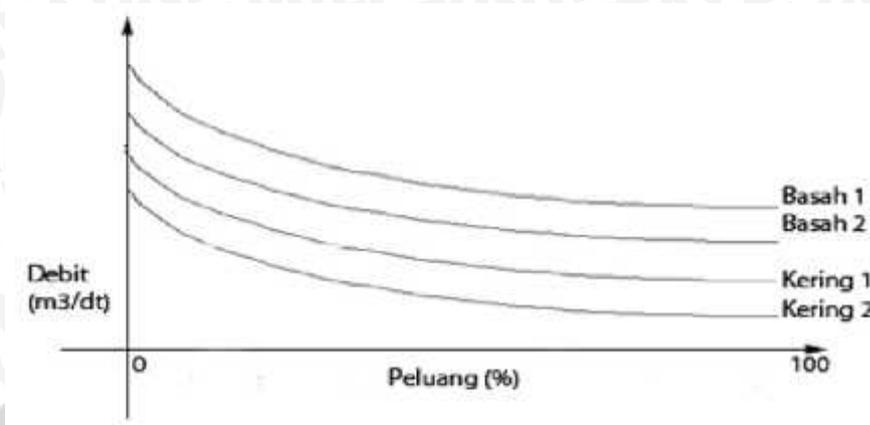


Gambar 2.8. Pengelompokan data menjadi data bulan basah 1, bulan kering dan bulan basah 2.

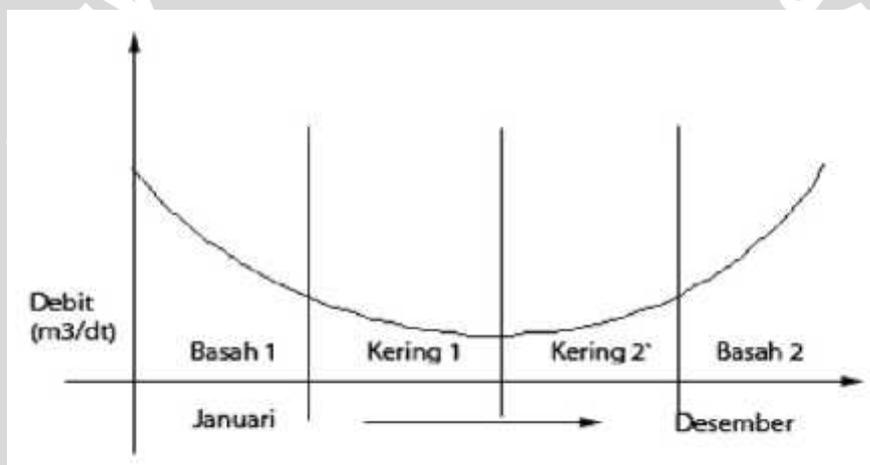


Gambar 2.9. Kurva durasi untuk pembagian data bulan basah 1, bulan kering dan bulan basah 2.

- 4 FDC, yaitu pengelompokan data untuk satu tahun penuh yang terbagi menjadi data bulan basah 1, bulan kering 1, bulan kering 2, dan bulan basah 2.



Gambar 2.10. Pengelompokan data menjadi data basah 1, kering 1, kering 2 dan basah 2



Gambar 2.11. Kurva durasi pembagian data basah 1, kering 1, kering 2 dan basah 2.

2.5.4. Debit Rencana

Besarnya debit rencana dapat ditentukan berdasarkan besarnya curah hujan rencana dan karakteristik daerah aliran sungai. Untuk menentukan debit rencana dapat digunakan beberapa metode, metode yang digunakan sangat tergantung dari data yang tersedia. Data-data tersebut dapat berupa data debit sungai atau data curah hujan.

PLTM tidak mungkin menggunakan lebih dari debit sungai rata-rata (Q_{mean}) secara signifikan karena akan lebih baik aliran turbin untuk skema run-of river (skema yang beroperasi tanpa water storage yang cukup) biasanya tidak akan lebih besar dari Q_{mean} . Setelah debit rencana didapatkan, maka hasil perhitungan dapat dilakukan pengujian agar hasil yang didapatkan akurat. Perhitungan juga bisa dilakukan dengan cara statistik atau cara unit hidrograf.

2.6. Turbin Air

Dalam suatu sistim pusat listrik tenaga air, turbin merupakan salah satu peralatan utama. Turbin adalah alat untuk mengubah energi air menjadi energi puntir. Energi puntir ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Suatu turbin dapat direncanakan dengan baik apabila telah diketahui tinggi energinya, yaitu tinggi muka air ditambah tinggi kecepatan tepat di muka turbin (Patty, 1995).

Terdapat 2 (dua) macam turbin air, yaitu Turbin Impuls dan Turbin Reaksi. Contoh dari turbin impuls adalah turbin Pelton dan turbin Banki, sedangkan contoh turbin reaksi adalah turbin Francis dan turbin Kaplan/Proppeller. Turbin tersebut dibedakan menurut prinsip kerjanya yang disajikan pada tabel 2.4. (Anonym, 2009) :

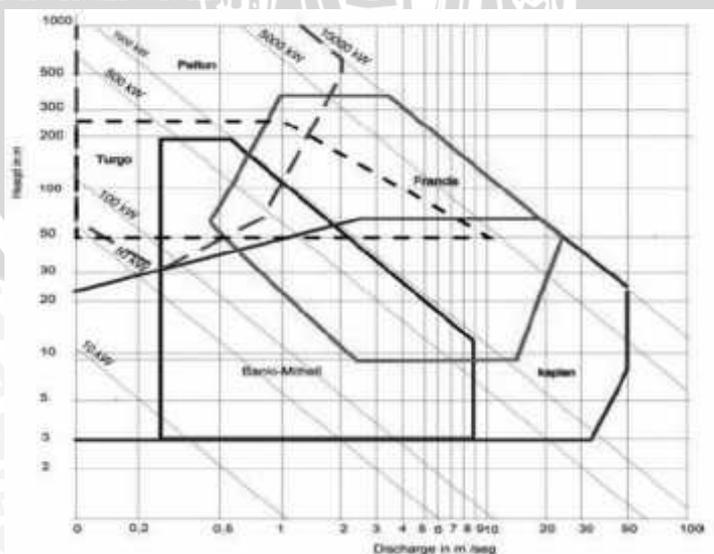
Tabel 2.4. Jenis Turbin

Turbine Runner	Head Pressure		
	High	Medium	Low
Impulse	- Pelton - Turgo - Multi jet Pelton	- Crossflow (Michel/Banki) - Turgo - Multi jet Pelton	- Crossflow (Michel/Banki)
Reaction		- Francis - Pump as Turbine (PAT)	- Propeller - Kaplan

Sumber: Anonim (2009:304)

2.6.1 Karakteristik Turbin

Setiap turbin memiliki karakteristik atau ciri khas masing-masing, untuk hal ini perlu diketahui beberapa pengertian yang akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya. Selanjutnya pada gambar 2.12. disajikan gambar berupa grafik hubungan *head* dan *flow* perbandingan karakteristik turbin.



Gambar 2.12. Grafik hubungan *head* dan *flow* perbandingan karakteristik turbin.

Sumber: Anonim (2009:306)

Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan tinggi jatuh dijelaskan pada tabel 2.5.:

Tabel 2.5. Penentuan Jenis Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh

NO	Jenis Turbin	Interval Tinggi Jatuh
1	Turbin Kaplan	$2 < H < 100$ m
2	Turbin Francis	$2 < H < 500$ m
3	Turbin Pelton	$H < 30$ m

Sumber: Anonim (2009:307)

2.6.2. Efisiensi

Setiap jenis turbin dan setiap kecepatan jenis masing-masing mempunyai angka efisiensi yang berbeda-beda. Hal tersebut untuk menjamin kerja turbin di sekitar daerah efisiensi maksimumnya serta untuk mencegah terjadinya kavitasi. Seperti yang telah diketahui, bila air dengan debit Q m³/detik jatuh dari ketinggian H meter, maka energi yang dapat dibangkitkan adalah sebesar : (Patty, 1995)

$$P (\text{daya}) = Q \cdot g \cdot H_{\text{netto}} \text{ Watt} \dots\dots\dots(2-38)$$

Dengan $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, dan $g = 9,8 \text{ m/detik}^2$, maka :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q H_{\text{netto}} \text{ kW} \dots\dots\dots(2-39)$$

dengan :

H_{netto} : perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi disebabkan gesekan, tikungan dan sebagainya.

η : efisiensi, yaitu perbandingan antara energi yang keluar dari turbin dan energi yang masuk turbin (yang diberikan aliran air), kira-kira sebesar 90-95%.

2.6.3. Kecepatan Spesifik (*Specific Speed*)

Kecepatan spesifik (*specific speed*) adalah kecepatan turbin model (turbin dengan bentuk sama tetapi skalanya berlainan), yang bekerja pada tinggi satu satuan jatuh dengan debit satu satuan debit dan menghasilkan daya (*output*) satu satuan daya.

Faktor ini ditentukan oleh :

$$= \frac{\text{kecepatan putaran } u(\text{m/det}) \text{ dari turbin}}{\sqrt{2gH_{\text{netto}}}} \dots\dots\dots(2-40)$$

dengan ω = kecepatan sudut (radian/det) dan r jari-jari turbin (bagian yang berputar).

Kecepatan spesifik tiap-turbin memiliki kisaran yang berbeda seperti berikut :

- Turbin Pelton = 12 N_s 25
- Turbin Francis = 60 N_s 300
- Turbin *Crossflow* = 40 N_s 200
- Turbin *Propeller* = 250 N_s 1000

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Beberapa formula yang dikembangkan dari data eksperimen berbagai jenis turbin dapat digunakan untuk melakukan estimasi perhitungan kecepatan spesifik turbin, yaitu:

- Turbin pelton (1 jet) $N_s = 85,49/H^{0,243}$ (Siervo & Lugaresi, 1978)
- Turbin francis $N_s = 3763/H^{0,854}$ (Schweiger & Gregory, 1989)
- Turbin kaplan $N_s = 2283/H^{0,486}$ (Schweiger & Gregory, 1989)
- Turbin *crossflow* $N_s = 513,25/H^{0,505}$ (Kpordze & Wamick, 1983)
- Turbin *propeller* $N_s = 2702/H^{0,5}$ (USBR, 1976)

Rumus untuk menentukan N_s (kecepatan spesifik) adalah sebagai berikut:

$$N_s = \frac{1750}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots (2-41)$$

$$N = \frac{N_s \times H^{3/4}}{P^{1/2}} \dots \dots \dots (2-42)$$

$$n = \frac{60 \times f}{p} \dots \dots \dots (2-43)$$

dengan:

N_s = kecepatan spesifik

n = kecepatan putar turbin

H = tinggi jatuh efektif (m)

P = daya yang dihasilkan (kW)

f = frekuensi, biasanya 50 Hertz \rightarrow = 50 ppd (putaran per detik)

N = putaran sinkron generator (rpm)

p = nomor dari pasangan katup generator

Kecepatan spesifik merupakan ciri khas dari setiap mesin hidrolis. Karakteristik dari beberapa turbin dijelaskan pada tabel 2.6. : (Patty, 1995:94)

Tabel 2.6. Ciri-ciri Mesin Hidrolik

Turbin	Bentuk	N_s	N_{11}	Q_{11}	H (efektif) max
		(putaran/menit)	(putaran/menit)	(m ³ /detik)	(m)
Pelton	Satu Pancaran	9 - 11	39,8 - 39,4	0,007 - 0,011	1800 - 1650
		11 - 17	39,4 - 38,9	0,011 - 0,024	1650 - 700
		17 - 25	38,9 - 37,6	0,024 - 0,055	700 - 350
Francis	Perlahan	50 - 100	60,8 - 63,6	0,1 - 0,35	410 - 280
	Normal	100 - 150	63,6 - 67,5	0,35 - 0,39	280 - 150
		150 - 190	67,5 - 72,6	0,59 - 0,83	150 - 100
Kaplan	8 daun	190 - 250	85 - 145	0,930 - 1,220	50
	6 daun	250 - 300	100 - 155	1,290 - 1,800	35
	5 daun	240 - 450	110 - 170	1,600 - 2,200	20
	4 daun	330 - 560	120 - 180	2,000 - 2,350	15
	3 daun	390 - 690	135 - 200	2,350 - 2,450	6
			490 - 750		
		570 - 920			

Sumber : Patty (1995:94)

Dari besarnya kecepatan yang tertera pada tabel di atas dapat diketahui macam turbin berdasarkan kecepatan spesifiknya, yaitu :

- $N_s = 9$ hingga 25 untuk turbin Pelton dengan satu pancaran.
- $N_s = 25$ hingga 60 untuk turbin Pelton lebih dari satu pancaran.
- $N_s = 40$ hingga 400 untuk turbin Francis.
- $N_s = 260$ hingga 860 untuk turbin Kaplan.
- $N_s = 340$ hingga 680 untuk turbin Propeller.

2.7. Analisa Daya dan Energi PLTM

Dalam pemanfaatan air sebagai pembangkit listrik, perhitungannya ditunjang oleh rumus daya untuk mengetahui kapasitas pembangkitannya, dan hasil pembangkitan tersebut ditunjukkan dengan mengetahui energi yang dihasilkannya. Untuk melakukan perhitungan daya pembangkit listrik, digunakan rumus sebagai berikut :

$$P = \eta g Q H \text{ (kw)} \dots\dots\dots (2-44)$$

P = daya, kW

η = efisiensi turbin

g = berat jenis air, ton/m³

g = gravitasi bumi, m/det²

Q = debit, m³/det

H = tinggi jatuh, meter

$$\text{Rumus energi : } \sum P_t \text{ (kWh)} \text{ atau } E = \eta \rho g H \sum Q_t \text{ (kWh)} \dots\dots\dots (2-45)$$

dimana : t = waktu yang dipengaruhi oleh kemungkinan kejadiannya.

Langkah perhitungan penetapan debit rencana :

1. Tentukan tinggi jatuh rencana.
2. Hitung kapasitas saluran, yaitu daya yang dapat dibangkitkan oleh saluran debit.
3. Pilih kapasitas turbin
4. Hitung debit rencana dengan cara kapasitas turbin dibagi kapasitas satuannya.

Untuk mengetahui berapa energi yang dapat dihasilkan, dilakukan 3 tahap perhitungan. Tahapan perhitungan ini berhubungan dengan waktu penggunaan turbin dan besar aliran yang dimanfaatkan, yaitu :

1. Aliran yang tersedia sepanjang tahun Q_f (*firm flow*) yang akan membangkitkan daya andalan P_f (*firm power*).
2. Aliran tambahan Q_s (*secondary flow*) merupakan aliran tambahan yang kejadiannya lebih dari 6 bulan dalam satu tahun. Aliran ini akan membangkitkan daya tambahan P_s (*secondary power*).
3. Aliran sisa Q_d (*dump flow*) merupakan aliran yang kejadiannya kurang dari 6 bulan dalam 1 tahun. Aliran ini akan membangkitkan daya sisa P_d (*dump power*)

Perhitungan energi dilakukan dengan menerapkan rumus energi yang menyatakan bahwa energi yang dihasilkan merupakan penjumlahan dari hasil perkalian daya dengan waktu. Daya satuan debit dinyatakan dengan rumus :

$$P_{unit} = \eta \rho g Q H_{unit} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2-46)$$

P_{unit} : daya yang dibangkitkan oleh satuan debit.

Q_{unit} : debit satuan ($1 \text{ m}^3/\text{det}$)

Debit maksimum yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan kapasitas turbin yang direncanakan adalah :

$$Q_{max} = \frac{P_{turbin}}{P_{unit}} \text{ (m}^3/\text{detik)} \dots\dots\dots (2-47)$$

$$Q_{max} = Q_{rencana} = Q_d$$

Daya andalan (firm power) : $P_f = P_{unit} Q_f$ (kW)..... (2-48)

Energi andalan (firm energy) : $E_f = P_f tX_f$ (kWh)..... (2-49)

dengan :

t = waktu, dalam jam/tahun

X_f = 100% selalu terjadi sepanjang tahun

Daya tambahan (secondary power) : $P_s = P_{unit} (Q_s - Q_f)$ (kW)..... (2-50)

Energi tambahan (secondary energy) : $E_s = P_s tX_s$ (kWh)..... (2-51)

dengan :

t = waktu, dalam jam/tahun = 8760 jam

X_s = kemungkinan kejadian dari $Q = (Q_s + Q_f) / 2$ yang besarnya diperoleh dari kurva durasi sebit dengan menarik garis horizontal dari harga debit Q sampai bertemu dengan kurva dan menarik garis vertikal ke arah harga probabilitas durasi: harga tersebut adalah X_s .

Daya tambahan sisa (dump power) : $P_d = P_{unit} (Q_d - Q_s)$ (kW)..... (2-52)

Energi tambahan sisa (dump energy) : $E_d = P_d tX_d$ (kWh)..... (2-53)

dengan :

t = waktu, dalam jam/tahun = 8760 jam

X_s = kemungkinan kejadian dari $Q = (Q_s + Q_d) / 2$ yang besarnya diperoleh dari kurva durasi sebit dengan menarik garis horizontal dari harga debit Q sampai bertemu dengan kurva dan menarik garis vertikal ke arah harga probabilitas durasi: harga tersebut adalah X_d .

Energi total yang dihasilkan merupakan penjumlahan dari seluruh energi yang memanfaatkan debit maksimum yang merupakan debit rencana, yaitu :

$E_{total} = E_f + E_s + E_d$ (kWh)..... (2-54)