

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Analisis Hidrologi

Tujuan utama dilakukan analisis hidrologi yaitu untuk memperoleh debit andalan. Debit banjir andalan atau debit rencana tersebut adalah debit aliran yang akan digunakan untuk operasional PLTMH. Beberapa tahapan untuk memperoleh debit andalan yaitu dengan menentukan curah hujan rata-rata Daerah Aliran Sungai (DAS) dan melakukan analisis debit andalan.

3.1.1. Curah Hujan Rerata DAS

Pada penelitian ini, *Thiessen Method* adalah metode yang akan digunakan dalam menentukan curah hujan rata-rata DAS. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi dengan stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Persamaan yang digunakan dalam menentukan curah hujan rata-rata DAS dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-1).

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3-1)$$

Keterangan:

\bar{p} = Hujan rerata kawasan (mm)

p_1, p_2, \dots, p_n = Hujan pada stasiun 1, 2, 3, , n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3, . . . , n

3.1.2. Perbaikan Data Hujan

Pada pelaksanaan pengukuran hujan sering dialami kendala sehingga mengakibatkan tidak tercatatnya data hujan. Kendala tersebut biasanya karena rusaknya alat pengukur hujan, pengamat tidak mencatat data, pemindahan atau perbaikan stasiun hujan, bencana alam, dan lain-lain. *Reciprocal Method* adalah metode yang digunakan untuk pengisian data yang hilang. Pengisian data yang hilang menggunakan *Reciprocal Method* dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-2).

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (3-2)$$

Keterangan:

P_x = Hujan yang hilang di stasiun x (mm)

P_i = Data hujan di stasiun terdekat dengan stasiun yang ingin diperbaiki datanya pada periode yang sama (mm)

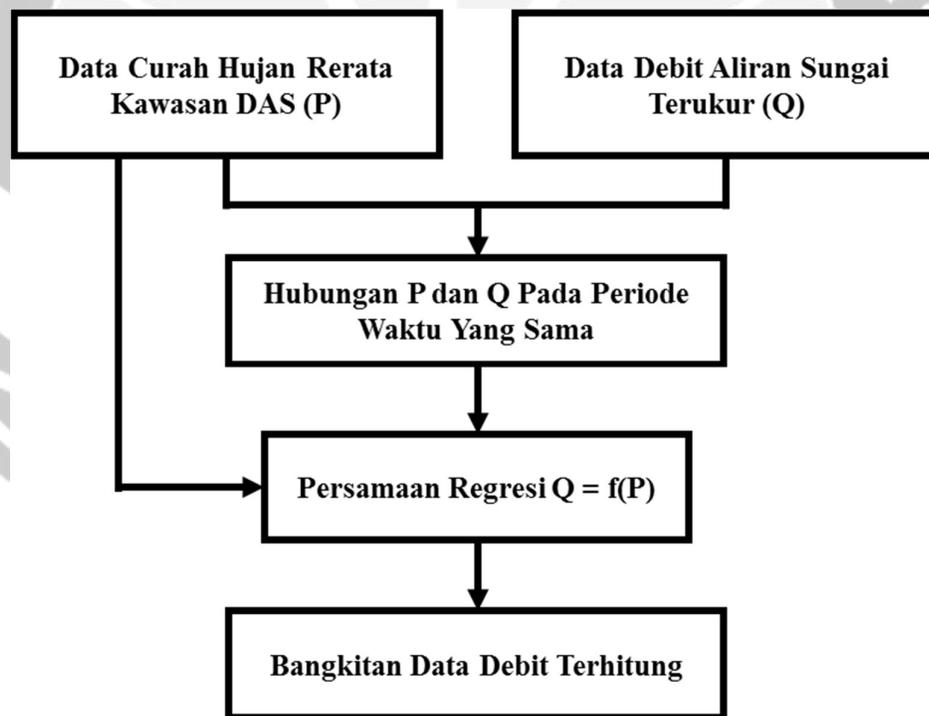
L_i = Jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang ingin diperbaiki datanya (km)

3.1.3. Debit Aliran Sungai Terhitung

Metode Regresi adalah metode yang digunakan untuk menghitung debit aliran terhitung. Data curah hujan harian dari beberapa stasiun hujan di daerah DAS dan data debit aliran sungai terukur harian rata-rata adalah data yang diperlukan untuk menghitung debit aliran terhitung menggunakan metode Regresi. Data curah hujan harian dari beberapa stasiun hujan di daerah DAS dibuat menjadi data curah

hujan bulanan rerata kawasan DAS dan data debit aliran sungai terukur harian rata-rata disusun dalam bentuk data bulanan terlebih dahulu.

Metode Regresi menganalisis data curah hujan bulanan rerata kawasan DAS dan debit aliran sungai terukur bulanan rata-rata dengan periode waktu yang sama dibuat suatu persamaan Regresi yang merupakan hubungan antara kedua parameter tersebut. Persamaan Regresi tersebut digunakan untuk menghitung debit aliran terhitung bulanan berdasarkan transformasi data curah hujan bulanan rerata kawasan DAS. Metode Regresi untuk menghitung debit aliran terhitung disajikan dalam bentuk diagram alur yang dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Diagram Alur Penurunan Data Debit Berdasarkan Data Curah Hujan

Persamaan Regresi ditentukan dengan bantuan program komputer *Trendline* pada *Microsoft Excel* fungsi Linier. Menurut Putu Doddy (2013) Regresi Linier merupakan persamaan matematik yang memungkinkan peramalan nilai suatu peubah tak bebas (*dependent variable*) dari nilai peubah bebas (*independent variable*) untuk mengetahui hubungan antara dua buah variabel atau lebih. Bentuk Persamaan Regresi Linier untuk menghitung debit aliran terhitung dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-3).

$$y = mx + b \quad (3-3)$$

$$m = \frac{n \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3-4)$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (3-5)$$

Keterangan:

x dan y = Variabel

m = Kemiringan

b = Perpotongan

Pada program komputer *Trendline* pada *Microsoft Excel* fungsi Linier diperoleh nilai R^2 yang mengungkapkan seberapa besar keterkaitan antara nilai yang diperkirakan untuk grafik *trendline* dengan data sebenarnya. Nilai R^2 terdiri dari 0 s/d 1, apabila nilai R^2 semakin mendekati angka 1 maka grafik *trendline* semakin cocok dengan data. Bentuk persamaan nilai R^2 untuk mengetahui tingkat keterkaitan antara grafik *trendline* dengan variabel-variabel yang dihubungkan

dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-6). Contoh grafik *trendline* fungsi linier dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.2.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3-6)$$

$$SSE = \sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \quad (3-7)$$

$$SST = \left(\sum Y_i^2 \right) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \quad (3-8)$$

Keterangan:

R^2 = Coefficient of determination

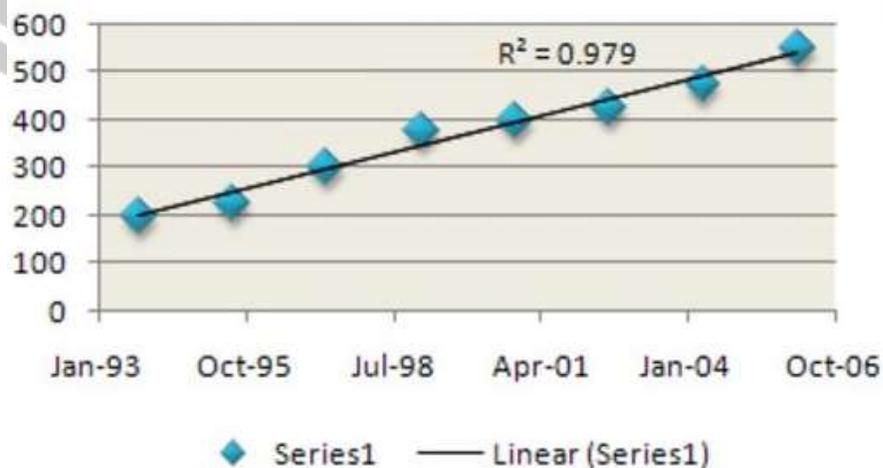
SSE = Sum of squares for residuals i.e. errors

SST = Sum of squares total

Y = Nilai arah vertikal

n = Jumlah data

Refrigerator Sales



Gambar 3. 2. Contoh Grafik Trendline Fungsi Linear (Support Office, Akses 2017)

3.1.4. Analisa Debit Andalan (*Dependable Discharge*)

Menurut Soemarto (1987) debit andalan adalah besarnya debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan air dengan risiko kegagalan yang telah diperhitungkan. Dalam perencanaan suatu proyek penyediaan air terlebih dahulu ditentukan debit andalan, tujuannya untuk memperkirakan debit aliran yang selalu tersedia di sungai. Debit aliran yang diperkirakan selalu tersedia tersebut ditetapkan sebagai debit rencana untuk keperluan proyek penyediaan air.

Dalam melakukan analisis debit andalan terlebih dahulu ditentukan faktor koreksi debit aliran sebagai debit andalan atau debit minimum. Faktor koreksi dinyatakan dalam satuan persen (%) besarnya berbeda-beda tergantung dari keperluan debit aliran untuk kegiatan apa. Faktor koreksi untuk menentukan debit andalan dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Faktor Koreksi Debit Aliran Sebagai Debit Andalan (Soemarto, 1987)

No.	Kegiatan	Keandalan
1	Penyediaan air minum	99%
2	Penyediaan air industri	95-98%
3	Penyediaan air irigasi	
	Daerah beriklim setengah lembab	70-85%
	Daerah beriklim kering	80-95%
4	Pembangkit listrik tenaga air	80-90%

Debit andalan ditentukan berdasarkan data debit aliran yang disusun dari data debit aliran maksimum sampai debit aliran minimum kemudian dirangking dimulai dari rangking pertama ($M = 1$) yaitu debit aliran terbesar dan seterusnya hingga debit aliran terkecil. Data yang telah disusun dapat disajikan dalam bentuk

grafik maupun tabel. Metode yang digunakan untuk analisis debit andalan adalah analisis probabilitas dari metode statistik rangking dengan rumus Weibul. Rumus Weibul yang digunakan untuk menetapkan rangking dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-9).

$$\text{Prob} = \frac{M}{N_d + 1} \quad (3-9)$$

Keterangan:

Prob = Probabilitas

M = Rangking

N_d = Jumlah data

3.1.5. Uji Ketelitian Model

Hasil perhitungan debit terhitung perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat ketelitiannya, dengan cara perhitungan debit terhitung di korelasikan dengan debit terukur. Parameter Koefisien Korelasi (R) adalah parameter yang digunakan untuk menunjukkan besarnya keterkaitan antara debit hasil perhitungan dan terukur. Nilai hasil parameter Koefisien Korelasi dibagi ke dalam beberapa kriteria untuk mengetahui tingkat ketelitiannya, beberapa kriteria ketelitian berdasarkan nilai parameter Koefisien Korelasi dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2. Tabel Parameter Ketelitian Model Metode Koefisien Korelasi (Dalam Cita Adiningrum, 2015)

No.	Range Nilai	Kriteria
1	0,7~1,0	Korelasi tinggi (derajat asosiasi tinggi)
2	0,4~0,7	Korelasi sedang (ada hubungan substansial)
3	0,2~0,4	Korelasi rendah

Rumus yang digunakan untuk mengetahui keterkaitan debit aliran terhitung dan terukur menggunakan parameter Koefisien Korelasi (R) dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-10).

$$R = \sqrt{\frac{(Dt^2 - D^2)}{Dt^2}} \quad (3-10)$$

$$Dt^2 = \sum_{i=1}^{Nd} (Q_{obs_i} - \bar{Q})^2 \quad (3-11)$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{Nd} Q_{obs_i}}{N_d} \quad (3-12)$$

$$D^2 = \sum_{i=1}^{Nd} (Q_{obs} - Q_{cal})^2 \quad (3-13)$$

Keterangan:

R = Koefisien korelasi

Q_{obs_i} = Debit terukur (m^3/dt)

Q_{cal_i} = Debit terhitung (m^3/dt)

\bar{Q} = Debit terukur rata-rata (m^3/dt)

N_d = Jumlah data

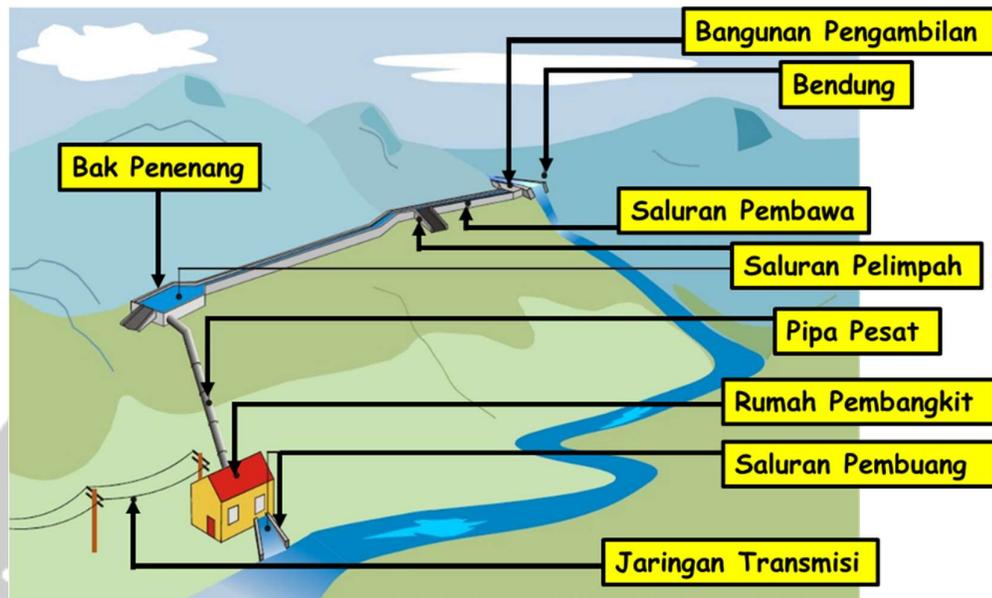
3.2. Komponen-komponen PLTMH

Komponen-komponen PLTMH terdiri dari beberapa komponen antara lain mercu bendung (*weir*), bangunan pengambilan (*intake*), bak pengendap (*settling basin*), saluran pembawa (*headrace*), saluran pelimpah pada saluran pembawa, bak penenang (*forebay*), saringan (*trash rack*), saluran pembuangan pada bak penenang

(*spillway*), pipa pesat (*penstock*), curat (*nozzle*), rumah pembangkit (*power house*), saluran pembuangan pada rumah pembangkit (*tailrace*), turbin, generator dan jaringan transmisi. Fungsi komponen-komponen PLTMH dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan skema PLTMH dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.3.

Tabel 3. 3. Tabel Fungsi Komponen-komponen PLTMH

No.	Komponen PLTMH	Fungsi
1	Mercu bendung	Menampung dan membelokkan arah aliran air
2	Bangunan pengambilan	Mengambil aliran air yang telah dibelokkan oleh bendung lalu diarahkan ke bak pengendap sekaligus sebagai pintu air
3	Bak pengendap	Mengendapkan sekaligus menghancurkan partikel-partikel seperti pasir dan batuan kecil agar tidak merusak komponen PLTMH lainnya
4	Saluran pembawa	Mengalirkan aliran air dari bak pengendap menuju bak penenang
5	Saluran pelimpah	Mengalirkan air berlebih di saluran pembawa akibat aliran air berlebih yang bisa disebabkan oleh banjir
6	Bak penenang	Memperlambat dan menenangkan aliran air sekaligus sebagai penyaringan terakhir sebelum aliran air diarahkan ke turbin melalui pipa pesat
7	Saluran pembuangan	Membuang air berlebih pada bak penenang sekaligus mengarahkan air kembali ke sungai setelah di proses menjadi energi listrik
8	Pipa pesat	Membawa air dari bak penenang ke rumah pembangkit
9	Curat	Memampatkan air untuk memperbesar tekanan air sehingga dapat memutar turbin dengan baik
10	Rumah pembangkit	Melindungi peralatan elektrikal mekanikal antara lain turbin, generator, panel kontrol saat melakukan proses mambangkitkan energi listrik
11	Turbin	Mengubah energi air yang terdiri dari energi tekanan, potensial dan kinetik menjadi mekanik dalam bentuk putaran poros
12	Generator	Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik
13	Jaringan transmisi	Mengalirkan energi listrik dari rumah pembangkit ke pengguna pemanfaatan PLTMH



Gambar 3. 3. Sketsa Komponen-komponen PLTMH (STT-PLN, 2002)

Desain dan pemilihan komponen-komponen PLTMH disesuaikan dengan peraturan-peraturan atau syarat-syarat yang berlaku. Peraturan-peraturan tersebut diatur oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam menentukan dan mendesain komponen-komponen PLTMH antara lain biaya pembangunan, kondisi topografi lokasi, kondisi hidrologi, material atau bahan yang digunakan dan pemilihan lokasi setiap komponen PLTMH.

3.2.1. Pemilihan Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat berfungsi mengalirkan aliran air dari bak penenang ke rumah pembangkit. Diameter minimal pipa pesat dapat dihitung menggunakan rumus dari ESHA (2004) yang dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-14).

$$D = 2,69 \times \left(\frac{n^2 \cdot Q^2 \cdot L}{H} \right)^{0,1875} \quad (3-14)$$

Keterangan:

D = Diameter pipa pesat (m)

n = Koefisien Manning (Tabel 3.4)

Q = Debit andalan (m^3/dt)

L = Panjang pipa pesat (m)

H = Tinggi jatuh air (m)

Tabel 3. 4. Tabel Koefisien Manning Berdasarkan Bahan Material Pipa (ESHA, 2004)

No.	Jenis Pipa	Koefisien Manning, n
1	<i>Welded steel</i>	0,012
2	<i>Polyethyylene (PE)</i>	0,009
3	<i>Polyvinil Chloride (PVC)</i>	0,009
4	<i>Asbestos cement</i>	0,011
5	<i>Ductile iron</i>	0,015
6	<i>Cast iron</i>	0,014
7	<i>Wood-stave (new)</i>	0,012
8	<i>Concrete (steel forms smooth finish)</i>	0,014

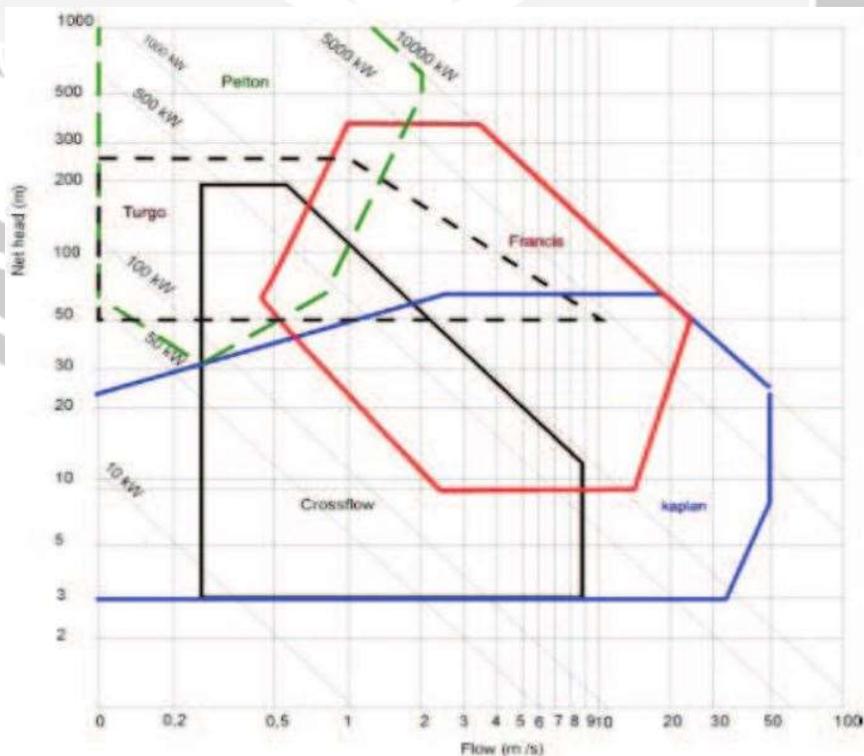
3.2.2. Pemilihan Turbin

Menurut Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) turbin air berfungsi untuk mengubah energi air yang terdiri dari energi tekanan, potensial dan kinetik menjadi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros tersebut akan diproses oleh generator sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin air dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan prinsip kerjanya yang dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5. Tabel Jenis-jenis Turbin (Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009)

No.	Turbin Runner	Head Pressure		
		High	Medium	Low
1	Impulse	Pelton	Crossflow (Michel/Banki)	Crossflow (Michel/Banki)
		Turgo	Turgo	
		Multi-jet Pelton	Multi-jet Pelton	
2	Reaction		Francis	Propeller
			Pump as turbine (PAT)	Kaplan

Pemilihan jenis turbin ditentukan dengan bantuan grafik hubungan antara tinggi jatuh air efektif, debit aliran dan daya listrik. Grafik tersebut dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.4. Pemilihan jenis turbin juga dapat langsung ditentukan berdasarkan tinggi jatuh air yang dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.6.



Gambar 3. 4. Grafik Pemilihan Jenis Turbin (Asosiasi Hidro Bandung, 2009)

Tabel 3. 6. Tabel Daerah Operasi Turbin (Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009)

No.	Jenis Turbin	Variasi Head (m)
1	<i>Kaplan dan Propeller</i>	$2 < H < 20$
2	<i>Francis</i>	$10 < H < 350$
3	<i>Pelton</i>	$50 < H < 1000$
4	Crossflow	$6 < H < 100$
5	<i>Turgo</i>	$50 < H < 250$

3.2.3. Pemilihan Generator

Menurut Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) generator adalah alat yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pemilihan generator tergantung dari beberapa faktor antara lain:

1. Pemilihan Jenis Arus Listrik

Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) menjelaskan pada umumnya tegangan yang keluar dari PLTMH adalah arus bolak-balik (AC, *alternating current*) namun dapat juga searah (DC, *direct current*). Jenis arus listrik AC, DC maupun kombinasi AC dan DC dapat digunakan pada generator tergantung dari kebutuhan serta kekurangan dan kelebihan masing-masing jenis arus listrik. Kelebihan sistem AC yaitu memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat diubah menjadi tegangan tinggi secara mudah menggunakan *transformator*, sehingga energi listrik dapat ditransmisikan pada jarak yang cukup jauh dari rumah pembangkit. Sistem DC pada umumnya digunakan untuk kapasitas kecil sehingga daerah yang tidak memiliki potensi air yang cukup besar dapat mengaplikasikannya dan kelebihannya yaitu energi listrik dapat disimpan dalam baterai sehingga kapasitas pembangkit dapat dioptimalkan.

2. Penentuan Sistem Fasa

Sistem fasa terdiri dari sistem 1 fasa dan 3 fasa, pemilihannya tergantung dari kebutuhan serta kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem fasa. Menurut Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) kelebihan Sistem 1 fasa memiliki instalasi listrik lebih sederhana, sistem pengatur beban (ELC) lebih murah dan ukuran (*size*) generator ditentukan beban maksimum atau kebutuhan konsumen, sementara pada sistem 3 fasa kapasitas maksimum generator yang dipilih lebih besar daripada beban maksimum atau kebutuhan. Sedangkan kelebihan sistem 3 fasa yaitu menghemat pemakaian penghantar atau tembaga lebih dari 75% dibandingkan sistem 1 fasa dengan tegangan yang sama dan dimensi generator serta motor induksi 3 fasa lebih kecil dibandingkan generator 1 fasa untuk kapasitas (*rating*) yang sama.

3. Pemilihan Jenis Generator

Menurut Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi (2009) generator harus memiliki kapasitas yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pada saat beban maksimum. Kapasitas generator dinyatakan dalam satuan Volt Ampere (VA). Generator sinkron, asinkron dan asinkron atau induksi adalah jenis-jenis generator yang digunakan pada PLTMH. Generator sinkron memperhatikan rugi (*losses*) generator serta untuk menjamin kinerja generator maka perlu adanya faktor keamanan biasanya ditentukan 25%. Generator asinkron atau generator induksi lebih handal (*reliable*) digunakan pada PLTMH dengan kapasitas yang kecil dibandingkan dengan generator sinkron.

Pemilihan generator juga dapat ditentukan langsung berdasarkan daya terpasang yang dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7. Tabel Pemilihan Generator Berdasarkan Daya Terpasang (Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009)

No.		Daya Terpasang		
		< 10 kW	10 ~ 30 kW	> 30 kW
1	Tipe generator	Sinkron atau asinkron, satu atau tiga fasa	Sinkron atau asinkron 3 fasa	Sinkron 3 fasa
2	Fasa	1 atau 3	3	3

3.3. Daya Listrik Yang Mampu Dihasilkan PLTMH

PLTMH memanfaatkan tinggi jatuh air (*head*) dan debit aliran air sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin sehingga mampu menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang mampu dihasilkan dapat diperkirakan menggunakan Persamaan (3-15).

$$P = g \times Q \times H_{ef} \times \eta \quad (3-15)$$

Keterangan:

P = Daya (kW)

g = Gaya gravitasi bumi (m/s^2) $\approx 9,81$

Q = Debit aliran (m^3/dt)

H_{ef} = Tinggi jatuh air efektif (m)

η = Efisiensi sistem

3.3.1. Tinggi Jatuh Air Efektif

Tinggi jatuh air efektif adalah selisih elevasi bak penenang dengan elevasi rumah pembangkit lalu dikurangi dengan kehilangan energi pada pipa pesat.

Kehilangan energi terjadi karena adanya perubahan tekanan dan ketinggian suatu tempat yang diakibatkan oleh gaya gesek dan berat (Bambang Triatmodjo, 2010). Elevasi bak penenang dan rumah pembangkit ditentukan berdasarkan data lapangan. Kehilangan energi dihitung menggunakan rumus Darcy-Weisbach yang dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-16).

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (3-16)$$

Keterangan:

H_f = Kehilangan energi (m)

f = Koefisien gesekan

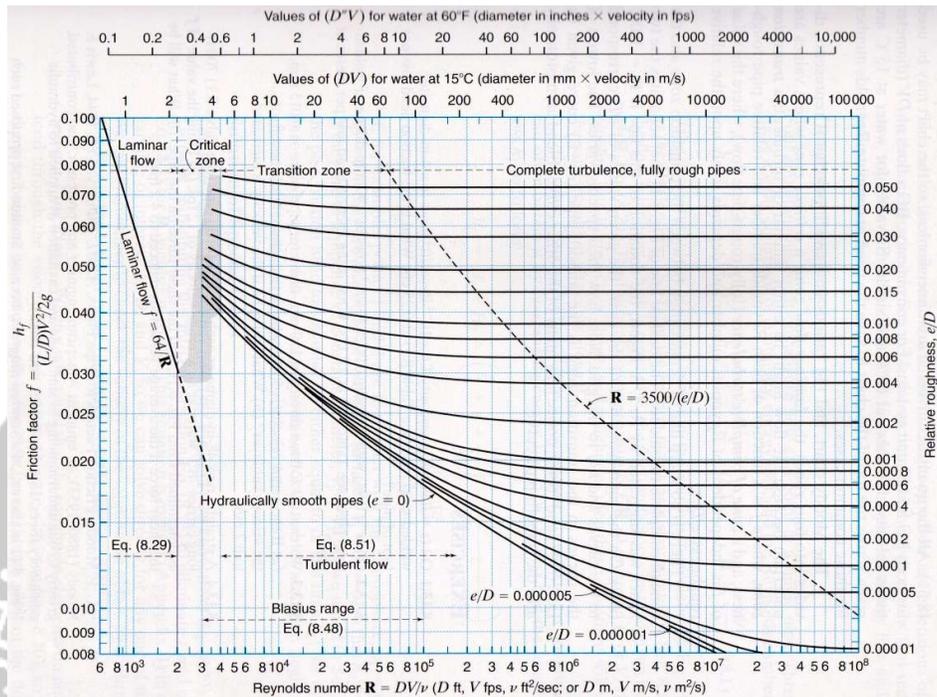
L = Panjang pipa (m)

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan aliran (m/s^2)

g = Gaya gravitasi bumi (m/s^2) $\approx 9,81$

Parameter yang tidak diketahui untuk menghitung kehilangan energi berdasarkan rumus Darcy-Weisbach yaitu nilai koefisien gesekan (*friction factor*). Oleh karena itu, menentukan koefisien gesekan (f) diperoleh dari bantuan grafik Moody. Grafik Moody untuk menentukan koefisien gesekan dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5. Grafik Moody Untuk Menentukan Faktor Gesekan Pada Pipa (E. John Finnemore and Joseph B. Franzini, 2002)

Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk menentukan koefisien gesekan dengan bantuan grafik Moody yaitu nilai Reynolds number dan kekasaran pipa (e). Rumus yang digunakan untuk menentukan Reynolds number dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-17) dan nilai-nilai kekasaran pipa berdasarkan bahan material pipa dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.8.

$$R = \frac{D \times V}{\nu} \quad (3-17)$$

Keterangan:

R = Reynolds number

V = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

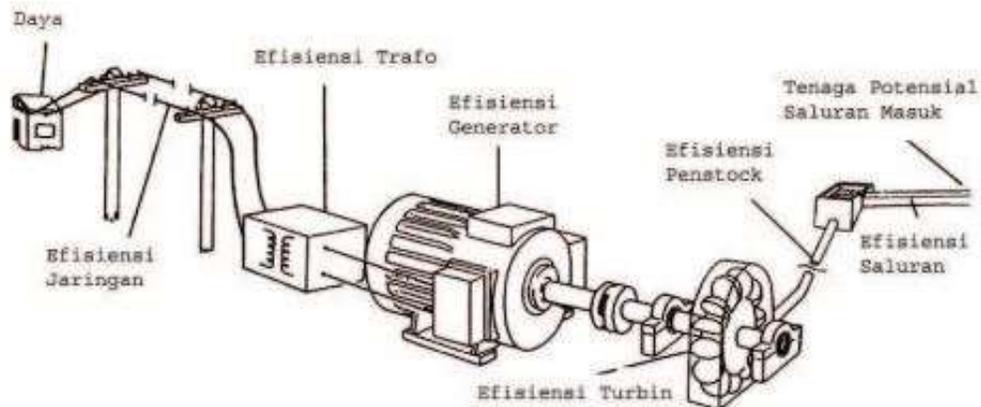
ν = Kinematic viscosity (m^2/s)

Tabel 3. 8. Tabel Tingkat Kekasaran Pipa Berdasarkan Bahan Material (ESHA, 2004)

No.	Material Pipa	Tingkat Kekasaran, e (m)
1	<i>Polyethyylene</i>	0,003
2	<i>Fiberglass with epoxy</i>	0,003
3	<i>Seamless commercial steel (new)</i>	0,025
4	<i>Seamless commercial steel (light rust)</i>	0,250
5	<i>Seamless commercial steel (galvanised)</i>	0,150
6	<i>Welded steel</i>	0,600
7	<i>Cast iron (enamel coated)</i>	0,120
8	<i>Asbestos cement</i>	0,025
9	<i>Wood stave</i>	0,600
10	<i>Concrete (steel forms, with smooth joints)</i>	0,180

3.3.2. Efisiensi Sistem (η)

Efisiensi sistem yang dimaksud merupakan ukuran tingkat penggunaan sumber daya maupun tenaga pada komponen PLTMH dalam suatu proses PLTMH. Efisiensi mengindikasikan tidak hanya kemampuan komponen-komponen PLTMH secara keseluruhan untuk memanfaatkan sumber daya secara optimal namun juga perilaku dari komponen-komponen PLTMH tersebut. Efisiensi pada proses PLTMH diharapkan mampu menggunakan tenaga yang minimum namun mendapatkan hasil yang maksimal. Efisiensi yang rendah berarti komponen-komponen PLTMH kurang optimal sehingga dapat menyebabkan berkurangnya energi listrik yang dihasilkan PLTMH. Efisiensi sistem terbagi menjadi beberapa bagian yaitu efisiensi konstruksi sipil, pipa pesat, turbin, generator, sistem kontrol dan jaringan. Skema efisiensi sistem pada PLTMH dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6. Efisiensi Sistem Pada Prinsip Kerja Suatu PLTMH (Departemen ESDM Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009)

Efisiensi Sistem dihitung berdasarkan buku Manual Pembangunan PLTMH Tahun 2005 yang dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-18).

$$E_o = E_{konstruksi\ sipil} \times E_{penstock} \times E_{sistem\ kontrol} \times E_{turbin} \times E_{generator} \times E_{trafo} \times E_{jaringan} \quad (3-18)$$

Keterangan:

E_o = Efisiensi sistem

$$E_{konstruksi\ sipil} = 1,0 - \frac{(\text{Panjang pipa pesat} \times 0,002 \sim 0,005)}{H_{gross}} \quad (3-19)$$

$E_{penstock}$ = 0,90 ~ 0,95 (Tergantung panjang pipa)

$E_{generator}$ = 0,80 ~ 0,95 (Tergantung kapasitas generator)

E_{turbin} = 0,70 ~ 0,85 (Tergantung tipe turbin)

$E_{sistem\ kontrol}$ = 0,97

$E_{jaringan}$ = 0,90 ~ 0,98 (Tergantung panjang jaringan)

E_{trafo} = 0,98

Nilai-nilai efisiensi optimum berdasarkan tipe turbin dan kapasitas generator dapat dilihat secara detail pada Tabel 3.9 dan 3.10.

Tabel 3. 9. Tabel Nilai Efisiensi Optimum Turbin (ESHA, 2004)

No.	Tipe Turbin	Efisiensi Optimum
1	<i>Kaplan single regulated</i>	0,91
2	<i>Kaplan double regulated</i>	0,93
3	<i>Francis</i>	0,94
4	<i>Pelton n Nozzles</i>	0,9
5	<i>Pelton 1 Nozzle</i>	0,89
6	<i>Turgo</i>	0,85

Tabel 3. 10. Tabel Nilai Efisiensi Optimum Generator (ESHA, 2004)

No.	Tingkat Daya (kW)	Efisiensi Optimum
1	10	0,910
2	50	0,940
3	100	0,950
4	250	0,955
5	500	0,960
6	1000	0,970

3.4. Kajian Prediksi

Tujuan Kajian prediksi yaitu untuk memperkirakan nilai atau data curah hujan, debit aliran maupun data lainnya di masa mendatang. Analisis kajian prediksi dilakukan dengan bantuan program komputer *Trendline* dan *Forecast* pada *Microsoft Excel*. Program *Trendline* berfungsi untuk memperlihatkan pola data sedangkan program *Forecasting* berfungsi untuk memperkirakan nilai di masa

mendatang berdasarkan data yang digunakan dengan rentang waktu tertentu. Fungsi *Moving Average* yang digunakan untuk membuat grafik *Trendline* dan fungsi *Exponential Triple Smoothing* (ETS) digunakan untuk membuat grafik *Forecast*.

3.4.1. Forecast Fungsi *Exponential Triple Smoothing* (ETS)

Pada *Microsoft Excel* menghitung atau memperkirakan nilai di masa mendatang menggunakan fungsi AAA dari algoritma *Exponential Triple Smoothing* (ETS) berdasarkan riwayat data yang sudah ada. Nilai yang diperkirakan adalah lanjutan nilai riwayat berdasarkan data yang telah ditentukan dengan periode waktu tertentu. Bentuk persamaan yang digunakan untuk menghitung atau memperkirakan nilai di masa mendatang menggunakan fungsi ETS dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-20).

$$F_{t+m} = (S_t + mb_t)I_{t-L+m} \quad (3-20)$$

$$S_t = \alpha \frac{y_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad (3-21)$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \quad (3-22)$$

$$I_t = \beta \frac{y_t}{S_t} + (1-\beta)I_{t-L} \quad (3-23)$$

Keterangan:

F_t = *Forecasting*

S_t = *Overall smoothing*

b_t = *Trend smoothing*

I_t = *Seasonal smoothing*

3.4.2. Trendline Fungsi Moving Average

Trendline fungsi *Moving Average* atau rata-rata bergerak merupakan garis tren yang menyeimbangkan ketidaktetapan atau ketidakpastian dalam data untuk memperlihatkan pola data atau tren yang lebih jelas. Fungsi rata-rata bergerak menggunakan jumlah titik data tertentu lalu merata-ratakannya dan menggunakan nilai tersebut sebagai titik dalam grafik *Trendline*. Bentuk persamaan yang digunakan untuk membuat grafik tren rata-rata bergerak dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-24). Contoh grafik *Trendline* fungsi *Moving Average* dapat dilihat secara detail pada Gambar 3.7.

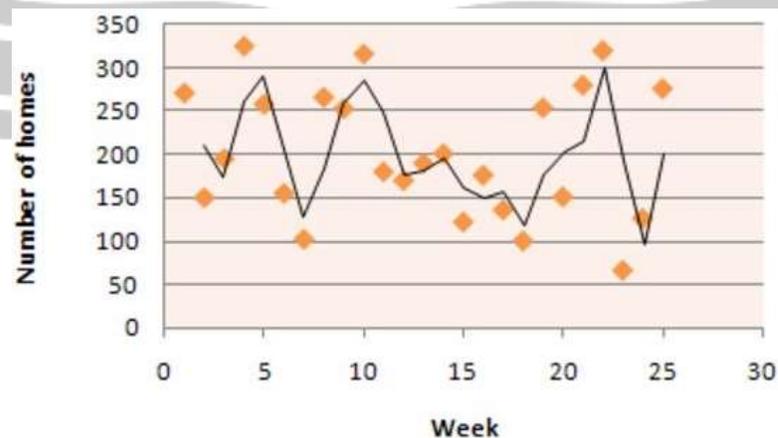
$$F_t = \frac{A_t + A_{t-1} + \dots + A_{t-n+1}}{n} \quad (3-24)$$

Keterangan:

F_t = Forecasting

A = Data

n = Jumlah Data



Gambar 3. 7. Contoh Grafik Trendline Fungsi Moving Average (Support Office, Akses 2017)

3.5. Pemanfaatan PLTMH

Pemanfaatan PLTMH dimaksudkan untuk menentukan banyaknya rumah atau keluarga yang dapat memanfaatkan PLTMH. Dalam menentukan jumlah rumah yang memanfaatkan PLTMH perlu diketahui jumlah penggunaan energi listrik harian rata-rata disetiap rumah. Menentukan penggunaan listrik harian rata-rata diperlukan data perangkat-perangkat elektronik yang umum digunakan disetiap rumah. Penggunaan listrik harian rata-rata per rumah dapat dihitung menggunakan sebuah rumus yang dapat dilihat secara detail pada Persamaan (3-25).

$$\text{Energi listrik} = P \times t \quad (3-25)$$

Keterangan:

Energi listrik = Kilowatt jam (kW·h)

P = Daya listrik (kW)

t = Waktu (Jam)

Jumlah rumah atau keluarga yang dapat memanfaatkan PLTMH adalah hasil dari perhitungan daya listrik yang mampu dibangkitkan dari PLTMH dibagi dengan kebutuhan listrik harian rata-rata per rumah.