

ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)

STUDI KASUS: SUNGAI AIR ANAK (HULU SUNGAI WAY BESAI)

(Skripsi)

Oleh

Very Dwiyanto



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

ANALYSIS OF MICRO HYDRO POWER PLANTS

CASE STUDY: AIR ANAK RIVER (WAY BESAI RIVER UPSTREAM)

By

VERY DWIYANTO

This research was conducted in order to calculate the reduction in electrical power that can be generated by a micro-hydro power plant in Air Anak river. The decline in power at the micro-hydro power plant Air Anak river is caused by the presence of sediments that accumulate in the weir of micro-hydro power plants, so that reduced water storage that can be flowed to a penstock pipe to generate electrical power.

In this study, dependable discharge of Air Anak river is carried out by comparing dependable discharge of Way Besai river which was calculated based on discharge data recorder at the hydroelectric plant reservoirs Way Besai for 11 years from 2004 to 2014 using FDC Methode. In addition, this study also analyse the electricity power generated from the design discharge at micro-hydro power plant Air Anak and analyse the decline electrical power at the micro-hydro power plant Air Anak.

From the research, the design discharge value obtained for micro-hydro power plant Air Anak is $0.2565 \text{ m}^3/\text{s}$ with power generated is 2.37422 kW. Power reduction is calculated based on measurements taken 2 times. In streamflow measured at $1.1923 \text{ m}^3/\text{s}$, water which can flow into the pipe is 7 cm so that it generates a discharge of $0.0592 \text{ m}^3/\text{s}$. Power that can be generated is 1.2326 kW or 56.12% of the generated design power. In streamflow measured at $0,5788 \text{ m}^3/\text{s}$, water which can flow into the pipe is 4 cm so that it generates a discharge of $0.0189 \text{ m}^3/\text{s}$. Power can't longer be generated due to the discharge can't longer turn a turbine.

Keywords : *micro hydro, flow duration curve, electrical power*

ABSTRAK

ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) STUDI KASUS: SUNGAI AIR ANAK (HULU SUNGAI WAY BESAI)

Oleh

VERY DWIYANTO

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menghitung penurunan daya listrik yang dapat dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang ada di sungai Air Anak. Penurunan daya listrik pada PLTMH sungai Air Anak ini diakibatkan oleh adanya sedimen yang menumpuk pada bendung PLTMH, sehingga berkurangnya debit air yang dapat dialirkan ke pipa penstock untuk membangkitkan daya listrik.

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan debit andalan Sungai Air Anak dengan perbandingan debit andalan Sungai Way Besai yang didapat dari pengolahan data debit yang tercatat pada waduk PLTA Way Besai selama 11 tahun dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2014 dengan menggunakan metode FDC (*Flow Duration Curve*), perhitungan daya listrik terbangkit dari debit rencana pada PLTMH Air Anak, perhitungan penurunan daya listrik pada PLTMH Air Anak.

Dari hasil penelitian, didapat nilai debit rencana PLTMH Air Anak adalah sebesar $0,2565 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan daya terbangkit sebesar $2,3742 \text{ kW}$. Penurunan daya dihitung berdasarkan pengukuran yang dilakukan sebanyak 2 kali. Pada debit terukur sungai sebesar $1,1923 \text{ m}^3/\text{s}$, air yang dapat dialirkan ke pipa setinggi 7 cm menghasilkan debit sebesar $0,0592 \text{ m}^3/\text{s}$. Daya yang dapat dihasilkan sebesar $1,2326 \text{ kW}$ atau sebesar $56,12\%$ dari daya terbangkit rencana. Pada debit terukur sungai sebesar $0,5788 \text{ m}^3/\text{s}$, air yang dapat dialirkan ke pipa setinggi 4 cm menghasilkan debit sebesar $0,0189 \text{ m}^3/\text{s}$. Daya tidak dapat lagi dihasilkan karena debit tersebut tidak dapat lagi memutar turbin.

Kata kunci : mikro hidro, grafik durasi aliran, daya listrik

**ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)
STUDI KASUS: SUNGAI AIR ANAK (HULU SUNGAI WAY BESAI)**

Oleh

Very Dwiyanto

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakutas Teknik Universitas Lampung**



**FAKUTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2016

Judul Skripsi

**: ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)
STUDI KASUS: SUNGAI AIR ANAK
(HULU SUNGAI WAY BESAI)**

Nama Mahasiswa

: Very Dwiyanto

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1115011109

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Dr. Dyah Indriana K, S.T., M.Sc.
NIP.196912191995122001

Subuh Tugiono, S.T., M.T.
NIP.197304072000121001

2. Ketua Jurusan

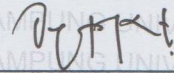
Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc, Ph.D.
NIP. 197009151995031006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

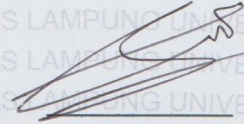
Ketua

: **Dr. Dyah Indriana K, S.T.,M.Sc.**



Sekretaris

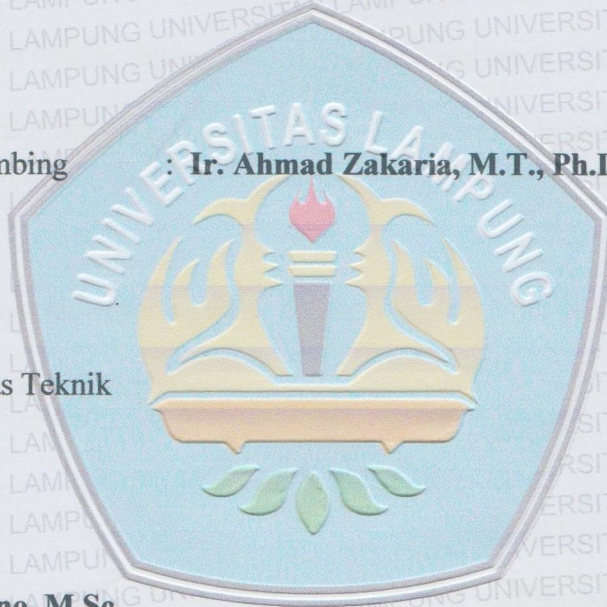
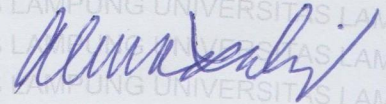
: **Subuh Tugiono, S.T.,M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Suharno, M.Sc.

NIP. 196207171987031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **20 Juni 2016**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 2016



Very Dwiyanto

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Metro pada tanggal 7 Februari 1993. Merupakan anak ke dua dari dua bersaudara keluarga Bapak Suryanto dan Ibu komariah.

Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Yosodadi, Metro Timur pada tahun 1999,

SDN 5 MetroTimur Kota Metro pada tahun 2005, SMPN 2 Kota Metro tahun 2008, dan SMAN 4 Kota Metro Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam yang diselesaikan pada tahun 2011.

Penulis diterima menjadi mahasiswi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2011 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Fakultas Teknik Universitas Lampung dan Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) Universitas Lampung. Pada tahun 2014 penulis melakukan kegiatan Kerja Praktik selama 3 bulan pada Proyek Pembangunan Gedung Extention Sekolah Darma Bangsa Bandar Lampung. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Batu Patah, Kecamatan Kelumbayan Barat, Tanggamus pada tahun 2015.

MOTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum hingga mereka mengubah diri mereka sendiri.

(QS. Ar-Ra'd : 11)

Ilmu lebih utama daripada harta. Sebab ilmu warisan para nabi adapun harta adalah warisan Qorun, Firaun dan lainnya. Ilmu lebih utama dari harta karena ilmu itu menjaga kamu, dan kamu yang menjaga harta.

(Ali bin Abu Thalib)

Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh diantara bintang-bintang.

(Ir. Soekarno)

Kesuksesan hanya dapat diraih dengan semangat berjuang, tanpa mengenal putus asa.

Persembahan

Kupersembahkan karya kecilku ini kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta yang menjadi semangat terbesarku yang telah memberikan kasih sayang, doa yang tulus, perhatian, pengorbanan, motivasi, dan kesabaran, yang mustahil untuk dinilai. Terima kasih untuk segalanya yang tak mungkin mampu untukku membalasnya.
2. Kakak tersayang, yang selalu memberi semangat dan motivasi bagiku memberikan doanya, dukungan, semangat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Kepada Anggita Putri Pertiwi, yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan doa. Terima kasih atas segala waktunya yang telah menemani sampai saat ini dan seterusnya.
4. Untuk *partner* penelitian skripsi ini Holong Okryant Togatorop dan Mega Astriana yang telah banyak membantu penulis pada saat penelitian di Lampung Barat Kecamatan Sumber Jaya. Terimakasih atas segala bantuan, semangat.
5. Seluruh teman seperjuangan Teknik Sipil 2011 yang telah mengisi hari-hari dengan semangat serta senantiasa menjadi inspirasi bagi penulis.
6. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam proses perkuliahan, penelitian hingga akhir, yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

SANWACANA

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah Subhana Wa Ta'ala yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi dengan judul **ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH), STUDI KASUS: SUNGAI AIR ANAK (HULU SUNGAI WAY BESAI)** dapat terselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pada penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh sebab itu penulis memohon maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
3. Ibu Dr. Dyah Indriana K, S.T., M.Sc., selaku Pembimbing Utama terima kasih atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;

4. Bapak Subuh Tugiono, S.T., M.T., selaku Pembimbing Kedua terima kasih atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Penguji Utama pada ujian skripsi. Terimakasih untuk masukan dan saran untuk penelitian ini sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
6. Bapak Iswan, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik;
7. Bapak dan Ibu Dosen, Staf Administrasi dan semua pegawai Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Juni 2016

Penulis,

Very Dwiyanto

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Energi	4
2.2. Sungai	5
2.3. Siklus Hidrologi	7
2.4. Limpasan Permukaan (<i>Run Off</i>)	10
2.5. Erosi dan Sedimentasi	13
2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	15
2.7. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ...	17
2.8. Komponen-Komponen PLTMH	18
2.9. Pemilihan Lokasi PLTMH	21
2.10. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin	23
2.11. Hidrometri	28
2.12. Analisis Hidrologi	29
2.13. Daya yang Dibangkitkan	33
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tempat Penelitian	37
3.2. Pengumpulan Data	38
3.3. Alat-Alat	38
3.4. Metode Penelitian	39
3.5. Bagan Alir Penelitian	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL	44
4.2. PEMBAHASAN	
4.2.1. Analisa Data Spasial	44
4.2.2. Analisis Hidrologi	46
4.2.3. Debit terukur Sungai Air Anak	52
4.2.4. Analisis PLTMH Air Anak	55
4.2.5. Perhitungan Daya PLTMH Air Anak	64
4.2.6. Optimalisasi PLTMH Air Anak	73

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	75

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi PLTA	16
2. Kecepatan spesifik turbin <i>konvensional</i>	25
3. Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan <i>head</i>	26
4. Hasil FDC DAS Way Besai tahun (2004 – 2014)	46
5. <i>Flow Duration Curve</i> DAS Way Besai	47
6. Nilai Persentase Perbandingan Kemiringan Lereng	49
7. Nilai Koefisien Aliran Permukaan DAS Way Besai	50
8. Nilai Koefisien Aliran Permukaan DAS Air Anak.....	50
9. Nilai Debit untuk DAS Air Anak	51
10. Perhitungan Debit Terukur Pertama Sungai Air Anak	53
11. Perhitungan Debit Terukur ke 2 Sungai Air Anak	54
12. Nilai kekasaran Hazen William dan Manning	57
13. Viskositas kinematik air pada tekanan atmosfer	66
14. Nilai kekasaran (k) dalam mm untuk berbagai jenis pipa	67
15. Efisiensi Turbin dan Generator PLTMH Air Anak	68
16. Perbandingan Nilai Daya Terbangkit PLTMH Air Anak	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema siklus hidrologi	9
2. Prinsip Kerja PLTMH	17
3. Komponen-komponen PLTMH	18
4. Turbin	20
5. Grafik efisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel	27
6. Hidrograf dari data sepanjang 16 tahun	31
7. <i>Flow Duration Curve</i> (Kurva Durasi Debit Air)	31
8. Contoh <i>flow duration curve</i> dalam satu tahun	32
9. Peta Lokasi Penelitian	37
10. <i>Current meter</i>	40
11. Cara hitungan debit aliran dengan <i>mean area method</i>	40
12. DAS Way Besai	45
13. DAS Air Anak	45
14. Grafik FDC Way Besai	47
15. Peta Kemiringan Lereng DAS Way Besai	48
16. Peta Kemiringan Lereng DAS Air Anak	48
17. Peta Tata Guna Lahan Das Way Besai	49
18. Peta Tata Guna Lahan Das Air Anak	50
19. Grafik FDC Air Anak	52
20. Penampang Melintang debit terukur pertama Sungai Air Anak	53
21. Penampang Melintang debit terukur ke 2 Sungai Air Anak	54
22. Penampang Aliran Pipa PLTMH Air Anak	56
23. Penampang Aliran dalam pipa tidak penuh pada pengukur pertama	58

24.	Penampang Aliran dalam pipa tidak penuh pada pengukur ke 2	61
25.	Grafik Moody	67
26.	Sketsa kondisi bendung penuh sedimen	74
27.	Sketsa kondisi dibangun <i>Chek Dam</i>	74
28.	Sketsa kondisi setelah pengerukan sedimen pada bendung.....	75
29.	Sketsa kondisi penumpukan sedimen pada <i>Check Dam</i>	75
30.	Sketsa kondisi perawatan <i>Check Dam</i>	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber air bagi kehidupan yang ada di bumi. Baik manusia, hewan dan tumbuhan, semua makhluk hidup memerlukan air untuk dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya. Sungai mengalir dari hulu ke hilir bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Di Indonesia terdapat banyak sekali sungai-sungai besar maupun kecil yang terdapat di berbagai daerah. Hal ini merupakan peluang yang bagus untuk pengembangan energi listrik di daerah khususnya daerah yang belum terjangkau energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan alternatif sumber energi listrik bagi masyarakat. PLTMH memberikan banyak keuntungan terutama bagi masyarakat pedalaman di seluruh Indonesia. Di saat sumber energi lain mulai menipis dan memberikan dampak negatif, maka air menjadi sumber energi yang sangat penting karena dapat dijadikan sumber energi pembangkit listrik yang murah dan tidak menimbulkan polusi.

Pembangkit listrik mikro hidro mengacu pada pembangkit listrik dengan skala di bawah 100 kW. Banyak daerah pedesaan di Indonesia yang dekat

dengan aliran sungai yang memadai untuk pembangkit listrik pada skala yang demikian. Diharapkan dengan memanfaatkan potensi yang ada di desa-desa tersebut dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri dalam mengantisipasi kenaikan biaya energi atau kesulitan jaringan listrik nasional untuk menjangkaunya.

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Pada sungai Air Anak terdapat potensi ketersediaan air yang cukup sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, memiliki kontur yang sesuai dan telah dimanfaatkan untuk PLTMH. Namun PLTMH sungai Air Anak ini mengalami penurunan daya listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, pada PLTMH sungai Air Anak ini perlu dilakukan analisis dan menghitung kembali daya listrik yang dihasilkan PLTMH sungai Air Anak ini.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bahwa Kabupaten Lampung Barat mempunyai banyak potensi tenaga air, dengan demikian bagaimana pemanfaatan potensi sumber daya air sungai dengan sebaik-baiknya untuk PLTMH di Kabupaten Lampung Barat khususnya Kecamatan Sumber Jaya Pekon Talang Bandung.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data debit air dan *head* secara langsung pada PLTMH Air Anak.
2. Menganalisis bangunan PLTMH sungai Air Anak.
3. Menghitung daya listrik yang dapat dihasilkan PLTMH sungai Air Anak.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain:

1. Mengetahui daya listrik yang dapat dihasilkan berdasarkan debit rencana dan *head* pada PLTMH Air Anak.
2. Melakukan analisis terhadap PLTMH Air Anak

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang pentingnya pemanfaatan potensi sungai Air Anak.
2. Memberikan masukan pada pihak-pihak terkait dalam perencanaan pembangunan PLTMH melalui evaluasi PLTMH Air Anak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha (kerja) atau melakukan suatu perubahan. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat dirubah bentuknya. Menurut dari sumber didapatnya, energi terbagi menjadi 2 antara lain:

1. Energi Konvensional (Tak Terbarukan)

Energi Konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Dikatakan tak terbarukan karena apabila sejumlah sumbernya dieksploitasi, maka untuk mengganti sumbernya dalam jumlah yang sama akan memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Jika sumber energi ini dieksploitasi secara terus-menerus pasti persediaannya akan menipis dan mungkin akan habis. Biasanya sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui berasal dari barang tambang (minyak bumi dan batu bara) dan bahan galian (emas, perak, timah, besi, nikel dan lain-lain).

2. Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dihasilkannya tak terhabiskan dan dapat diperbarui dengan

proses yang berkelanjutan. Sumber energi terbarukan ini dianggap sebagai sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Sumber energi ini belumlah banyak dimanfaatkan oleh banyak orang dan masih perlu terus dikembangkan. Sumber energi ini dapat berasal dari alam sekitar yaitu angin, air, *biogas*, *biomass* dan energi matahari.

Salah satu energi terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro, yang di Indonesia dapat dibuat karena banyak sungai dan banyak daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik negara (PLN).

2.2. Sungai

Sungai adalah aliran air yang besar dan memanjang yang mengalir secara terus-menerus dari hulu (sumber) menuju hilir (muara). Kemanfaatan terbesar sebuah sungai adalah untuk irigasi pertanian, bahan baku air minum, sebagai saluran pembuangan air hujan dan air limbah, bahkan potensial untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air.

- Jenis-jenis sungai menurut jumlah airnya
 - a) Sungai permanen-yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap.
 - b) Sungai periodik-yaitu sungai yang pada waktu musim hujan airnya banyak, sedangkan pada musim kemarau airnya sedikit.

- c) Sungai *intermittent* atau sungai episodik-yaitu sungai yang mengalirkan airnya pada musim penghujan, sedangkan pada musim kemarau airnya kering.
- d) Sungai *ephemeral*-yaitu sungai yang ada airnya hanya pada saat musim hujan. Pada hakekatnya, sungai jenis ini hampir sama dengan jenis episodik, hanya saja pada musim hujan sungai jenis ini airnya belum tentu banyak.

- Karakteristik Sungai

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

- Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran sebuah sungai adalah tempat presipitasi itu mengkonsentrasi ke sungai. Garis batas daerah-daerah aliran yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi. Daerah pengaliran, topografi, tumbuh-tumbuhan dan geologi mempunyai pengaruh terhadap debit banjir, corak banjir, debit pengaliran dasar dan seterusnya.

2.3. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi.

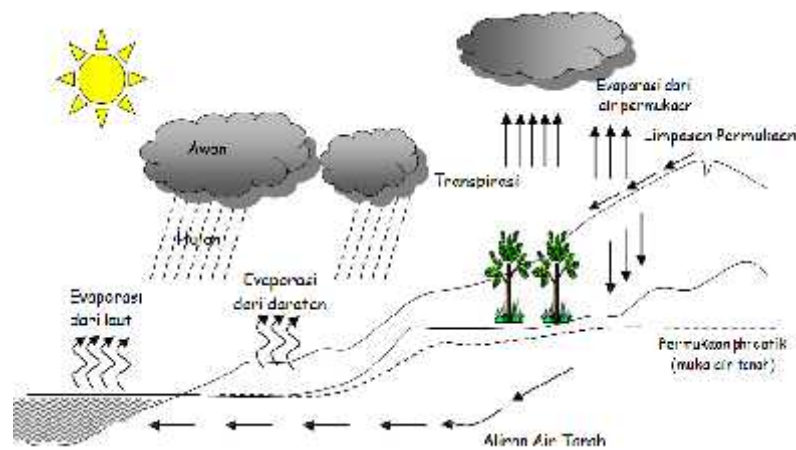
Matahari sebagai sumber energi terbesar di alam semesta memberikan pengaruh paling besar dalam proses siklus hidrologi. Siklus hidrologi berawal dari penguapan air laut, sungai, danau dan sebagainya, namun yang terbesar adalah air laut. Penguapan air laut memungkinkan terjadinya siklus hidrologi yang berlangsung terus menerus. Air berevaporasi, selanjutnya jatuh ke bumi sebagai presipitasi dalam berbagai bentuk seperti hujan, hujan es, salju, gerimis, bahkan kabut sekalipun.

Pada perjalanan menuju ke bumi, beberapa presipitasi dapat berevaporasi kembali ke atas atau langsung jatuh yang kemudian diintersepsi oleh tanaman sebelum mencapai tanah. Setelah mencapai tanah, siklus hidrologi terus bergerak secara berkelanjutan dalam 3 cara yang berbeda, yaitu:

- Evaporasi atau transpirasi, adalah suatu keadaan dimana terjadi penguapan oleh air yang terdapat di laut, sungai, danau, tanaman, dan di darat menuju ke atmosfer bumi. Partikel-partikel uap air hasil dari penguapan tadi akan membentuk awan. Pada keadaan tertentu, dimana terjadi peningkatan massa jenis pada kumpulan partikel uap air tersebut, maka uap air akan turun ke bumi (*precipitation*) dalam bentuk hujan, salju, maupun es.

- Infiltrasi atau Perkolasi, adalah suatu keadaan dimana terjadi pergerakan air didalam tanah lewat saluran-saluran yang ada pada celah dan pori-pori tanah serta batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.
- Air Permukaan, yaitu suatu keadaan dimana air bergerak di atas permukaan tanah dekat dengan aliran utama dan danau. Pergerakan air ini dipengaruhi oleh landai atau tidaknya bentuk permukaan tanah dan saluran celah dan pori-pori pada tanah. Semakin landai bentuk tanah dan semakin sedikit pori-pori tanah, maka aliran permukaan semakin besar. Aliran permukaan tanah dapat dilihat biasanya pada daerah urban. Sungai-sungai bergabung satu sama lain dan membentuk sungai utama yang membawa seluruh air permukaan di sekitar daerah aliran sungai menuju laut.

Air permukaan, baik yang mengalir maupun yang tergenang (danau, waduk, rawa), dan sebagian air bawah permukaan akan terkumpul dan mengalir membentuk sungai dan berakhir ke laut. Proses perjalanan air di daratan itu terjadi dalam komponen-komponen siklus hidrologi yang membentuk sistem Daerah Aliran Sungai (DAS). Jumlah air di bumi secara keseluruhan relatif tetap, yang berubah adalah wujud dan tempatnya. Tempat terbesar terjadi di laut.



Sumber: John Frans
Gambar 1. Skema siklus hidrologi

Proses-proses dalam Siklus Air, adalah sebagai berikut:

- energi panas dari sinar matahari.
- Transpirasi, yaitu proses penguapan air yang terjadi melalui tumbuhan.
- Kondensasi, yaitu proses perubahan uap air menjadi tetes-tetes air yang sangat kecil (pengembunan).
- Transportasi, yaitu proses pengangkutan awan/uap air oleh angin menuju ke daerah tertentu yang akan kejatuhan hujan.
- Hujan, yaitu proses jatuhnya tetes-tetes air “besar” (tumpukan tetes-tetes air kecil hasil kondensasi) sampai ke permukaan bumi.
- Infiltrasi, yaitu gerakan air hujan menembus permukaan tanah kemudian masuk ke dalam tanah (Peresapan).
- Perkolasi, yaitu proses penyaringan air melalui pori-pori halus tanah sehingga air dapat meresap dalam tanah (Peresapan).
- Aliran Air Dalam Tanah, yaitu air hujan yang meresap ke dalam tanah dan mengalir di atas lapisan kedap air sampai muncul kembali di permukaan tanah sebagai mata air, atau mengalir hingga ke laut.

- i. Aliran Air Penguapan, yaitu proses perubahan air menjadi uap air dengan bantuan
- j. Permukaan, yaitu air hujan yang tidak meresap ke dalam tanah melainkan menggenang atau mengalir di permukaan tanah. (John Frans)

2.4. Limpasan Permukaan (*Run Off*)

Limpasan permukaan (*Run Off*) adalah aliran air yang mengalir di atas permukaan karena penuhnya kapasitas infiltrasi tanah. Limpasan merupakan unsur penting dalam siklus air dan salah satu penyebab erosi. Sebagian air hujan akan meresap ke dalam tanah dan sebagian lagi akan mengalir di permukaan ke arah yang lebih rendah, dan kemudian akan berkumpul di danau atau sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Bila curah hujan lebih besar daripada kemampuan tanah untuk menyerap air, maka kelebihan air tersebut akan mengalir di permukaan menuju ke danau atau sungai. Air yang meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*) atau yang mengalir di permukaan (*run off*) akan menemukan jalannya untuk kembali ke atmosfer, karena adanya evaporasi dari tanah, danau dan sungai.

Kegiatan-kegiatan aliran air sungai tergantung pada beberapa faktor (Lobeck, 1939) adalah sebagai berikut :

- 1) Curah hujan yang tinggi, hujan yang efektif (tinggi) tidak saja menyebabkan aliran yang kuat, tetapi juga bertambah banyaknya jumlah aliran sungai yang permanen.

- 2) Tanah-tanah porus yang dalam dan banyaknya tumbuhan yang tumbuh cenderung menyerap air hujan dan mengurangi aliran permukaan (*run-off*).
- 3) Daerah yang terdiri dari batu gamping serta aliran bawah permukaan (bawah tanah) tidak menyebabkan terdapatnya aliran permukaan.
- 4) Daerah arid dengan vegetasi yang kurang menentukan aliran sungai, baik volume, jumlah air, maupun keadaan permanen aliran yang minimum.
- 5) Tanah-tanah liat yang kedap air, menambah aliran air permukaan yang mengurangi jumlah aliran bawah tanah, sehingga mempercepat pengerjaan erosi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan dibagi dalam dua kelompok, yakni elemen-elemen meteorologi dan elemen-elemen daerah pengaliran.

(John Frans)

a. Elemen-elemen meteorologi

- Jenis presipitasi, tergantung pada jenis presipitasi yakni hujan atau salju.
- Intensitas curah hujan, pengaruh intensitas curah hujan pada limpasan permukaan tergantung dari kapasitas infiltrasi.
- Lamanya curah hujan.
- Distribusi curah hujan dalam daerah pengaliran.
- Arah pergerakan curah hujan.
- Curah hujan dan kelembaban udara.
- Kondisi meteorologi lainnya.

b. Elemen daerah pengaliran

- Kondisi penggunaan lahan/tanah.
- Daerah pengaliran, semakin besar daerah pengaliran, makin lama limpasan itu mencapai tempat titik pengamatan/pengukuran.
- Kondisi topografi dalam daerah pengaliran.
- Jenis tanah.

➤ Proses Terjadinya Limpasan Permukaan (*Run Off*)

Kalau hujan berlangsung terus, air hujan yang mencapai permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) sampai mencapai suatu taraf dimana intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Setelah itu, celah-celah dan cekungan di permukaan tanah, parit-parit, dan cekungan lainnya (simpanan permukaan) semua dipenuhi air, dan setelah itu barulah terjadi *run off*.

Kapasitas infiltrasi tanah tergantung pada tekstur dan struktur tanah, dan dipengaruhi pula oleh kondisi lengas tanah sebelum hujan. Kapasitas awal (tanah yang kering) biasanya tinggi, tetapi kalau hujan turun terus, kapasitas ini menurun hingga mencapai nilai keseimbangan yang disebut sebagai laju infiltrasi akhir.

Proses *run off* akan berlangsung terus selama intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi aktual, tetapi *run off* segera berhenti pada saat intensitas hujan menurun hingga kurang dari laju infiltrasi aktual.

2.5. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan Sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari induknya di suatu tempat dan terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin kemudian diikuti dengan pengendapan material yang terdapat di tempat lain (Suripin, 2002). Terjadinya erosi dan sedimentasi menurut Suripin (2002) tergantung dari beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai. Sejumlah bahan erosi yang dapat mengalami secara penuh dari sumbernya hingga mencapai titik kontrol dinamakan hasil sedimen (*sediment yield*). Hasil sedimen tersebut dinyatakan dalam satuan berat (ton) atau satuan volume (m^3) dan juga merupakan fungsi luas daerah pengaliran. Dapat juga dikatakan hasil sedimen adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu (Asdak, 2007).

Dari proses sedimentasi, hanya sebagian aliran sedimen di sungai yang diangkut keluar dari DAS, sedangkan yang lain mengendap di lokasi tertentu dari sungai (Chow, 1964).

Proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

1. Proses sedimentasi secara geologis

Sedimentasi secara geologis merupakan proses erosi tanah yang berjalan secara normal, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas - batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan agradasi pada perataan kulit bumi akibat pelapukan.

2. Proses sedimentasi yang dipercepat

Sedimentasi yang dipercepat merupakan proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Kejadian tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah tanah. Cara mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi tanah dan sedimentasi yang tinggi.

➤ Mekanisme Pengangkutan Sedimen

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut :

- 1) Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat di atas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel-partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama- sama limpasan permukaan (*overland flow*)
- 2) Limpasan permukaan (*overland flow*) juga mengangkat bahan sedimen yang terdapat di permukaan tanah, selanjutnya

dihanyutkan masuk ke dalam alur- alur (*rills*), dan seterusnya masuk ke dalam selokan dan akhirnya ke sungai.

- 3) Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

Konsentrasi sedimen yang terkandung pada pengangkutan sedimen adalah dari hasil erosi total (*gross erosion*) merupakan jumlah dari erosi permukaan (*interillerosion*) dengan erosi alur (*rill erosion*) (Foster, 1971).

2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 100 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator.

Bentuk pembangkit tenaga mikro hidro bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu: “Perubahan tenaga potensial menjadi tenaga elektrik (listrik)”. Perubahan memang tidak langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut:

- Tenaga potensial menjadi tenaga kinetik
- Tenaga kinetik menjadi tenaga mekanik
- Tenaga mekanik menjadi tenaga listrik

Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian. Energi kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir/turbin. Tenaga listrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir/turbin.

Berdasarkan kapasitas keluarannya, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 1. Klasifikasi PLTA

No.	Jenis PLTA	Kapasitas
1.	PLTA besar	>100 MW
2.	PLTA menengah	15 – 100 MW
3.	PLTA kecil	1 – 15 MW
4.	PLTM (mini hidro)	100 kW – 1 MW
5.	PLTMH (mikro hidro)	5 kW – 100 kW
6.	Pico hidro	< 5 kW

Sumber : (Prayogo. 2003)

Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

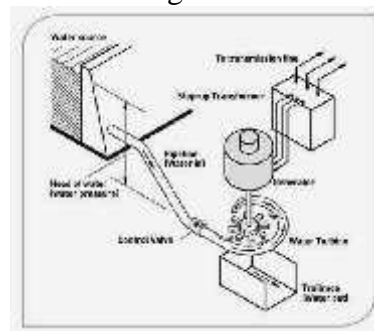
- a. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.

- b. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
- c. Tidak menimbulkan pencemaran.
- d. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
- e. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

2.7. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga air skala mikro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik (Donald, 1994).

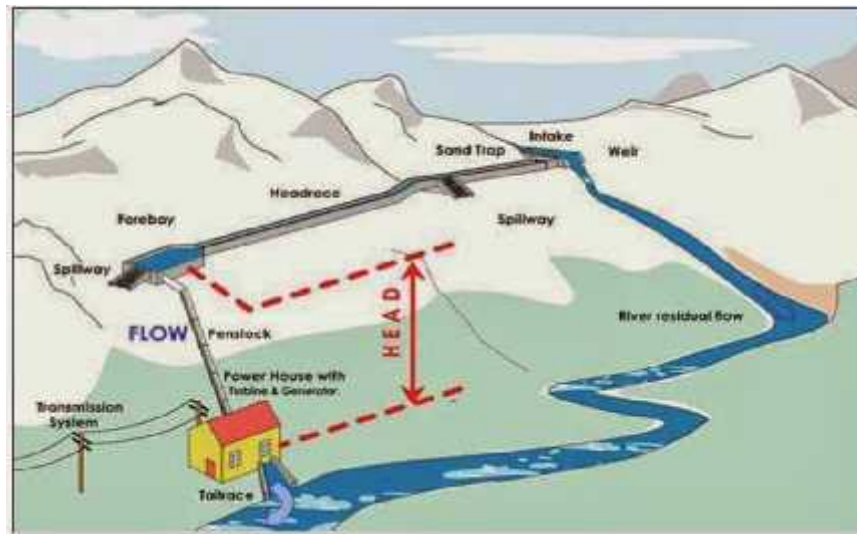
Energi Potensial-Energi Mekanik-Energi Listrik



Sumber: Theraja (2001)

Gambar 2. Prinsip Kerja PLTMH

2.8. Komponen-komponen PLTMH



Sumber: Prayogo (2003)

Gambar 3. Komponen PLTMH

Komponen PLTMH secara umum terdiri dari:

➤ Bendung

Bendung adalah pembatas yang dibangun melintas sungai yang dibangun untuk mengubah karakteristik aliran sungai. Bendung merupakan sebuah konstruksi yang lebih kecil dari bendungan yang menyebabkan air menggenang membentuk kolam tetapi mampu melewati bagian atas bendung. Bendung mengizinkan air meluap melewati bagian atasnya sehingga aliran air tetap ada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung.

➤ Saringan (*Sand trap*)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran-kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.

➤ Pintu pengambilan air (*Intake*)

Pintu Pengambilan Air adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan.

➤ Pipa pesat (*Penstok*)

Fungsinya untuk mengalirkan air dari saluran penghantar atau kolam tando menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin. Konstruksinya harus diperhitungkan agar dapat menerima tekanan besar yang timbul termasuk tekanan dari pukulan air. Pipa pesat merupakan bagian yang cukup mahal, untuk itu pemilihan pipa yang tepat sangat penting.

➤ Katub utama (*main value atau inlet value*)

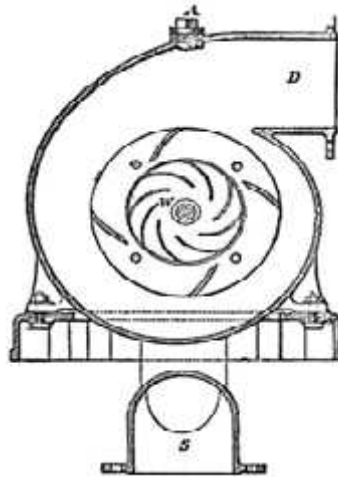
Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

➤ *Power House*

Gedung Sentral merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang kontrol.

Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit adalah :

- a. Turbin, merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.



Sumber: Notosudjono (2002)

Gambar 4. Turbin

- b. Generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo Volt Ampere (kVA).
- c. Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.

- 1) Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator.
- 2) Roda gerigi mempunyai sifat yang sama dengan puli.
- 3) Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran rotor pada generator.

2.9. Pemilihan Lokasi PLTMH

Faktor yang menentukan dalam pemilihan lokasi PLTMH adalah:

- Debit air

Debit di suatu lokasi di sungai dapat diperkirakan dengan cara berikut :

- Pengukuran di lapangan (di lokasi yang ditetapkan).
- Berdasarkan data debit dari stasiun di dekatnya.
- Berdasarkan data hujan.
- Berdasarkan pembangkitan data debit.

Pengukuran debit di lapangan dapat dilakukan dengan membuat stasiun pengamatan atau dengan mengukur debit di bangunan air seperti bendung dan peluap. Dalam hal yang pertama, parameter yang diukur adalah tampang lintang sungai, elevasi muka air, dan kecepatan aliran. Selanjutnya, debit aliran dihitung dengan mengalikan luas tampang dan kecepatan aliran. Sering di suatu lokasi yang akan dibangun bangunan air tidak terdapat pencatatan debit sungai dalam waktu panjang. Dalam keadaan tersebut terpaksa debit diperkirakan berdasarkan:

- Debit di lokasi lain pada sungai yang sama.

- Debit di lokasi lain pada sungai di sekitarnya
- Debit pada sungai lain yang berjauhan tetapi mempunyai karakteristik yang sama.

Debit di lokasi yang ditinjau dihitung berdasarkan perbandingan luas DAS yang ditinjau dan DAS stasiun referensi.

- Menentukan tinggi jatuh air (H)

Dalam menentukan tinggi jatuh air di sungai berdasarkan pada:

- Kondisi alam, yaitu perbedaan tinggi antara lokasi bak penampung dan lokasi pembangkit.
- Tinggi terjun yang sengaja dibuat, hal ini untuk mendapat tinggi jatuh air yang sesuai dengan kapasitas yang diinginkan.

- Kondisi geologis dan keadaan air

Dalam menentukan lokasi kedua faktor ini, didapat dari hasil penelitian, kita dapat menentukan hal-hal sebagai berikut:

- Kemungkinan untuk membangun di lokasi tersebut.
- Perencanaan.
- Kontruksi bangunan.
- Perhitungan anggaran biaya.
- Kondisi air, agar dapat menentukan jenis material untuk komponen turbin yang akan dipasang.

- Faktor sosial dan ekonomis

Kedua faktor ini dapat diperkirakan dengan cara:

- Lokasi tidak terlalu jauh dari pemukiman (konsumen).

- Objek yang akan dialiri listrik adalah relatif makmur, jadi jumlah pemakainya cukup banyak, dengan demikian keperluan operasional dan pemeliharaannya akan tercukupi karena menjadi tanggungan bagi pemakainya yang banyak.

2.10. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Faktor tinggi jatuhan air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada tinggi jatuhan air (*head*) tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada tinggi jatuhan air (*head*) rendah. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan tinggi jatuhan air (*head*) dan debit yang tersedia. (Ismono, 1999)

Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut (Keller, 1975) dikelompokkan menjadi:

- *Low head power plant*
- *Medium head power plant*
- *High head power plant*

Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (N_s)

Kecepatan spesifikasi (N_s) adalah kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Faktor tersebut seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik, N_s ", yang didefinisikan:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_{efs}^{5/4}} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

N_s = Kecepatan spesifik turbin (rpm)

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)

H_{efs} = Tinggi jatuh efektif (m)

P = Daya turbin output (Hp)

Output turbin ditentukan dengan persamaan (Fox dan Mc Donald, 1994).

$$P = \eta \rho Q g H \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

P = daya turbin (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

Q = debit air (m^3/s)

g = gaya grafitasi (m/s^2)

H = head efektif (m)

η = efisiensi turbin

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, tabel 2.2 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional.

Tabel 2. Kecepatan spesifik turbin *konvensional*

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifikasi
1	<i>Pelton</i> dan kincir air	$10 \leq N_s \leq 35$
2	<i>Francis</i>	$60 \leq N_s \leq 300$
3	<i>Cross-Flow</i>	$40 \leq N_s \leq 200$
4	<i>Kaplan dan propeller</i>	$250 \leq N_s \leq 1000$

(Penche, C, 1998)

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diestimasi (diperkirakan).

2. Berdasarkan *Head* dan Debit

Dalam pemilihan jenis turbin, hal spesifik yang perlu diperhatikan antara lain menentukan tinggi *head* bersihnya dan besar debit airnya. Faktor yang mempengaruhi kehilangan tinggi pada saluran air adalah besar penampang saluran air, besar kemiringan saluran air dan besar luas penampang pipa pesat.

Berikut adalah pengertian tentang *head* dan debit.

➤ *Head* Bersih (*Net Head*)

Head bersih adalah selisih antara *head* ketinggian kotor dengan *head* kerugian di dalam sistem pemipaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro tersebut. *Head* kotor (*gross head*) adalah jarak vertikal antara permukaan air sumber dengan ketinggian air keluar saluran turbin (*tail race*) untuk turbin reaksi dan keluar nozel untuk turbin impuls. *Head* kerugian di dalam sistem pemipaan yaitu berupa

head kerugian di dalam pipa dan *head* kerugian pada kelengkapan perpipaan seperti sambungan, katup, percabangan, *difuser*, dan sebagainya. Namun karena *head* kerugian pada kelengkapan pipa kecil maka kerugian ini dapat diabaikan.

Tabel 3. Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan *head*

Jenis Turbin	Variasi <i>Head</i> (m)
<i>Kaplan dan Propeller</i>	$2 < H < 20$
<i>Francis</i>	$10 < H < 350$
<i>Pelton</i>	$50 < H < 1000$
<i>Crossflow</i>	$6 < H < 100$
<i>Turgo</i>	$50 < H < 250$

(Dietzel, 1983)

➤ **Kapasitas Aliran (Debit)**

Debit aliran adalah volume air yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. Debit air adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s). Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air tersebut.

Debit dapat dihitung dengan Persamaan:

$$Q = A.V \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

Q = Debit (m^3/s)

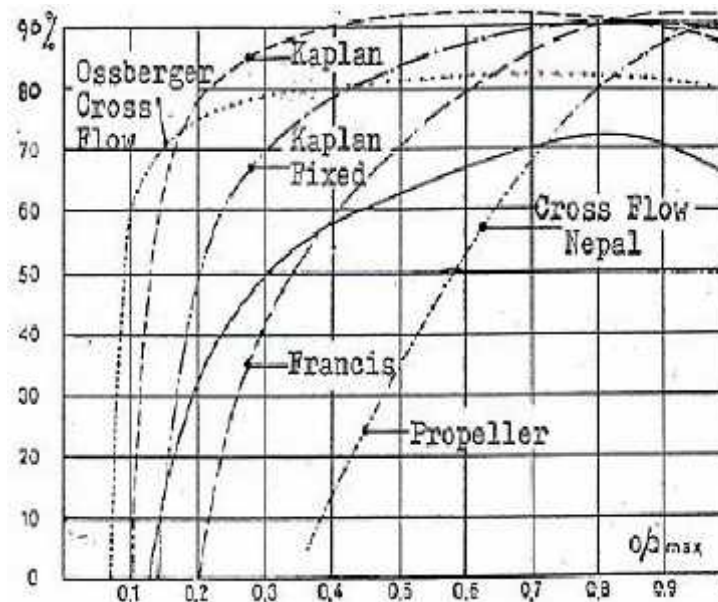
A = Luas bagian penampang basah (m^2)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/s)

3. Besar Nilai Efisiensi Turbin

- a. 0,8 – 0,85 untuk turbin *pelton*
- b. 0,8 – 0,9 untuk turbin *francis*
- c. 0,7 – 0,8 untuk turbin *Cross-flow*
- d. 0,8 – 0,9 untuk turbin *propeller/kaplan*

Kurva di bawah ini akan lebih menjelaskan tentang perbandingan efisiensi dari beberapa turbin konvensional. Pada Gambar 5. dapat kita lihat grafik efisiensi beberapa turbin.



Gambar 5. Grafik efisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel (Sumber : Haimerl, 1960).

Dari kurva tersebut ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya.

2.11. Hidrometri

Hidrometri secara umum dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari cara-cara pengukuran air. Berdasarkan pengertian tersebut berarti hidrometri mencakup kegiatan pengukuran air permukaan dan air bawah permukaan. Stasiun hidrometri merupakan tempat di sungai yang dijadikan tempat pengukuran debit sungai, maupun unsur-unsur aliran lainnya. Dalam satu sistem DAS stasiun hidrometri ini dijadikan titik kontrol (*control point*) yang membatasi sistem DAS. Pada dasarnya stasiun hidrometri ini dapat ditempatkan di sembarang tempat sepanjang sungai dengan mempertimbangkan kebutuhan data aliran baik sekarang maupun di masa yang akan datang sesuai dengan rencana pengembangan daerah. Dalam penempatan atau pemilihan stasiun hidrometri terdapat dua pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu:

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

Menurut Boyer 1964 dalam pemilihan lokasi stasiun hidrometri perlu diperhatikan beberapa syarat yaitu :

1. Stasiun hidrometri harus dapat dicapai (*accessible*) dengan mudah setiap saat, dan dalam segala macam kondisi baik musim hujan maupun musim kemarau.

2. Di bagian sungai yang lurus dan aliran yang sejajar dengan jangkau tinggi permukaan yang dapat dijangkau oleh alat yang tersedia. Dianjurkan agar bagian yang lurus paling tidak tiga kali lebar sungai.
3. Di bagian sungai dengan penampang stabil, dengan pengertian bahwa hubungan antara tinggi muka air dan debit tidak berubah, atau perubahan yang mungkin terjadi kecil. Untuk sungai-sungai kecil atau saluran, apabila tidak dijumpai penampang yang stabil dan sangat diperlukan, penampang sungai/saluran dapat diperkuat dengan pasangan batu/beton.
4. Di bagian sungai yang peka (*sensitive*).
5. Tidak terjadi aliran di bantaran sungai pada saat debit besar
6. Tidak diganggu oleh pertumbuhan tanaman air, agar tidak mengganggu kerja *current meter*, dan tidak mengubah yang perlu diperhatikan, yaitu: liku kalibrasi (*rating curve*).
7. Tidak terganggu oleh pembendungan di sebelah hilir (*backwater*).

2.12. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan hujan yang berpengaruh pada besarnya debit sungai sekarang. Data hujan harian selanjutnya akan diolah menjadi data curah hujan rencana yang kemudian akan diolah menjadi debit banjir rencana. Data hujan harian didapatkan dari beberapa stasiun di sekitar lokasi rencana bendungan, di mana stasiun tersebut masuk dalam daerah pengaliran sungai.

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

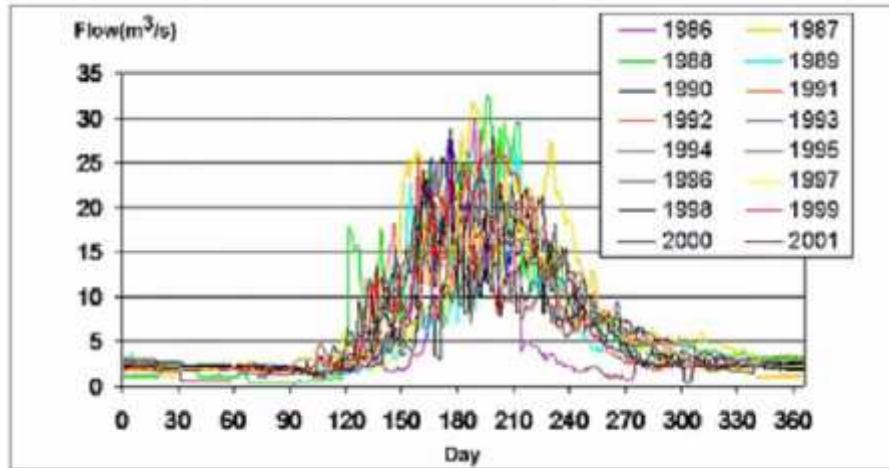
- a. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
- b. Menentukan luas pengaruh daerah stasiun-stasiun penakar hujan sungai.
- c. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.
- d. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
- e. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana diatas pada periode ulang T tahun.

- Analisis *Flow Duration Curve* (FDC)

Analisis FDC adalah sebuah teknik plot yang menunjukkan hubungan antara nilai dari sebuah besaran dengan frekuensi terjadinya. Informasi penting yang diberikan oleh FDC adalah debit aliran yang melewati lokasi tertentu dan dalam rentang waktu tertentu akan bermanfaat untuk merancang struktur PLTMH yang dibutuhkan. Sebagai contoh, struktur dapat dirancang untuk beroperasi dengan optimal pada rentang debit tertentu, misalnya antara 20% – 80% frekuensi waktu.

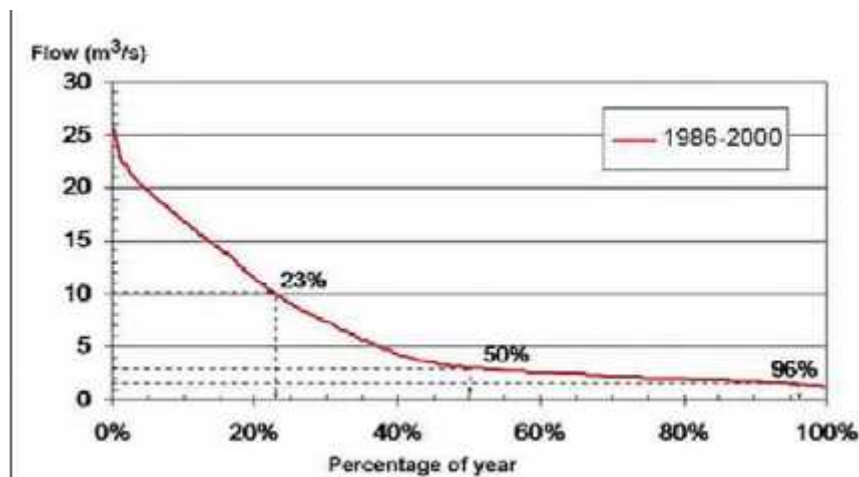
Untuk kepentingan perancangan PLTMH, sangat penting untuk bisa mendapatkan data debit dari tahun ke tahun sebanyak mungkin sehingga dapat diketahui berapa banyak air (baik di musim kemarau atau penghujan) yang bisa dipergunakan untuk menggerakkan turbin. Data ini memberikan masukan paling mendasar bagi perancang untuk memilih jenis turbin yang paling efisien dan cocok dengan sumber daya yang ada. Dengan data debit di tangan ditambah dengan data kebutuhan

energi listrik konsumen, maka perancang dapat memilih turbin dan generator yang cocok bagi sebuah PLTMH yang berdiri sendiri.



Gambar 6. Hidrograf dari data sepanjang 16 tahun

Gambar 6. menunjukkan debit air sungai harian yang diukur dalam periode enam belas tahun. Data di atas merupakan data yang ideal. Namun, faktanya lapangan menunjukkan bahwa data yang ideal jarang ada.

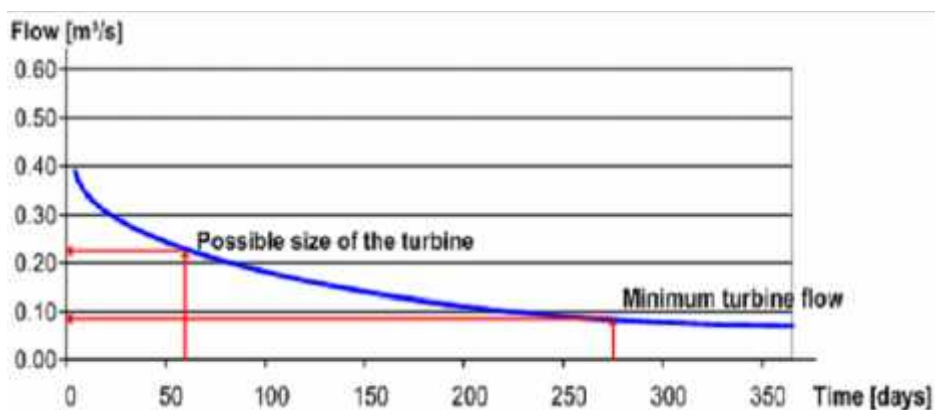


Gambar 7. *Flow Duration Curve* (Kurva Durasi Debit Air)

Flow Duration Curve (FDC) disusun dengan mengelompokkan data debit berdasarkan besar debitnya lalu memplotkannya pada grafik terhadap 100% waktu pengukuran. Sebagai contoh, berdasarkan kurva

di atas bahwa selama 23% waktu dalam satu tahun, debit air adalah lebih dari $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Kurva ini sangat penting sebagai data bagi perancangan PLTMH. Jika tidak didasarkan pada data yang mantap maka hasil rancangannya pun akan sangat spekulatif.

Jika tidak ada data yang tersedia, maka diharuskan mengukur dan merekam debit air setiap hari minimal selama satu tahun untuk mendapatkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 8. Contoh *flow duration curve* dalam satu tahun

Flow Duration Curve (FDC) dihasilkan dari kurva debit aliran sungai dengan mengelompokkan keseluruhan 365 data yang ada. Berdasarkan *Flow Duration Curve*, perancang memperkirakan kapasitas PLTMH yang mungkin. Proses pendimensian PLTMH tergantung dari debit air dan perkiraan kebutuhan energi listrik dari konsumen. Idealnya energi listrik PLTMH dapat memenuhi permintaan listrik sepanjang tahun. Jika permintaan lebih tinggi dari kapasitas yang tersedia, maka alternatif sumber energi lainnya harus dicari atau usaha-usaha efisiensi energi perlu dipertimbangkan.

- Perhitungan Debit Andalan (*Low Flow Analysis*)

Analisis ketersediaan air adalah dengan membandingkan kebutuhan air total termasuk kebutuhan air untuk PLTMH dengan ketersediaan air. Setelah dibandingkan akan didapat kelebihan atau defisit air pada setiap bulannya, baik pada saat ini ataupun waktu yang akan datang. Secara umum debit andalan dapat dinyatakan data aliran sungai/curah hujan dengan debit andalan 80% dan 90% agar PLTMH dapat berfungsi dengan baik termasuk pada musim kemarau seperti bulan Juni, Agustus, dan September yang terjadi defisit air. Analisis debit andalan bertujuan untuk mendapatkan potensi sumber air yang berkaitan dengan rencana pembangunan PLTMH. Perhitungan debit andalan dihitung berdasarkan analisis *Flow Duration Curve* (FDC).

2.13. Daya yang Dibangkitkan

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

Besarnya tinggi terjun air terikat pada kondisi geografis di mana PLTMH tersebut berada. Panjangnya lintasan yang harus dilalui air dari bendungan ke turbin menyebabkan hilangnya sebagian energi air, energi air yang tersisa (tinggi terjun efektif) inilah yang menggerakkan turbin air dan kemudian turbin air ini yang menggerakkan generator. Besarnya daya yang dihasilkan

juga tergantung dari efisiensi keseluruhan (*overall efficiency*) PLTMH tersebut yang terdiri dari efisiensi hidrolis, yaitu perbandingan antara energi efektif dan energi kotor (*bruto*), efisiensi turbin dan efisiensi generator.

Dengan demikian besarnya daya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

ρ = densitas air (kg/m³)

Q = debit air (m³/detik)

h = tinggi terjun air efektif (m)

η = efisiensi keseluruhan PLTA

Efisiensi keseluruhan PLTA menurut (Subroto, 2002) didapatkan dari:

$$\eta = \eta_h \times \eta_t \times \eta_g \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

η_h = efisiensi hidrolis

η_t = efisiensi turbin

η_g = efisiensi generator

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

a) Kehilangan energi akibat gesekan (primer)

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

$$h_f = \frac{f(Lv^2)}{D \cdot 2g} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

= koefisien gesekan

L = panjang saluran (meter)

v = kecepatan air di saluran (m/s)

D = diameter saluran (m)

g = gaya gravitasi bumi (m²/detik)

b) Kehilangan energi sekunder

Kehilangan energi sekunder ini terdiri dari :

1. Kehilangan energi pada pemasukan (he)

$$h_e = K_e \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (7)$$

K_e adalah koefisien kehilangan energi pada pemasukan

2. Kehilangan energi pada belokan (hb)

$$h_b = K_b \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (8)$$

K_b adalah koefisien kehilangan energi karena belokan

3. Kehilangan energi pada katup atau pintu (hg)

$$h_g = K_g \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (9)$$

K_g adalah koefisien kehilangan energi pada katup pintu

Dengan demikian total kehilangan tinggi energi (ht) yang terjadi pada terowongan tekan adalah :

$$h_t = h_e + h_f + h_b + h_g \dots\dots\dots (10)$$

Besarnya kehilangan tinggi energi ini dihitung sebagai kehilangan produksi listrik per tahun dengan memasukkan harga listrik per Kwh, maka dapat dihitung besarnya kehilangan produksi yaitu sebesar :

$$9,8 \times Q \times h_t \times T \times \text{harga listrik per Kwh} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

Q = debit (m^3/detik)

T = lama pengoperasian per tahun (jam)

Untuk menekan besarnya kehilangan energi, maka dilakukan upaya untuk memperkecil yaitu dengan cara :

- Pelapisan dan penghalusan (*lining*) permukaan saluran.
- Memperbesar profil saluran.
- Menghindari kemungkinan belokan-belokan dan perubahan profil.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Sungai Air Anak, Dusun Talang Bandung, Pekon Sindang Pagar, Kecamatan Sumber Jaya, Kabupaten Lampung Barat.



Gambar 9. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan dalam bentuk data primer maupun data sekunder.

a. Data Primer

Data primer yang dipakai untuk mendukung penelitian ini antara lain:

1. Data luas penampang sungai Air Anak pada titik bangunan PLTMH.
2. Data kecepatan aliran pada sungai sebelum bendung, di Sungai Air Anak yang ada di Dusun Talang Bandung, Pekon Sindang Pagar, Kecamatan Sumber Jaya.
3. Data beda tinggi dari lokasi bendung menuju rumah kincir.
4. Data tinggi muka air pada pipa.

b. Data Sekunder

Data sekunder yang dipakai untuk mendukung penelitian ini antara lain:

1. Peta sungai Air Anak.
2. Data debit jam – jaman pada outlet Bendungan Way Besai.
3. Data luasan DAS yang berasal dari Sistem Informasi Geografis.
4. Data kemiringan lereng.
5. Data tata guna lahan.

3.3. Alat – Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Patok
2. Tali

3. Meteran
4. *Current meter*
5. *Waterpass*

3.4. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan membagi kegiatan kedalam tahapan – tahapan berikut ini:

a. Pengumpulan Data

Diawali dengan pengumpulan data yang diperlukan selengkap mungkin baik data primer maupun sekunder, kemudian data-data tersebut dianalisa sehingga didapat data yang dihasilkan dari debit sungai. Data Primer digunakan untuk menghitung debit terukur sungai dan debit rencana PLTMH sungai Air Anak, sedangkan data sekunder digunakan untuk menghitung debit andalan dengan menggunakan metode FDC (*Flow Duration Curve*).

b. Perhitungan Debit Terukur

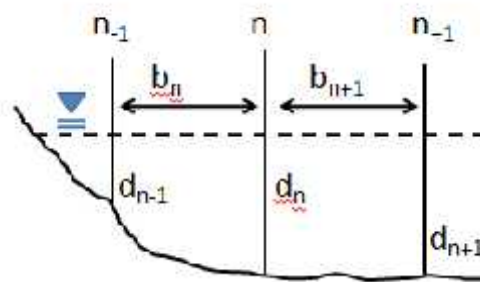
Untuk mendapatkan data debit, dilakukan pengukuran langsung di lokasi PLTMH sungai Air Anak. Metode yang digunakan untuk mengukur debit yaitu dengan membuat patok di kedua sisi tepi sungai. Kemudian mengikatkan tali di kedua sisi patok tersebut sehingga tali membentang dari tepi sungai yang satu ke tepi sungai yang lain, dengan demikian bisa diukur lebar sungai tersebut. Setelah didapat lebar sungai kemudian dibuat titik setiap jarak 25 cm dan disetiap titik dicari

kecepatan alirannya dengan menggunakan alat *current meter* dan diukur kedalaman.



Gambar 10. *Current meter*

Hitungan debit aliran untuk seluruh luas tampang aliran adalah penjumlahan dari debit setiap pias tampang aliran. Dalam hitungan ini dilakukan dengan anggapan kecepatan rata-rata satu vertikal mewakili kecepatan rata-rata satu pias yang dibatasi oleh garis pertengahan antara dua garis vertikal yang diukur. Cara hitungan ini disebut dengan *mean area method*.



Gambar 11. Cara hitungan debit aliran dengan *mean area method*

Setelah didapat data-data tersebut maka bisa dihitung pula debitnya dengan rumus :

$$A_n = \left(\frac{d_n + d_{n+1}}{2} \right) \times b_{n+1} \qquad q_n = A_n \times \left(\frac{V_n + V_{n+1}}{2} \right)$$

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

Dimana :

$Q = \text{debit (m}^3/\text{dtk)}$

$v = \text{kecepatan air (m/dt)}$

$A = \text{luas penampang aliran (m}^2\text{)}$

c. Perhitungan Debit dengan FDC

Kumpulan data debit jam - jaman digunakan untuk membuat FDC. Kemudian data debit tersebut ditabulasikan berdasarkan besaran debit pada masing-masing probabilitas. Selanjutnya diplotkan ke dalam bentuk grafik perbandingan antara besaran debit terhadap probabilitas kejadian/ketersediaan yang selanjutnya disebut dengan grafik durasi aliran (*Flow Duration Curve/FDC*). FDC dilakukan untuk setiap masing-masing tahun data. Selanjutnya FDC dilakukan untuk keseluruhan tahun data. Probabilitas dilakukan pada 0%, 10%, hingga 100%.

d. Perhitungan Daya listrik

Perhitungan daya listrik dilakukan setelah mendapat nilai debit andalan dari analisis hidrologi di sungai Air Anak dan tinggi terjun air efektif serta efisiensi keseluruhan PLTMH. Dengan demikian besarnya daya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \times g$$

Dimana :

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

$Q = \text{debit air (m}^3/\text{detik)}$

$h = \text{tinggi terjun air efektif (m)}$

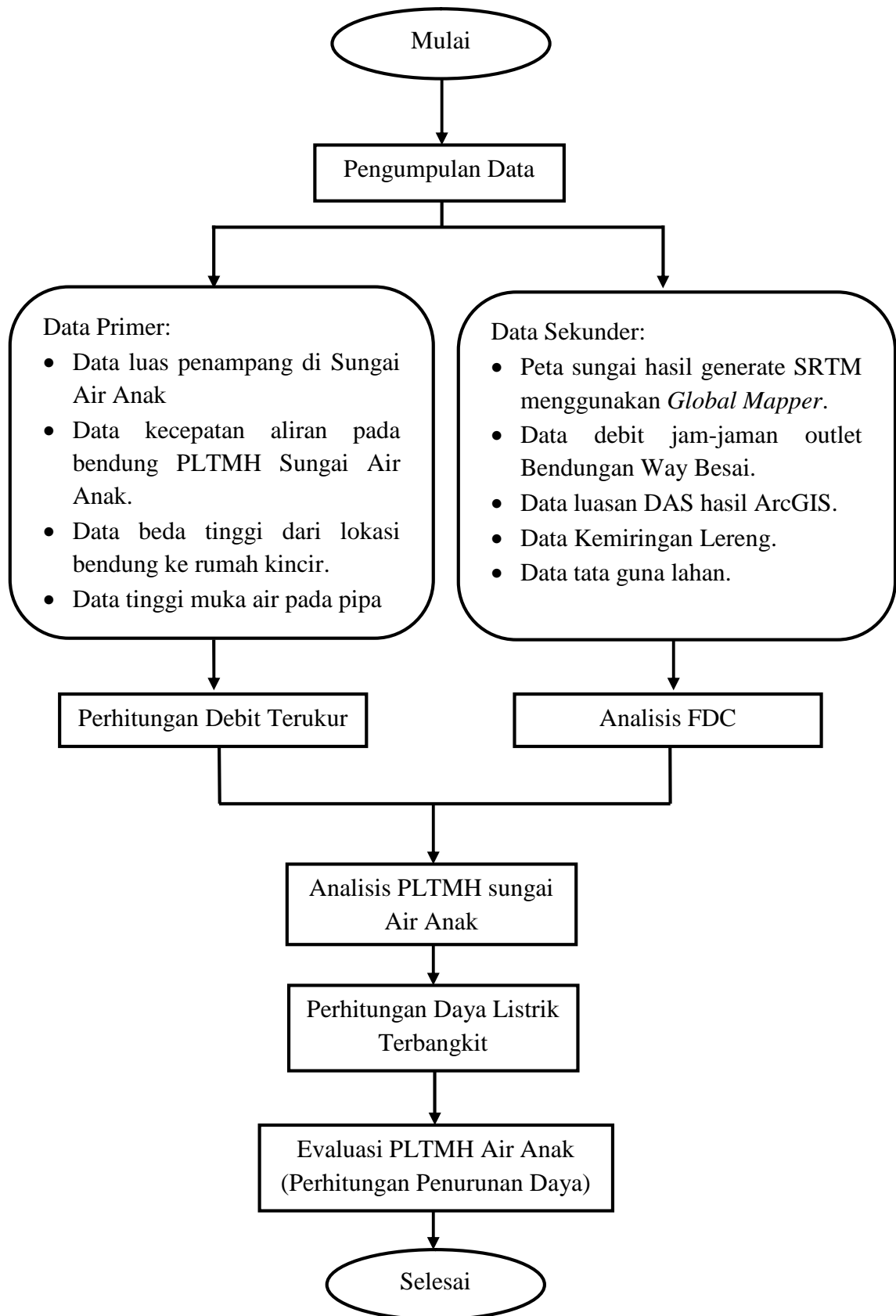
t = efisiensi turbin

g = efisiensi turbin

e. Evaluasi PLTMH Air Anak

Evaluasi PLTMH Air Anak ini dilakukan dengan menghitung adanya penurunan daya terbangkit. Kemudian daya terbangkit yang mengalami penurunan dibandingkan dengan daya terbangkit rencana.

3.5. Bagan Alir Penelitian



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Besar debit rencana PLTMH Air Anak adalah sebesar $0,2565 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan daya terbangkit rencana sebesar $2,3742 \text{ kW}$. Yang seharusnya akan selalu terpenuhi hingga debit sungai pada probabilitas 100% yang bernilai $0,4234 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. Hasil perhitungan daya listrik pada PLTMH Air Anak, didapat penurunan daya terbangkit sebagai berikut:
 - Pada debit terukur sungai pada 20 desember 2015 sebesar $1,1923 \text{ m}^3/\text{s}$, air yang dapat dialirkan ke pipa berdiameter 21,6 cm adalah setinggi 7 cm menghasilkan debit sebesar $0,0592 \text{ m}^3/\text{s}$. Daya yang dapat dihasilkan sebesar $1,2326 \text{ kW}$ atau sebesar 56,12% dari daya terbangkit rencana.
 - Pada debit terukur sungai pada 9 Mei 20016 sebesar $0,5788 \text{ m}^3/\text{s}$, air yang dapat dialirkan ke pipa berdiameter 21,6 cm adalah setinggi 4 cm menghasilkan debit sebesar $0,0189 \text{ m}^3/\text{s}$. Daya tidak dapat lagi dihasilkan karena debit tersebut tidak dapat lagi memutar turbin.

3. Menurunnya daya listrik yang dihasilkan PLTMH Air Anak disebabkan oleh penumpukan sedimen pada bendung, sehingga tampungan air pada bendung menjadi tidak optimal dan air yang dapat dialirkan ke pipa pesat melalui intake tidak dapat terpenuhi karena lebih banyak melimpas melalui spillway.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukannya evaluasi terhadap alternatif optimalisasi PLTMH Air Anak agar dapat diketahui efisiensi dari alternatif optimalisasi tersebut.
2. Dalam suatu perencanaan PLTMH, segala aspek yang berhubungan dalam perencanaan harus diperhitungkan agar tidak menjadi kendala pada saat pengoperasiannya.
3. Perlu adanya perhatian dari pihak-pihak terkait untuk dapat meningkatkan pembangunan PLTMH, karena adanya potensi sungai yang sangat baik untuk pembangunan PLTMH.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Chow, VT. 1964. *Hidrologi Saluran Terbuka*. Airlangga. Jakarta
- Dandekar MM, KN Sharma. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta
- Dietzel, F. 1983. *Turbin, Pompa dan Kompresor, Alih Bahasa: Dakso Sriyono*. Erlangga. Jakarta
- Foster, G.R, & Meyer, L.D. 1977. *Soil Erosion and Sedimentation by water an overview*. Am.Soc.of Agric.Eng,St.Joseph. Michigan
- Fox, Robert W and Alan T.Mc.Donald. 1994. *Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition*. SI Version, John Wiley & Sons, Inc. Canada
- Frans, J. _____. *Rekayasa Hidrologi, Mata Kuliah Hidrologi*.
- Ismono H.A. 1999. *Perencanaan Turbin Air Tipe Cross Flow untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Institut Teknologi Nasional Malang*. Skripsi
- Kamiana, I.M. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Lobeck,A.K. 1939. *Geomorphology An Introduce to the Study of Landscapes*. Mc Graw-hill Book Company, Inc. Newyork
- Luknanto, J. _____. *Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air*.
- Notosudjono, D. 2002. *Perencanaan PLTMH di Indonesia*. BPPT
- Penche,C. 1998. *Layman's Guidebook, on how to develop a small hydro site*. European small Hydropower Association.

- Prayogo, E. 2003. *Teknologi Mikrohidro dalam Pemanfaatan Sumber Daya Air untuk Menunjang Pembangunan Pedesaan*. Semiloka Produk-produk Penelitian Departement Kimpraswill. Makassar
- Sukamta, S. , Adhi Kusmantoro. 2013. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Jantur Tabalas Kalimantan Timur*. Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Andi Yogyakarta. Yogyakarta
- Theraja, BL. 2001. *Electrical of Technology, 8th*. Prentice Hall International Inc. Newyork