

TESIS

**STUDI KELAYAKAN PLTM CIANTEN I KABUPATEN
BOGOR DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI**

**Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)**



Oleh :

ADHI SUSILO

NIM : 20202100001

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**STUDI KELAYAKAN PLTM CIANTEN I KABUPATEN BOGOR
DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI**

Disusun oleh :

**ADHI SUSILO
NIM : 20202100001**

Telah disetujui oleh:

Tanggal,

Pembimbing I,

Tanggal,

Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA

NIK. 210291014

Ir. Moq. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D

NIK. 210296020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

STUDI KELAYAKAN PLTM CIANTEN I KABUPATEN BOGOR
DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI

Disusun oleh :

ADHI SUSILO

NIM : 20202100001

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

Tim Penguji:

1. Ketua

(Ir. Moh Fauzan Nizam, MT., Ph.D)

2. Anggota

(Ir. Prabhowo Setiawan, MT., Ph.D)

3. Anggota

(Ir. Rachmat Mulyono, MT., Ph.D)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)
Senarang.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NIK. 210202033

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Abdul Rochim, ST., MT

NIK. 210200031

MOTTO

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik (QS. Ali Imron 110)

There is nothing you can do that you can't be done

Nothing you can sing that can't be sung

Nothing you can say, but you can learn how to play the game

Nothing you can make that can't be made

No one you can save that can't be saved

Nothing you can do, but you can learn how to be you in time

There is nothing you can know that isn't unknown

Nothing you can see that isn't shown

There is nowhere you can be that isn't where you're meant to be,

it's easy

All you need is love

(The Beatles)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil Aalamin, sujud serta syukur kepada Allah SWT. Terimakasih atas karunia-Mu yang

telah memberikan kemudahan dan kelancaran sehingga Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tesis ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri yang telah berjuang dan berusaha selama ini.

Terimakasih atas kerja kerasnya. Mari tetap berdoa dan berusaha serta jangan menyerah untuk

kedepannya.

Halaman persembahan ini juga ditujukan sebagai ungkapan terimakasih kepada keluarga saya yang telah

mendoakan dan memberikan dukungan penuh selama perjuangan menempuh pendidikan.



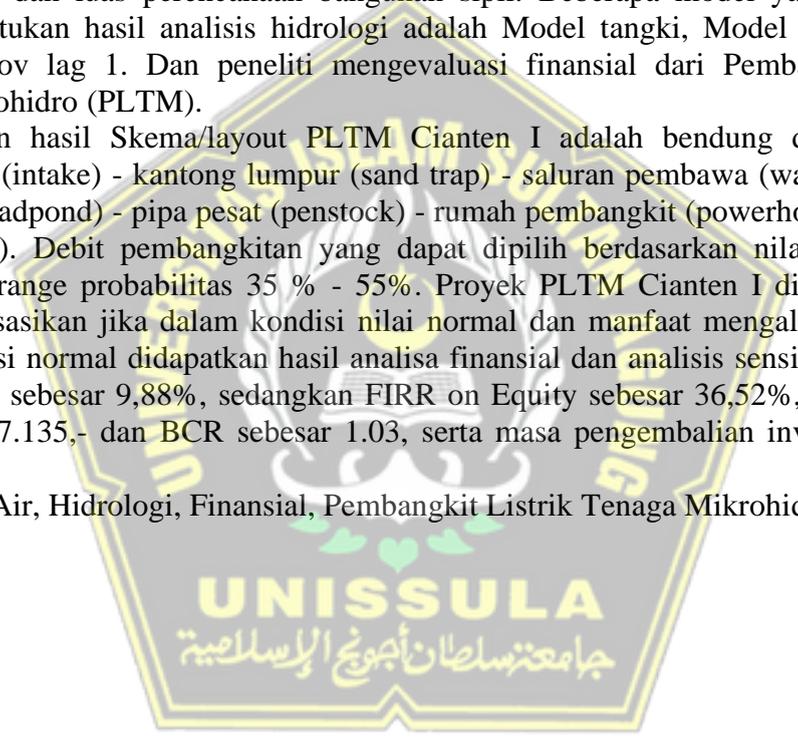
ABSTRAK

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. Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Pada sungai Cianten terdapat potensi ketersediaan air yang cukup sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, memiliki kontur yang sesuai dan telah dimanfaatkan untuk PLTM.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini yaitu dengan mengadakan pengamatan dan pengumpulan data di lapangan dengan melihat dan mencatat data luas masing masing DAS dan luas perencanaan bangunan sipil. Beberapa model yang digunakan untuk menentukan hasil analisis hidrologi adalah Model tangki, Model FJ Mock dan Model Markov lag 1. Dan peneliti mengevaluasi finansial dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM).

Didapatkan hasil Skema/layout PLTM Cianten I adalah bendung dan bangunan pengambilan (intake) - kantong lumpur (sand trap) - saluran pembawa (waterway) - bak penenang (headpond) - pipa pesat (penstock) - rumah pembangkit (powerhouse) - saluran buri (tailrace). Debit pembangkitan yang dapat dipilih berdasarkan nilai plant factor adalah pada range probabilitas 35 % - 55%. Proyek PLTM Cianten I dikatakan layak untuk direalisasikan jika dalam kondisi nilai normal dan manfaat mengalami kenaikan. Dalam kondisi normal didapatkan hasil analisa finansial dan analisis sensitivitas didapat FIRR Project sebesar 9,88%, sedangkan FIRR on Equity sebesar 36,52%, NPV sebesar Rp. 2.916.937.135,- dan BCR sebesar 1.03, serta masa pengembalian investasi selama 10,87 tahun.

Kata Kunci: Air, Hidrologi, Finansial, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro



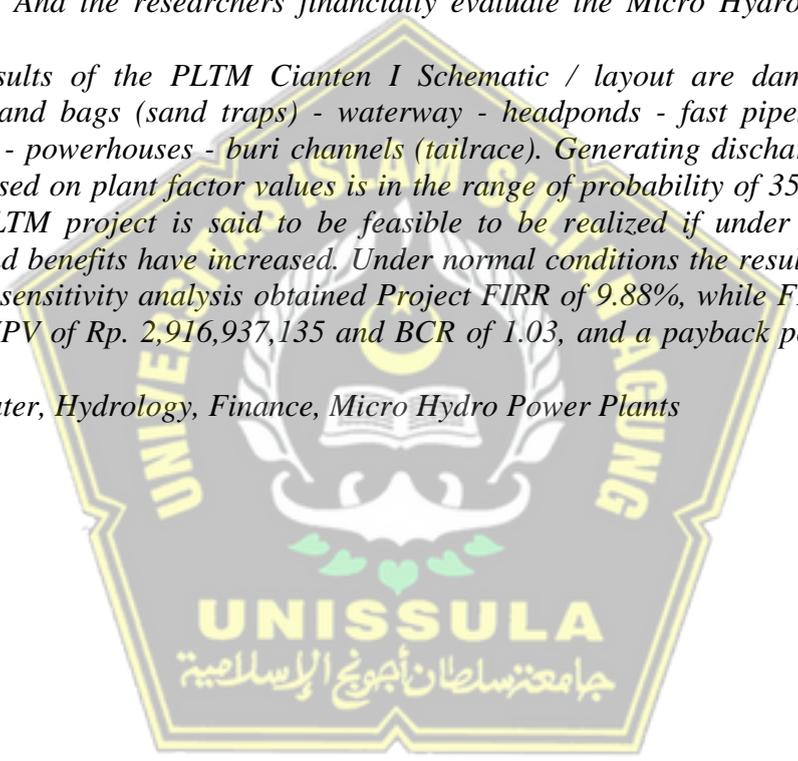
ABSTRAC

The river is one of the sources of water for life on earth. Both humans, animals and plants, all living things need water to be able to maintain their survival. The river flows from upstream to downstream move from a high to a low place. Micro hydro or what is meant by Micro Hydro Power Plant (PLTM), is a small-scale power plant that uses hydropower as its driving force such as irrigation channels, rivers or natural waterfalls by utilizing high waterfall (head) and the amount of water discharge. In the Cianten river there is the potential for sufficient water supply throughout the year, reliable discharge, has appropriate contours and has been utilized for PLTM.

Data collection techniques in this research is to make observations and data collection in the field with a comprehensive view and record data each comprehensive watershed planning and civic buildings. Some of the models used to determine the results of a hydrological analysis are the Tank Model, the FJ Mock Model and the Markov Model lag 1. And the researchers financially evaluate the Micro Hydro Power Plant (PLTM).

The results of the PLTM Cianten I Schematic / layout are dams and intake buildings - sand bags (sand traps) - waterway - headponds - fast pipes (penstock) - powerhouses - powerhouses - buri channels (tailrace). Generating discharge which can be chosen based on plant factor values is in the range of probability of 35% - 55%. The Cianten I PLTM project is said to be feasible to be realized if under normal value conditions and benefits have increased. Under normal conditions the results of financial analysis and sensitivity analysis obtained Project FIRR of 9.88%, while FIRR on Equity of 36.52%, NPV of Rp. 2,916,937,135 and BCR of 1.03, and a payback period of 10.87 years.

Keyword: Water, Hydrology, Finance, Micro Hydro Power Plants



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ADHI SUSILO
NIM : 20202100001

Dengan ini saya nyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

STUDI KELAYAKAN PLTM CIANTEN I KABUPATEN BOGOR DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 28 Februari 2020



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tesis dengan judul **STUDI KELAYAKAN PLTM CIANTEN I KABUPATEN BOGOR DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI**. Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Tesis ini dapat diselesaikan dengan dukungan dari banyak pihak dan untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan banyak terima kasih, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA sebagai dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, dan bimbingan yang sangat berguna dalam penulisan Tesis ini.
3. Bapak Ir. M. Faiqun Ni'am, MT., Ph. D selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan penjurusan, arahan, nasehat serta bimbingan yang sangat berguna dalam penulisan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun demi perbaikan tesis ini nantinya.

Akhir kata, penulis mohon maaf apabila dalam penulisan tesis ini masih ada kekurangan, dan semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Semarang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

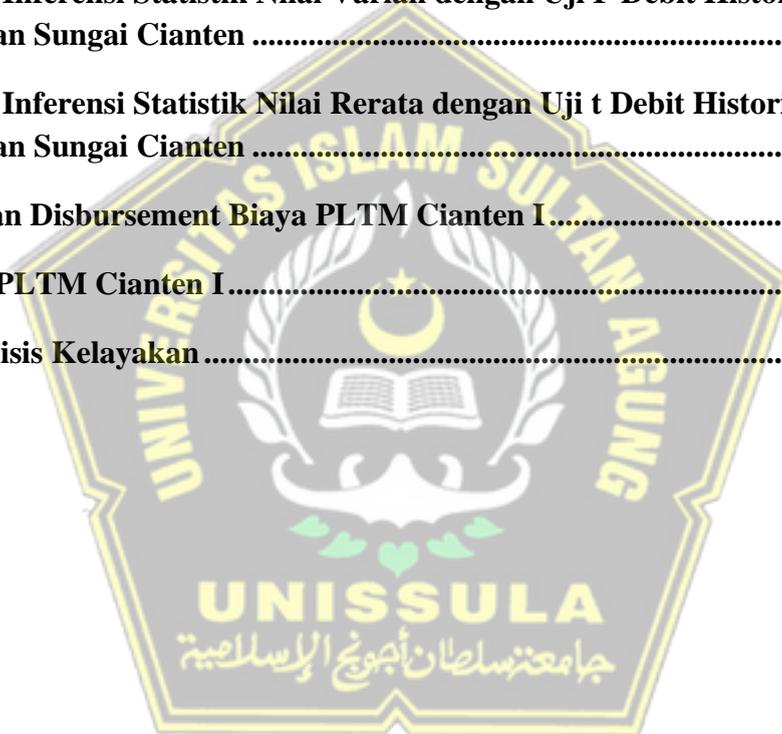
HALAMAN JUDUL	1
DAFTAR ISI.....	12
DAFTAR TABEL.....	14
DAFTAR GAMBAR.....	15
DAFTAR LAMPIRAN	16
BAB I PENDAHULUAN.....	18
1.1. Latar Belakang	18
1.2. Rumusan Masalah.....	19
1.3. Batasan Masalah	19
1.4. Tujuan Penelitian	19
1.5. Manfaat Penelitian	20
1.6. Sistematika Penulisan	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1. Energi	22
2.2. Sungai	23
2.3. Siklus Hidrologi.....	24
2.4. Limpasan Permukaan (Run Off)	27
2.5. Erosi dan Sedimentasi.....	29
2.6. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	31
2.7. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	32
2.8. Komponen–komponen PLTMH	33
2.9. Pemilihan Lokasi PLTMH	35
2.10. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin	37
2.11. Hidrometri	41
2.12. Analisis Hidrologi	42

2.13. Analisis Model Tangki	45
2.14. Analisis Ekonomi Teknik.....	46
2.15. Daya yang Dibangkitkan	50
2.16. Penelitian Sebelumnya	51
BAB III METODE PENELITIAN	52
3.1 Uraian Kegiatan	52
3.1.1 Identifikasi Masalah.....	52
3.1.2 Metode Pengumpulan Data	52
3.1.3 Alat – Alat	53
3.2 Tahapan Penelitian	53
3.3 Analisis Ekonomi.....	55
3.4 Bagan Alir	56
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Analisis Hidrologi.....	58
4.1.1 Parameter dan kalibrasi model tangki	58
4.1.2 Parameter dan kalibrasi model mock	59
4.1.3 Komponen PLTMH Cianten I	67
4.2 Biaya Konstruksi dan OP	68
4.2.1 Umum	68
4.2.2 Biaya Proyek	68
4.2.3 Jadwal Pelaksanaan Proyek	68
4.2.4 Biaya Operasional Dan Pemeliharaan	69
4.3 Benefit (Manfaat Proyek)	70
4.4 Analisis Kelayakan	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73



DAFTAR TABEL

2.1. Klasifikasi PLTA	30
2.2 Kecepatan spesifik turbin <i>konvensional</i>	37
2.3 Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan <i>head</i>	38
2.4 Refrensi Peneliti Sebelumnya.....	49
4.1 Parameter dan Koefisien Tangki Sungai Cianten.....	57
4.2 Statistik Debit 10 Harian DAS Sungai Cianten.....	61
4.3 Pengujian Inferensi Statistik Nilai Varian dengan Uji F Debit Historik dan Debit Bangkitan Sungai Cianten	63
4.4 Pengujian Inferensi Statistik Nilai Rerata dengan Uji t Debit Historik dan Debit Bangkitan Sungai Cianten	64
4.5 Rincian dan Disbursement Biaya PLTM Cianten I.....	69
4.6 Biaya OP PLTM Cianten I.....	70
4.7 Hasil Analisis Kelayakan	73



DAFTAR GAMBAR

2.1 Siklus Hidrologi	23
2.2 Prinsip Kerja PLTMH.....	30
2.3 Komponen PLTMH	31
2.4 Turbin.....	32
2.5 Grafik efisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel..	38
2.6 Hidrograf dari data sepanjang 16 tahun.....	41
2.7 <i>Flow Duration Curve</i> (Kurva Durasi Debit Air).....	41
2.8 Contoh <i>flow duration curve</i> dalam satu tahun.....	42
2.9 Model Tangki.....	44
2.10 Model Tangki Limpasan.....	45
3.1 Lokasi Penelitian	51
3.2 Current meter	53
3.3 Cara hitungan debit aliran dengan <i>mean area method</i>	53
3.4 Bagan Alir	54
4.1 Skema Model Tangki	57
4.2 Korelasi antara Debit Tangki dan Debit sungai.....	58
4.3 Kalibrasi antara debit Model Mock dan debit Cianten.....	60
4.4 Kurva Koreksi Debit Cianten-I (Agustus 2011-Mei 2012)	62
4.5 Debit Rerata Bulanan Historis, Bangkitan, dan Gabungan Sungai Cianten	62
4.6 Probabilitas Debit 10 Harian Transformasi dari Debit Karacak.....	65
4.7 Probabilitas Debit 10 Harian Bangkitan Markov (Tahun 2011 – 2041)	66
4.8 Probabilitas Debit 10 Harian Gabungan (Tahun 1997 – 2041)	66
4.9 Komponen PLTMH	67

BAB 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 Mikrohidro (PLTM) merupakan alternatif sumber energi listrik bagi masyarakat. PLTM 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 (PLTM), 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 ciaten terdapat potensi ketersediaan air yang cukup sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, memiliki kontur yang sesuai dan telah dimanfaatkan untuk PLTM.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana kondisi hidrologi pada PLTM Cianten I?
- b. Berapa biaya konstruksi dan OP pada PLTM Cianten I?
- c. Apa benefit dari pembangunan PLTM Cianten I?
- d. Bagaimana kelayakan dari PLTM Cianten I?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan Tesis ini adalah sebagai berikut:

- a. Lokasi pengambilan data pada PLTM Ciaten I Kabupaten Bogor.
- b. Beberapa parameter yang dianalisa yaitu hidrologi dan kondisi finansial

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penyusunan Tesis ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui kondisi hidrologi pada PLTM Ciaten I
- b. Mengetahui biaya konstruksi dan OP pada PLTM Ciaten I
- c. Mengetahui benefit dari pembangunan PLTM Ciaten I
- d. Mengetahui tingkat kelayakan dari PLTM Ciaten I

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang penting nya pemanfaatan potensi sungai ciaten I.
2. Memberikan masukan pada pihak – pihak terkait perencanaan PLTM melalui evaluasi PLTM Ciaten I

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tesis ini dengan judul ”STUDI KELAYAKAN PLTM CIATEN I KABUPATEN BOGOR DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI”. Sistematika penulisan pokok bahasan penyusunan Tesis ini terdiri dari 5 bab, yaitu antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini menjelaskan segala hal tentang penyusunan laporan dan permasalahan pada lokasi studi kasus. Bab ini berisi sub-bab diantaranya latar belakang laporan, maksud dan tujuan laporan, metode penyusunan laporan, lingkup permasalahan serta sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini membahas tentang landasan teori yang diambil berdasarkan literatur, hasil pengamatan, serta pendapat para ahli dalam lingkup kasus yang sama, serta menggunakan pedoman rumus yang terkait dalam kajian masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini diuraikan mengenai metode penelitian yaitu meliputi garis besar langkah kerja yang digunakan dalam analisis dan pemecahan masalah yang ada.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat karakteristik dan deskripsi data yang terkumpul, hasil penelitian, serta pembahasannya yang bersifat terpadu.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, serta saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 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 sebagai berikut:
 - Sungai permanen-yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap
 - Sungai periodik-yaitu sungai yang pada waktu musim hujan airnya banyak, sedangkan pada musim kemarau airnya sedikit
 - Sungai intermitten atau sungai episodik-yaitu sungai yang mengalirkan airnya pada musim penghujan, sedangkan pada musim kemarau airnya kering
 - 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

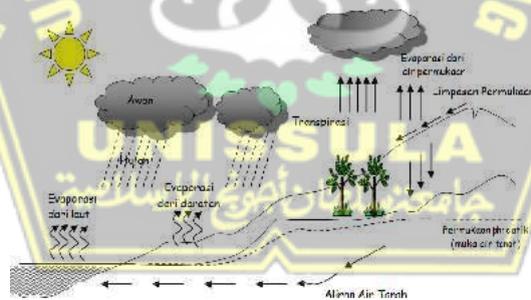
daerah pengaliran. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi. Daerah pengaliran, topografi, tumbuh-tumbuhan dan geologi mempunyai pengaruh terhadap debit banjir, corak banjir, debit pengaliran dasar dan seterusnya.

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.



Gambar 2.1. 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.
- Aliran Air Penguapan, yaitu proses perubahan air menjadi uap air dengan bantuan
- 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 daerah 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 :

- Curah hujan yang tinggi, hujan yang efektif (tinggi) tidak saja menyebabkan aliran yang kuat, tetapi juga bertambah banyaknya jumlah aliran sungai yang permanen
- Tanah-tanah porus yang dalam dan banyaknya tumbuhan yang tumbuh cenderung menyerap air hujan dan mengurangi aliran permukaan (*run- off*)
- Daerah yang terdiri dari batu gamping serta aliran bawah permukaan (bawah tanah) tidak menyebabkan terdapatnya aliran permukaan
- Daerah arid dengan vegetasi yang kurang menentukan aliran sungai, baik volume, jumlah air , maupun keadaan permanen aliran yang minimum
- 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 :

a. 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 permukaan kulit bumi akibat pelapukan.

b. 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 jatuhnya 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 2.1. 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)

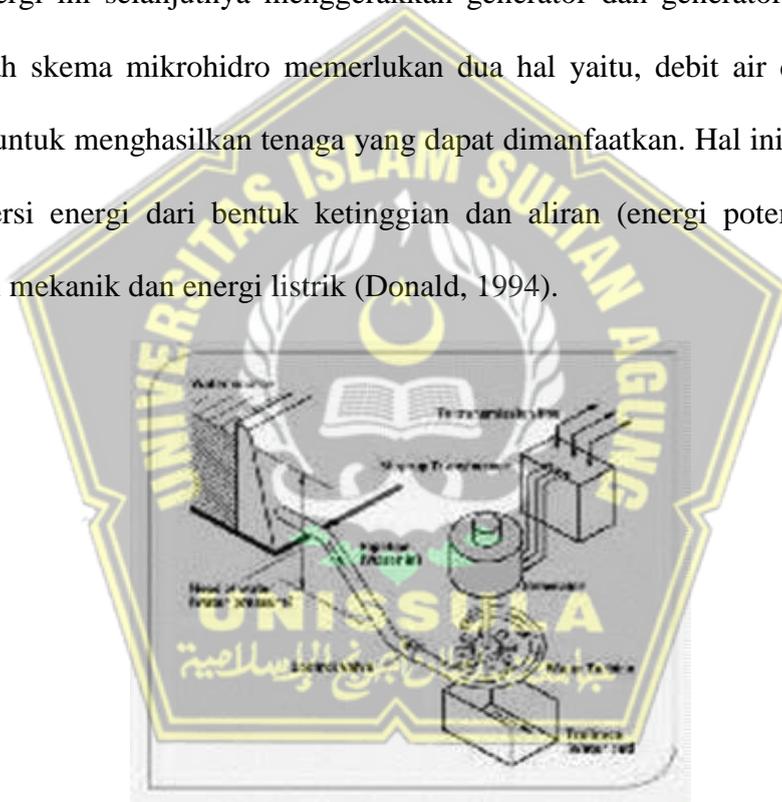
Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai berikut:

- 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

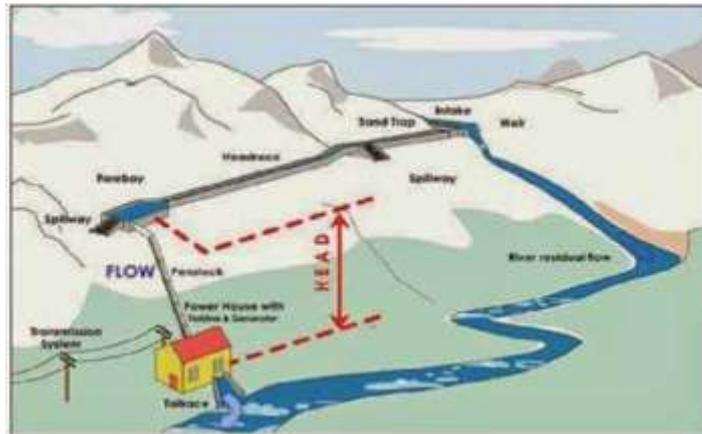
2.7. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

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).



Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTMH

2.8. Komponen-komponen PLTMH



Gambar 2.3. 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)*

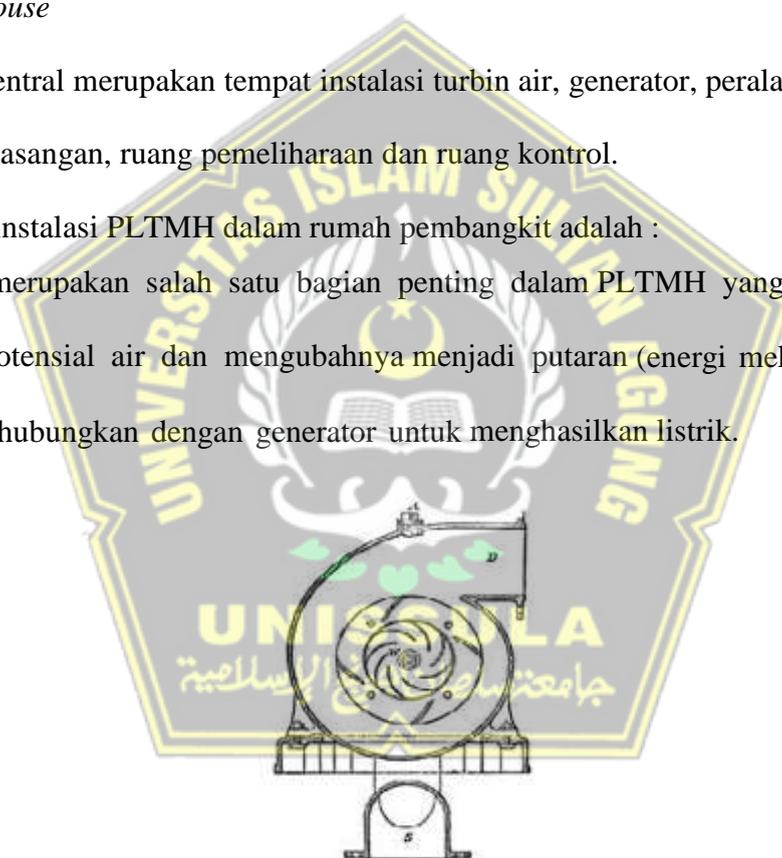
Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

➤ *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.



Gambar 2.4. 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.

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 :

- a. Pengukuran di lapangan (di lokasi yang ditetapkan)
- b. Berdasarkan data debit dari stasiun di dekatnya
- c. Berdasarkan data hujan
- d. 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 dilokasi 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 pemeliharannya 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 jatuhnya 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 jatuhnya air (*head*) tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada tinggi jatuhnya air (*head*) rendah. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan tinggi jatuhnya 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 (Ns)

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

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_{efs}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

Ns = Kecepatan spesifik turbin (rpm)

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)

Hefs = Tinggi jatuh efektif (m)

P = Daya turbin output (Hp)

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

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

P = daya turbin (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Q = debit air (m³/s)

g = gaya grafitasi (m/s²)

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 2.2 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 2.3. 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:

$$Q = A.V \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

$$Q = \text{Debit } (m^3/s)$$

$$A = \text{Luas bagian penampang basah } (m^2)$$

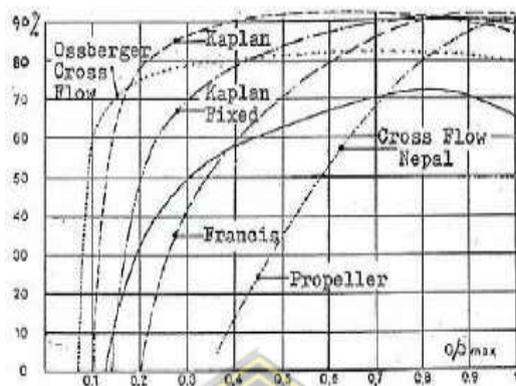
$$V = \text{Kecepatan aliran rata-rata } (m/s)$$

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 2.5. Grafik efisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel

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:

- Jaringan hidrologi di seluruh DAS
- 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 jangkauan 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 pemasangan 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*).

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 :

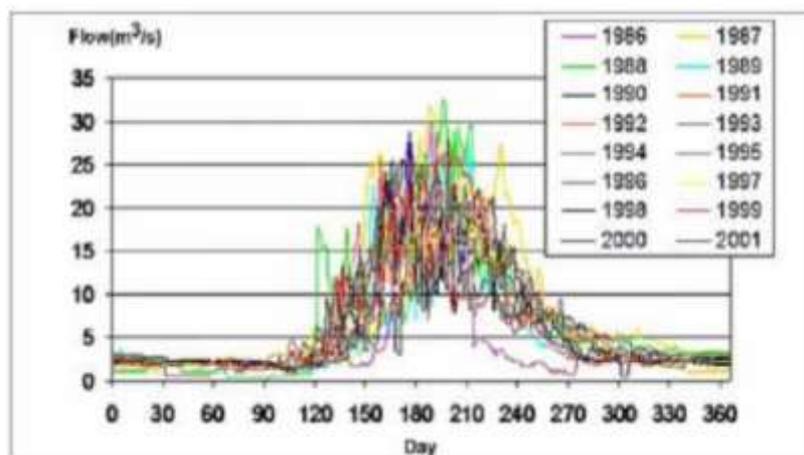
1. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
2. Menentukan luas pengaruh daerah stasiun-stasiun penakar hujan sungai.

3. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada
4. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.
5. Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana diatas pada periode ulang T tahun

- Analisis *Flow Duration Curve* (FDC)

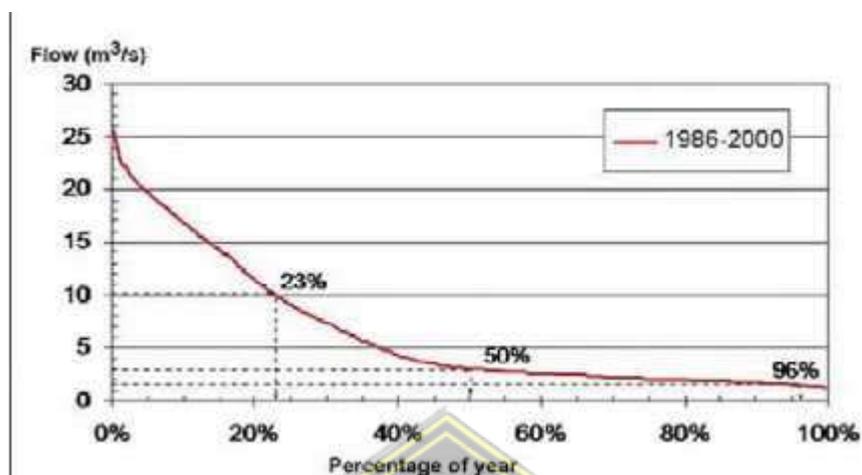
Analisis FDC adalah sebuah teknik plot yang menunjukkan hubungan antara nilai dari sebuah besaran dengan frekuensi terjadinya. Informasi penting yang diberikan oleh FDC adalah debit aliran yang melewati lokasi tertentu dan dalam rentang waktu tertentu akan bermanfaat untuk merancang struktur PLTMH yang 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 2.6. Hidrograf dari data sepanjang 16 tahun

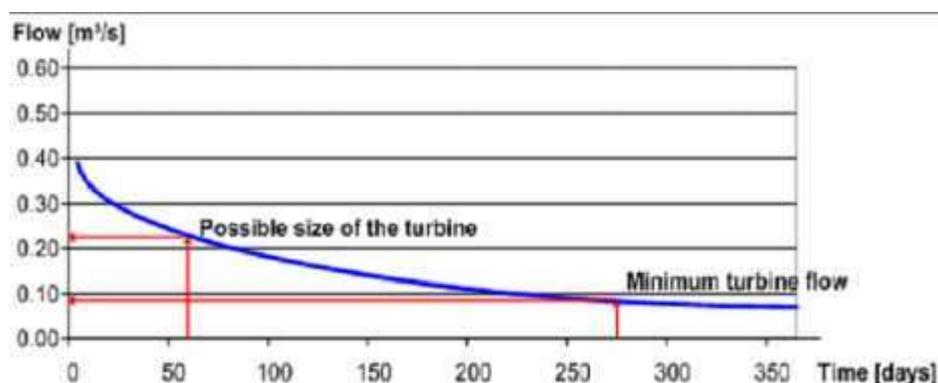
Gambar 6. menunjukkan debit air sungai harian yang diukur dalam periode enam belas tahun. Data di atas merupakan data yang ideal. Namun, faktanya lapangan menunjukkan bahwa data yang ideal jarang ada.



Gambar 2.7. Flow Duration Curve (Kurva Durasi Debit Air)

Flow Duration Curve (FDC) disusun dengan mengelompokkan data debit berdasarkan besar debatnya 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 2.8. 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.

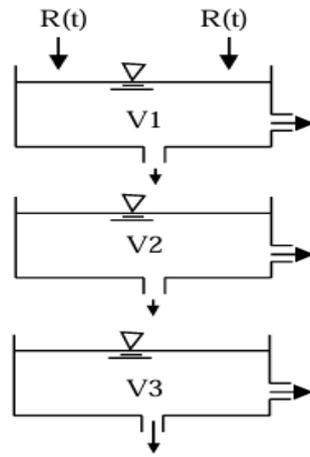
- Perhitungan Debit Andalan (*Low Flow Analysis*)

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. Analisis Model Tangki

Model simulasi yang digunakan untuk mengestimasi debit dalam studi ini adalah menggunakan Model Tangki yang dikembangkan oleh Dr. Sugawara (Soemarto, 1987).

Model Tangki adalah untuk meniru (simulate) daerah aliran sungai dengan mengganti sejumlah tampungan yang digambarkan dengan sederet tangki. Model ini dikembangkan oleh Dr. Sugawara. Sebagai contoh kita tinjau model dibawah ini :



Gambar 2.9. Model Tangki

Curah hujan yang jatuh pada suatu waktu $R(t)$ akan mengisi tangki paling atas $V1$. Air yang tertampung pada tangki $V1$ mengalir lewat lubang di dinding kanan atau merembes lewat lubang di dasar tangki dan masuk mengisi tangki $V2$ dalam tahap kedua.

Air yang tertampung pada tangki $V2$ akan mengalir lewat lubang-lubang di dinding ataupun merembes lewat dasar tangki, dan masuk ke tangki ketiga pada tahap ketiga.

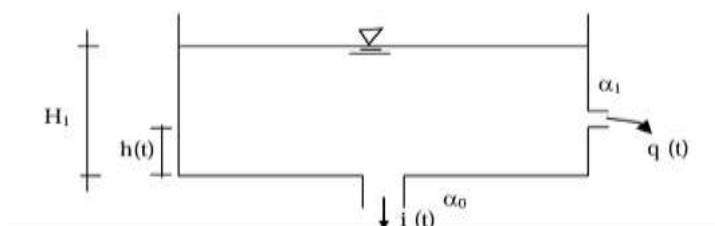
Proses ini berulang hingga tahap selanjutnya. Air yang mengalir lewat dinding tangki akan menghasilkan limpasan, sedangkan yang merembes melewati dasar tangki merupakan infiltrasi. Besarnya limpasan yang keluar dari tangki (mm/hari) sebanding dengan tinggi air (mm) dalam tangki yang bersangkutan (storage depth) $h(t)$ diatas lubang.

Limpasan $q(t)$ dirumuskan sebagai berikut :

$$q(t) = h(t) \cdot \alpha(t) \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

α = koefisien lubang



Gambar 2.10. Model Tangki Limpasan

Selanjutnya tangki tersebut tidak akan mengalirkan air sebelum tinggi air melewati $h1$.

Oleh karena itu H_1 merupakan kehilangan permulaan atau kekurangan retensi kelengasan (moisture). Hubungan antara $q(t)$ dengan $h(t)$ dan $i(t)$ dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q(t) = \{ h(t) - H_1 \} \cdot \alpha \dots\dots\dots(2.5)$$

$$I(t) = h(t) \cdot \alpha_o \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada proses simulasi jumlah hujan diisikan pada tangki teratas dan air yang keluar dari lubang bawah kemudian ditampung oleh tangki kedua, dengan proses yang sama diulang untuk tangki ketiga dan seterusnya. Besarnya debit sungai diumpakan sebagai jumlah air yang keluar dari lubang-lubang yang ada pada samping tangki. Kehilangan air karena evapotranspirasi dicari dengan mengurangi evapotranspirasi harian dari tampungan tangki teratas.

2.14. Analisis Ekonomi Teknik

Analisis ekonomi teknik merupakan suatu kajian secara ekonomi apakah suatu ide, sasaran, atau rencana suatu proyek akan dapat diwujudkan dengan porsi yang layak secara ekonomi. (Robert J. Kodoatie, 1995). Yang termasuk kriteria investasi dalam evaluasi proyek:

1. *Net Present Value* (NPV)

Metode Net Present Value digunakan untuk menghitung nilai bersih (netto) pada waktu sekarang (present). Menurut Kasmir dan Jakfar (2003) Net Present Value atau nilai bersih sekarang merupakan selisih antara PV kas bersih dengan PV investasi selama umur investasi. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai Net Present Value adalah :

$$NPV = \left(\frac{P}{(1+i)^t} \right) - C \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

P = Aliran kas masuk

i = Tingkat diskon

t = Periode umur investasi

C = Investasi awal

Menurut Kuswadi (2007), langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan NPV yaitu :

- 1) Menentukan tingkat diskon (discount rate) yang akan digunakan, dalam hal ini dapat dipakai :
 - a. Biaya modal (*cost of capital*)
 - b. Tingkat keuntungan (*rate of return*) yang dikehendaki
 - c. Menghitung present value dari aliran kas dengan tingkat diskon tersebut
 - d. Menghitung NPV menggunakan rumus pada persamaan 3

Hasil dari perhitungan Net Present Value (NPV) terhadap keputusan investasi yang akan dilakukan adalah :

Jika : NPV bernilai positif , maka investasi layak

NPV bernilai negatif , maka investasi tidak layak

Jika : $NPV > 0$, maka investasi layak

$NPV < 0$, maka investasi tidak layak

$NPV = 0$, maka investasi tidak memiliki pengaruh apapun

Selain itu, harus diperhatikan pula apakah nilai NPV yang dihasilkan cukup sesuai dengan modal awal yang telah dikeluarkan dan umur dari investasi tersebut. Hal ini berguna untuk mengetahui apakah investasi yang dijalankan memberikan penambahan yang cukup besar atau tidak.

Penggunaan metode Net Present Value dalam mengetahui kelayakan dari suatu investasi memiliki keunggulan seperti :

- a. Memperhitungkan nilai waktu dari uang (*time value of money*).
- b. Memperhitungkan nilai sisa proyek

Sedangkan kelemahan dari Net Present Value antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Manajemen harus dapat menaksir tingkat biaya modal yang relevan selama usia ekonomis proyek
- b. Derajat kelayakan tidak hanya dipengaruhi oleh kas perusahaan, melainkan juga dipengaruhi oleh faktor usia ekonomis proyek.

2) *Internal Rate of Return (IRR)*

Internal Rate of Return (IRR) adalah suatu tingkat bunga (bukan bunga bank) yang menggambarkan tingkat keuntungan dari suatu proyek atau investasi dalam persentase pada saat dimana nilai NPV sama dengan nol (Kuswadi, 2007). Rumus yang digunakan untuk menghitung IRR yaitu :

$$IRR = i_0 + (i_1 - i_0) \frac{NPV_0}{NPV_0 - NPV_1} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

i_0 = tingkat rate of return

i_1 = tingkat bunga pembanding

NPV_0 = net present value pada i_0

NPV_1 = net present value pada i_1

Cara menghitung nilai IRR menurut Sinaga (2009) adalah sebagai berikut :

- 1) Menghitung arus net cash flow sepanjang umur proyek, ditambah nilai sisa dari aset
- 2) Menentukan tingkat bunga pembanding yang lebih besar dari tingkat *rate of return*, selisih sebaiknya tidak lebih besar dari 5%
- 3) Menghitung nilai IRR menggunakan rumus pada persamaan 4 Sinaga dan Saragih (2013) menjelaskan bahwa kriteria dalam menilai kelayakan suatu usaha atau proyek dari segi Internal Rate of Return adalah sebagai berikut :

Jika : $IRR > \text{rate of return}$, maka investasi layak.

: $IRR < \text{rate of return}$, maka investasi tidak layak dilaksanakan

Adapun keuntungan dari penggunaan *Internal Rate of Return* yang dikemukakan oleh Sinaga (2009), yaitu :

- 1) Dapat mengetahui kemampuan proyek dalam menghasilkan persentase keuntungan bersih rata-rata tiap tahun selama umur ekonomis dari proyek.
- 2) Nilai sisa (salvage value) barang-barang modal diperhitungkan dalam arus benefit/penerimaan.

3) *Benefit Cost Ratio (BCR)*

Metode Benefit Cost Ratio biasanya digunakan pada tahap awal dalam mengevaluasi perencanaan investasi. Menurut Giatman (2006), metode BCR ini memberikan penekanan terhadap nilai perbandingan antara aspek manfaat (benefit) yang akan

diperoleh dengan aspek biaya dan kerugian yang akan ditanggung (cost) dengan adanya investasi tersebut. Rumus umum yang digunakan dalam menghitung nilai Benefit Cost Ratio yaitu :

$$BCR = \frac{Benefit}{Cost} \dots\dots\dots(2.9)$$

Terdapat perbedaan dalam analisis BCR pada proyek pemerintah dan swasta, hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan tujuan dari investasi yang dilakukan. Pada proyek pemerintah, benefit seringkali tidak dapat diukur dengan jelas karena tidak berorientasi pada keuntungan. Dengan kata lain, benefit didasarkan kepada manfaat umum yang diperoleh masyarakat dengan adanya proyek tersebut. Sedangkan pada proyek swasta, benefit didasarkan pada keuntungan yang diperoleh investor dari proyek tersebut.

Untuk menilai kelayakan suatu usaha atau proyek dari segi Benefit Cost Ratio adalah :

Jika : $BCR > 1$, maka investasi layak

$BCR < 1$, maka investasi tidak layak

2.15. 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 :

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \dots \dots \dots (2.10)$$

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:

$$\eta = \eta_h \times \eta_t \times \eta_g \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana :

η_h = efisiensi hidrolik

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.

2.16. Penelitian Sebelumnya

Adapun rangkuman mengenai penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 2.4

No.	Peneliti	Judul	BCR	NPV	IRR	PP
1	Kadek Dwi Damarian	STUDI KELAYAKAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI SUNGAI YEH DIKIS BANJAR LEBAH KABUPATEN TABANAN (2023)	1,47	305.254.944,00	37,8	5,3
2	Muhammad Iqball	ANALISIS STUDI KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) Studi Kasus : PLTM Prukut Sambirata, Kabupaten Banyumas, Purwokerto (2021)	2,61	54.920.000.000,00	26,1	4,54
3	Hardiman Mahendra	STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO (PLTM) SUNGAI AEK SIMONGGO DESA SION KABUPATEN HUMBANG HASUNDUTAN PROVINSI SUMATERA UTARA (2017)	1,47	219.939.156.524,94	18,69	13,6

Berdasarkan rangkuman penelitian terdahulu yang terdapat pada tabel diatas, seluruh

nilai BCR yang didapat lebih dari 1, dan di dapat NPV yang bernilai positif, nilai IRR yang bernilai lebih dari bunga pinjaman, dan PP yang didapat kurang dari umur masing-masing rencana PLTMH.



BAB III

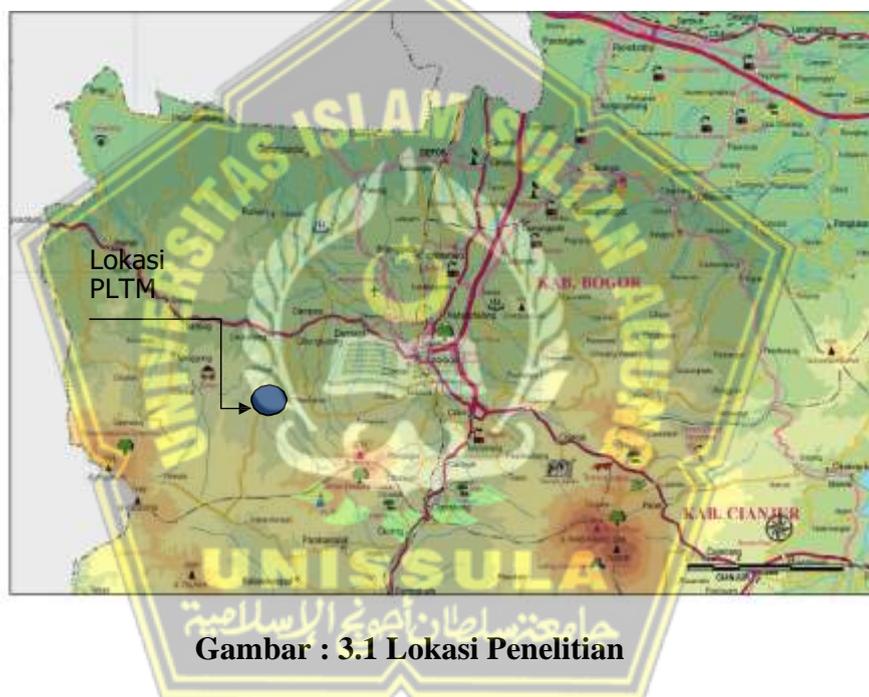
METODE PENELITIAN

3.1 Uraian Kegiatan

Uraian kegiatan terbagi menjadi beberapa tahap dalam pengerjaan yang dijabarkan sebagai berikut :

3.1.1 Identifikasi Masalah

Dari objek studi yang digunakan harus ditentukan masalah yang akan dibahas tentang bagaimana kelayakan PLTM Ciaten I ditinjau dari segi Hidrologi dan Ekonomi dapat dilihat pada Gambar 3.1



3.1.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan Data terbagi menjadi dua yaitu Data Primer dan data Sekunder,

a. Data Primer

Data primer yang dipakai untuk mendukung penelitian ini antara lain:

1. Peta DAS Ciaten
2. Data debit jam – jaman Data hujan tahunan Stasiun Kracak
3. Peta tata guna lahan

b. Data Sekunder

Data sekunder yang dipakai untuk mendukung penelitian ini antara lain:

1. Data luas masing-masing D A S
2. Data perencanaan bangunan sipil

3.1.3 Alat – Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Tali
2. Patok
3. Meteran
4. *Current meter*
5. *Waterpass*

3.2 Tahapan 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 daya yang dihasilkan dari debit sungai. Data Primer digunakan untuk menghitung debit terukur sungai dan debit rencana PLTM Ciaten, sedangkan data sekunder digunakan untuk menghitung debit andalan dengan menggunakan metode FDC (*Flow Duration Curve*)

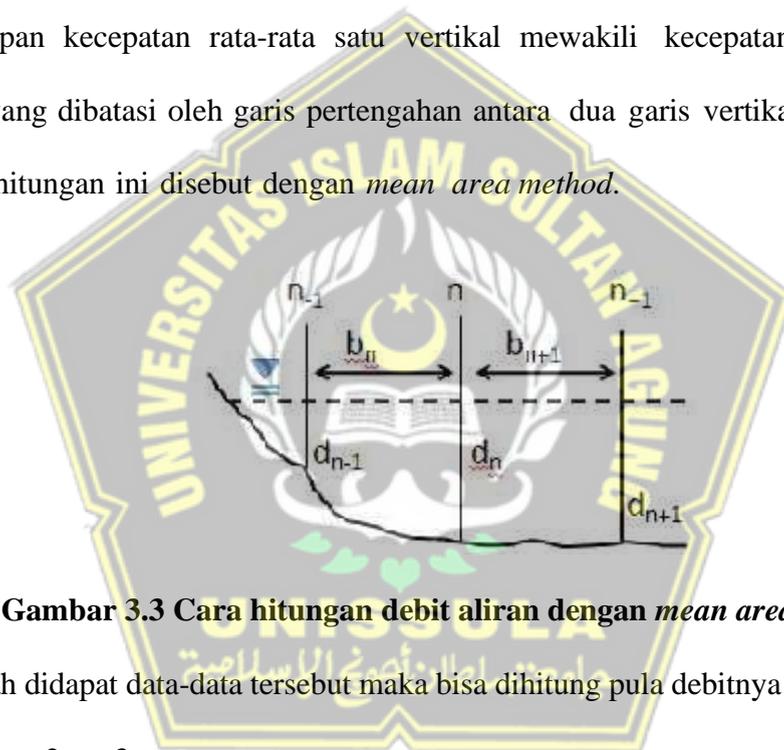
b. Perhitungan Debit Terukur

Untuk mendapatkan data debit, dilakukan pengukuran langsung di lokasi PLTM Ciaten. Metode yang digunakan untuk mengukur debit yaitu dengan membuat patok di kedua sisi tepi sungai. Kemudian mengikat 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 3.2 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 3.3 Cara hitungan debit aliran dengan *mean area method*

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

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \dots \dots \dots (3.1)$$

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 FDz

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 Cianten dan tinggi terjun air efektif serta efisiensi keseluruhan PLTM. Dengan demikian besarnya daya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta_t \times \eta_g \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

ρ = densitas air (kg/m³)

Q = debit air (m³/detik)

h = tinggi terjun air efektif (m)

η_t = efisiensi turbin

η_g = efisiensi turbin

e. Evaluasi PLTM Cianten I

Evaluasi PLTM Cianten I ini dilakukan dengan menghitung adanya penurunan daya terbangkit. Kemudian daya terbangkit yang mengalami penurunan dibandingkan dengan daya terbangkit rencana.

3.3 Analisis Ekonomi

Menganalisis dari segi ekonomi yang ditinjau dari sudut pengguna jalan, Apakah penggunaan PLTM ini layak, dengan menggunakan parameter perhitungan BCR, NPV, dan IRR.

- Perhitungan *Benefit Cost Ratio* (BCR)
Perhitungan terhadap kelayakan rencana pembangunan PLTM Ciaten
- Perhitungan *Net Present Value* (NPV)
Perhitungan untuk mengetahui berapa besar keuntungan pembangunan PLTM Cianten I
- Perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR)

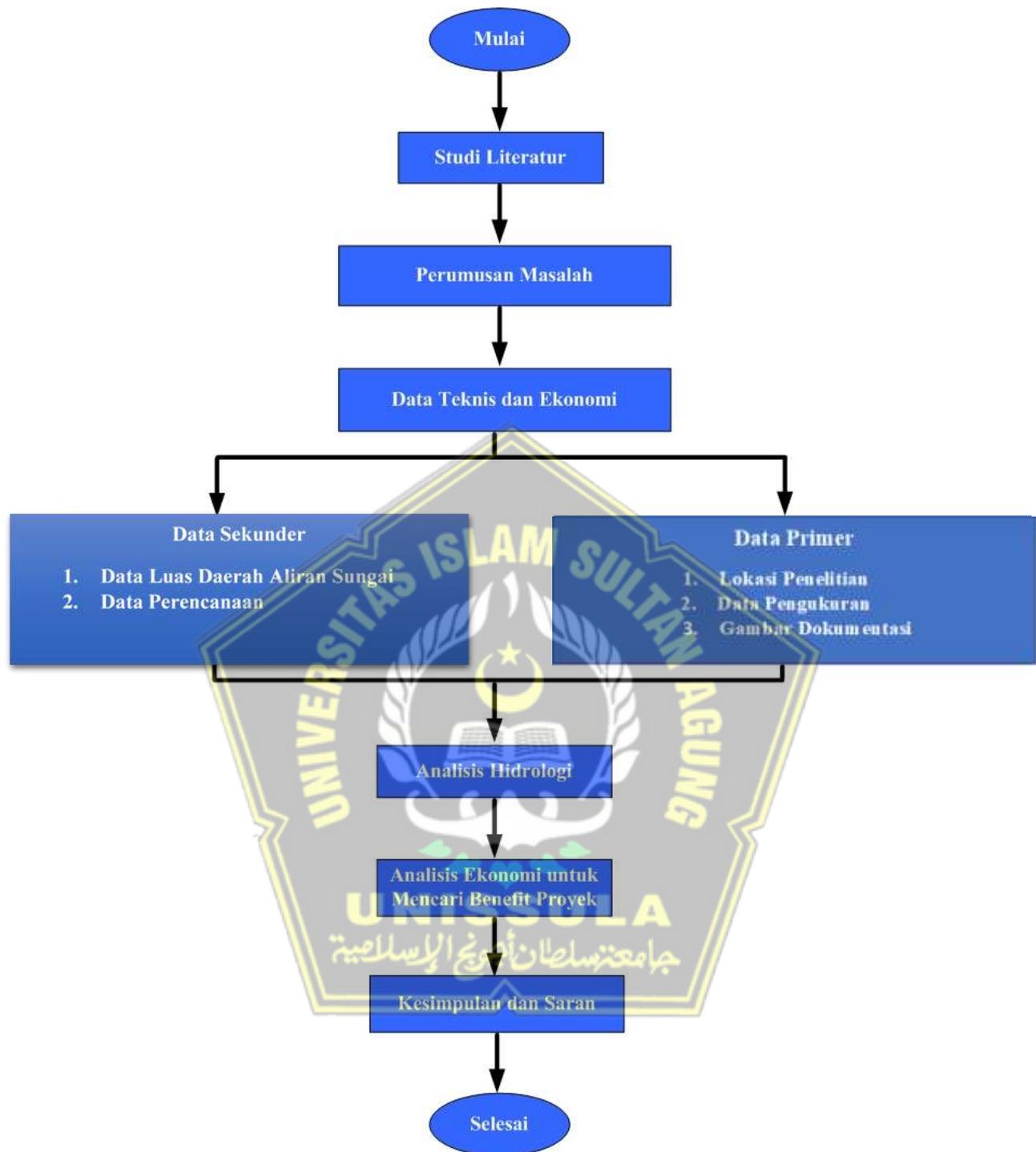
Perhitungan untuk mengetahui tingkat suku bunga pada saat $NPV = 0$ atau $BCR = 1$

- Perhitungan *Break Event Point* (BEP)
Jumlah pendapatan dan biaya sama sehingga tidak terdapat keuntungan atau kerugian dalam pembangunan.

3.4 Bagan Alir

Adapun bagan alir dalam melaksanakan analisa terhadap kelayakan pembangunan PLTM Ciaten dapat dilihat pada Gambar 3.4.





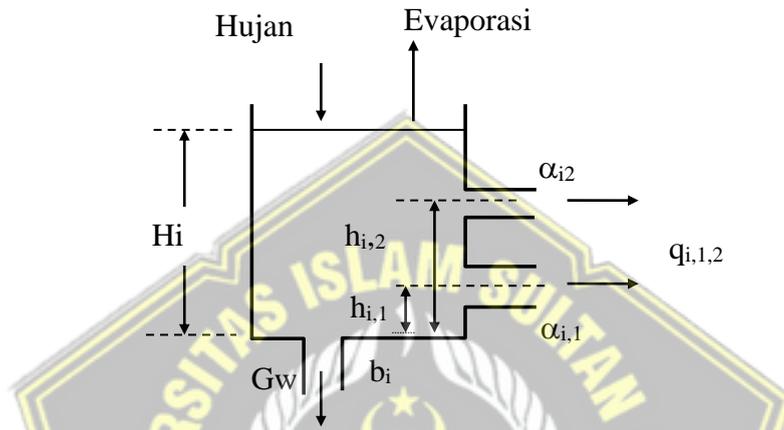
Gambar. 3.4 Bagan Alir

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hidrologi

4.1.1 Parameter dan Kalibrasi Model Tangki

Dari hasil perhitungan model tangki dengan cara uji banding (*trial and error*) maka didapatkan koefisien-koefisien dalam model tangki seperti pada tabel berikut :

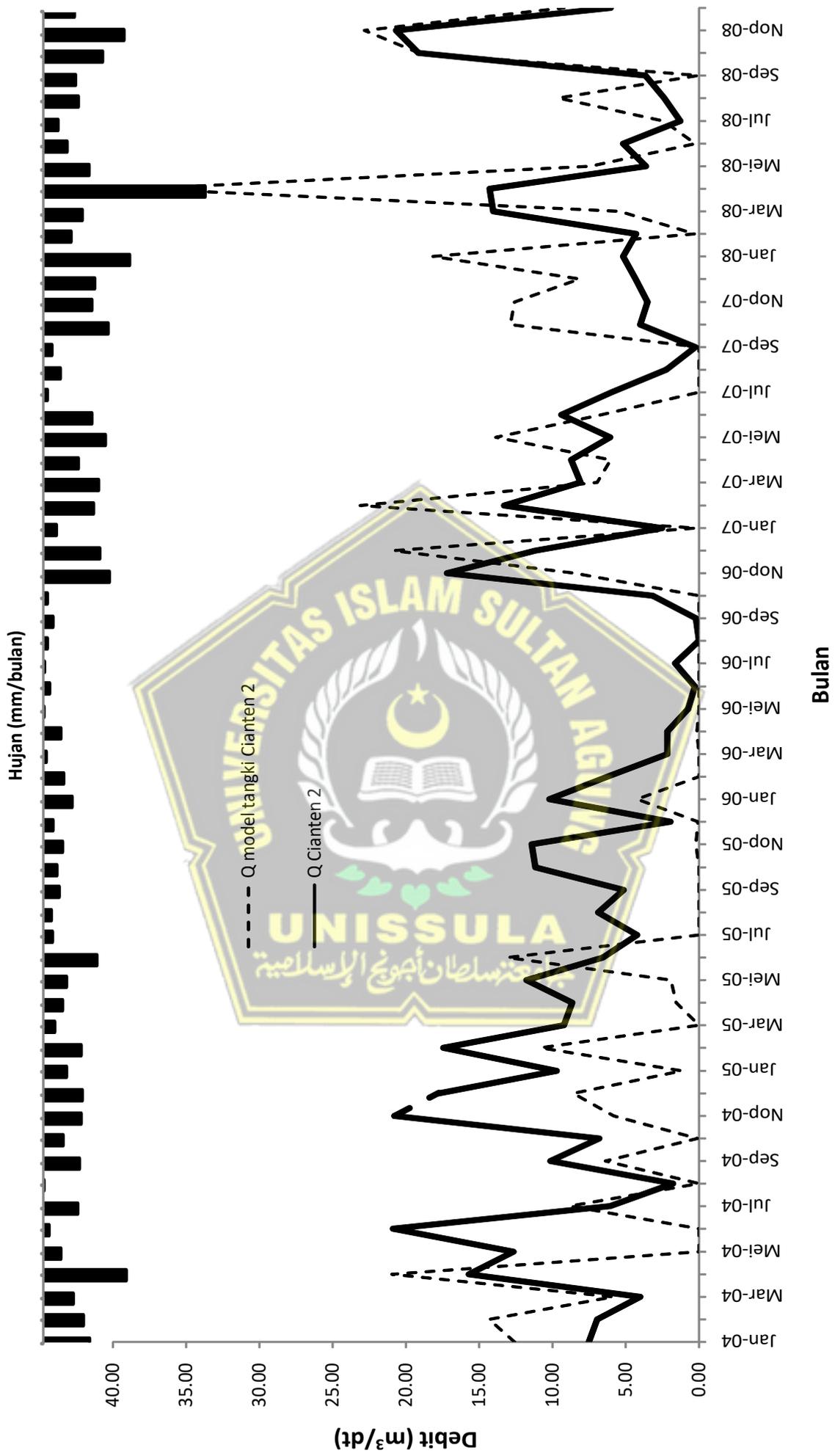


Gambar 4.1 Skema Model Tangki

Tabel 4.1 Parameter dan Koefisien Tangki Sungai Cianten

	tank-1	tank-2	tank-3	tank-4
Hi (m)	0.00	0.00	0.00	0.00
hi,2 (m)	40	0	0	0
α _{i,2}	4.600	0.000	0.000	0.000
hi,1 (m)	24	0	0	0
α _{i,1}	0.800	0.0000	0.000	0.000
bi	0.000	0.000	0.000	0.000

Perbandingan antara debit aktual dan debit hasil simulasi model Tangki ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Dari hasil optimasi parameter kalibrasi model



Dari gambar diatas **nilai korelasi (r)** antara debit simulasi dan pengamatan pada Sungai Cianten adalah **0.45**.

Dilihat pada **Gambar 4.2** korelasi antara debit tangki dan debit sungai hamper relative sama. Hanya saja terjadi perbedaan pada bulan Maret 08 – Mei 08. Dari gambar menunjukkan debit tangki lebih besar.

4.1.2 Parameter dan Kalibrasi Model Mock

Dari hasil perhitungan model Mock dengan cara uji banding (trial and error) maka didapatkan koefisien-koefisien dalam model Mock sebagai berikut :

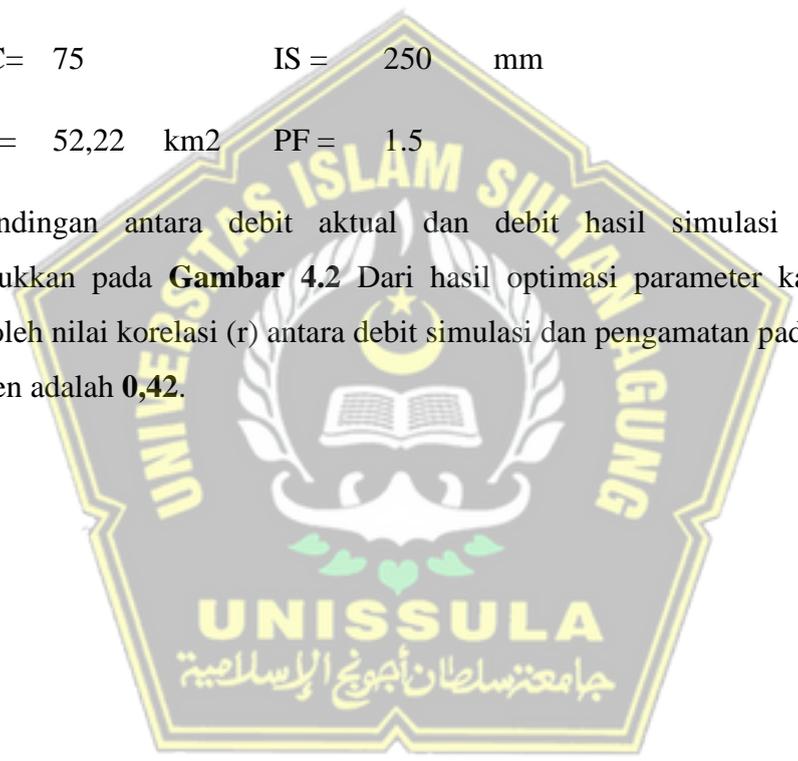
Parameter dan Koefisien Model Mock Sungai Cianten :

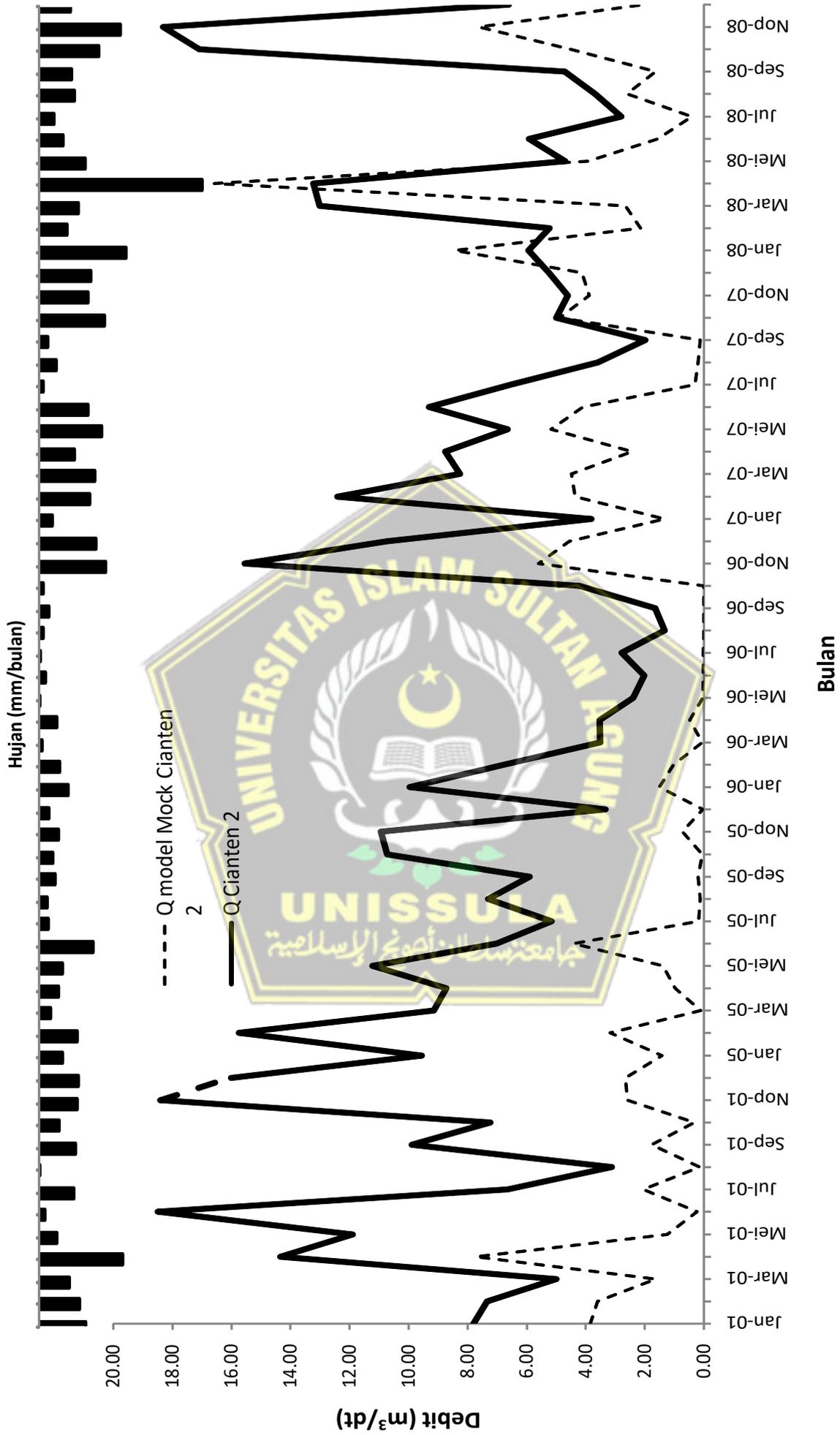
$$k = 0.8 \qquad I = 0,1 \qquad m = 0.00\%$$

$$SMC = 75 \qquad IS = 250 \text{ mm}$$

$$CA = 52,22 \text{ km}^2 \qquad PF = 1.5$$

Perbandingan antara debit aktual dan debit hasil simulasi model Mock ditunjukkan pada **Gambar 4.2** Dari hasil optimasi parameter kalibrasi model diperoleh nilai korelasi (r) antara debit simulasi dan pengamatan pada Sungai Cianten adalah **0,42**.





Dilihat pada Gambar 4.3 Kalibrasi antara debit Model Mock dan debit Cianten terlihat perbedaan yang sangat jauh. Dimana debit Cianten terlihat sangat besar dibandingkan debit Model Mock.

1) Parameter dan Kalibrasi Markov Lag 1

Dari hasil perhitungan model Markov musim ganda didapatkan koefisien-koefisien dalam model Markov Lag 1 sebagai berikut:

(a) Uji Normalitas

Hasil uji normalitas distribusi debit Sungai Cianten dengan menggunakan Uji Chi kuadrat (dengan derajat kepercayaan 95%) memberikan hasil distribusi debit tidak mengikuti distribusi normal. Distribusi debit mengikuti pola distribusi gamma dengan $\alpha = 1$ (distribusi eksponensial)

(b) Parameter Statistik

Parameter statistik debit Sungai Cianten untuk pembangkitan data sintetik secara ringkas parameter statistik rerata S.Sungai Cianten dapat dilihat pada

Tabel 4.2

Table 4.2 Statistik Debit 10 Harian DAS Sungai Cianten

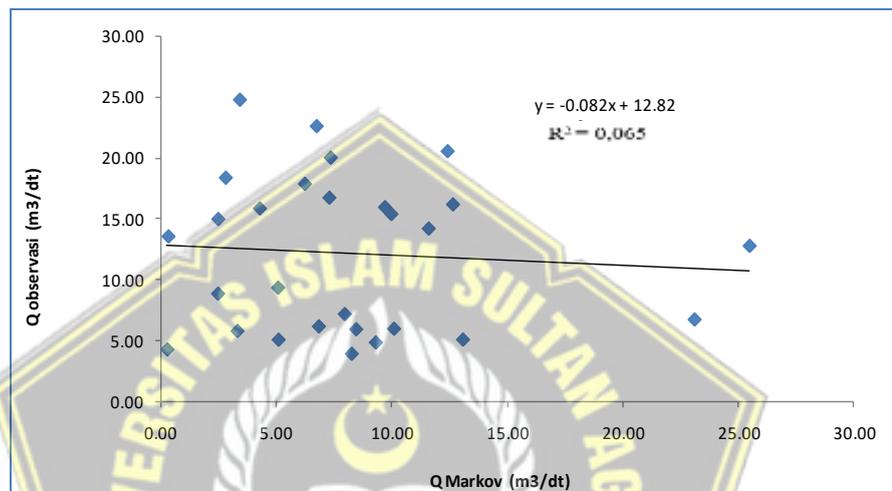
Parameter statistic Sungai Cianten						
		Mean	Std. Dev	Coef. Var	Coef. Skew	Ser. Cor
Rata-rata harian	10	7.29	9.69	1.42	1.68	0.08

(c) Parameter Bilangan Random

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa pola distribusi debit Sungai Cianten tidak mengikuti pola distribusi normal tetapi mengikuti pola distribusi gamma. Berdasarkan hasil uji tersebut, maka pembangkitan bilangan random mengikuti pola distribusi gamma.

(d) Koreksi Debit Bangkitan Tahun 2011-2012

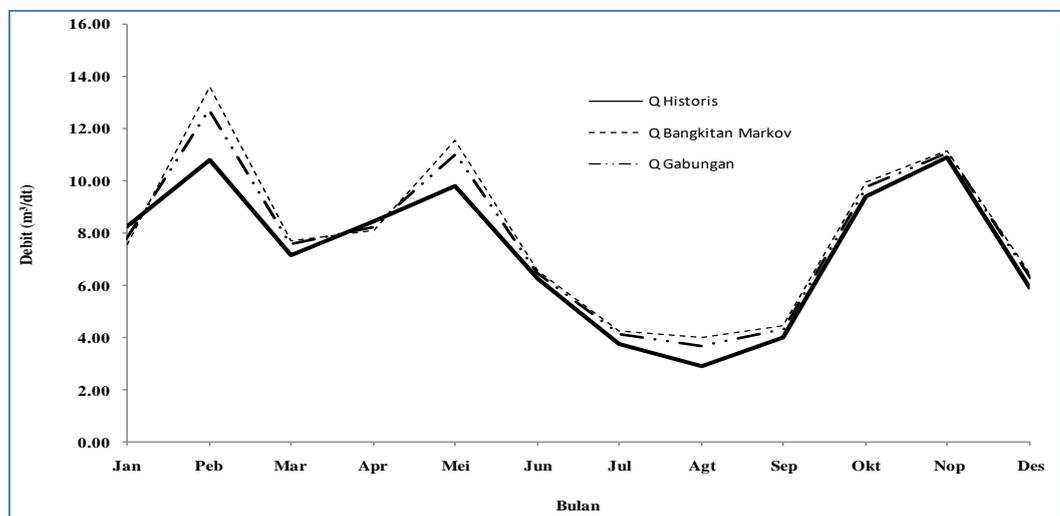
Untuk memperbaiki *flow duration curve* pada debit bangkitan Sungai Cianten, dilakukan analisa simulasi prediksi dengan membandingkan data bangkitan Markov pada Cianten 1 dengan data pengamatan aktual di peilschaal Cianten-I pada periode yang sama (bulan Agustus 2011 – Mei 2012). Hubungan kedua debit tersebut dinyatakan sebagai berikut:



Gambar 4.4 Kurva Koreksi Debit Cianten-I (Agustus 2011-Mei 2012)

(e) Hasil Pembangkitan Debit

Hasil pembangkitan debit rata-rata bulanan dapat dilihat pada **Gambar 4.4**. Untuk pembangkitan data debit 10 harian (tahun 2011 – 2041) dapat dilihat pada gambar :



Gambar 4.5 Debit Rerata Bulanan Historis, Bangkitan, dan Gabungan Sungai Cianten

Dilihat pada **Gambar 4.5** Q Bangkitan Markov hampir sama dengan Q gabungan. Dan terlihat tidak jauh beda dengan Q historis.

(f) Uji Sifat Statistik Debit Historis Terhadap Debit Bangkitan

Dua sifat statistik yaitu mean dan varian diuji. Uji inferensi statistik nilai varian dengan uji F, sedangkan uji nilai mean dengan uji t. Hasil uji sifat statistik debit historis dan debit bangkitan S.Sungai Cianten adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Pengujian Inferensi Statistik Nilai Varian dengan Uji F Debit Historik dan Debit Bangkitan Sungai Cianten

Bulan	F-hitung	F-Kritis	Ho
Januari	1.335	2.100	diterima
Pebruari	1.168	2.100	diterima
Maret	1.065	2.100	diterima
April	0.884	2.100	diterima
Mei	0.886	2.100	diterima
Juni	0.993	2.100	diterima
Juli	1.523	2.100	diterima
Agustus	0.863	2.100	diterima
September	1.087	2.100	diterima
Oktober	0.910	2.100	diterima
Nopember	1.165	2.100	diterima
Desember	1.124	2.100	diterima

Pengujian pada derajat kepercayaan 5% untuk:

$$dk_1 = 13 \quad dk_2 = 30$$

**Tabel 4.4 Pengujian Inferensi Statistik Nilai Rerata dengan Uji t
Debit Historik dan Debit Bangkitan Sungai Cianten**

Bulan	t-hitung	t-Kritis	Ho
Januari	0.406	1.960	diterima
Pebruari	0.726	1.960	diterima
Maret	0.415	1.960	diterima
April	0.290	1.960	diterima
Mei	0.675	1.960	diterima
Juni	0.359	1.960	diterima
Juli	0.537	1.960	diterima
Agustus	0.715	1.960	diterima
September	0.444	1.960	diterima
Oktober	0.337	1.960	diterima
Nopember	0.298	1.960	diterima
Desember	0.468	1.960	diterima

Pengujian pada derajat kepercayaan 5%

(g) Koreksi Debit *Base Flow*

Analisa base flow dihitung berdasarkan rata-rata tahunan aliran minimum 10 harian. Hasil analisa menghasilkan besaran base flow = 2,22 m³/dt.

(h) Analisis Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam prosentase tertentu, misalnya 90%, 80% atau nilai prosentase lainnya, sehingga dapat dipakai untuk kebutuhan pembangkitan. Debit andalan pada umumnya dianalisis sebagai debit rata-rata untuk periode 10 hari, setengah bulanan atau bulanan. Kemungkinan tak terpenuhi dapat ditetapkan 20%, 30% atau nilai lainnya untuk menilai tersedianya air berkenaan dengan kebutuhan pengambilan (IMIDAP, 2009).

Untuk mengetahui debit andalan, dalam studi ini dilakukan dengan analisa *Flow Duration Curve* (FDC). *Flow duration curve* dilakukan dengan cara data debit pencatatan pos duga muka air untuk jangka waktu tertentu disusun dari angka terbesar hingga terkecil dan tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull :

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan:

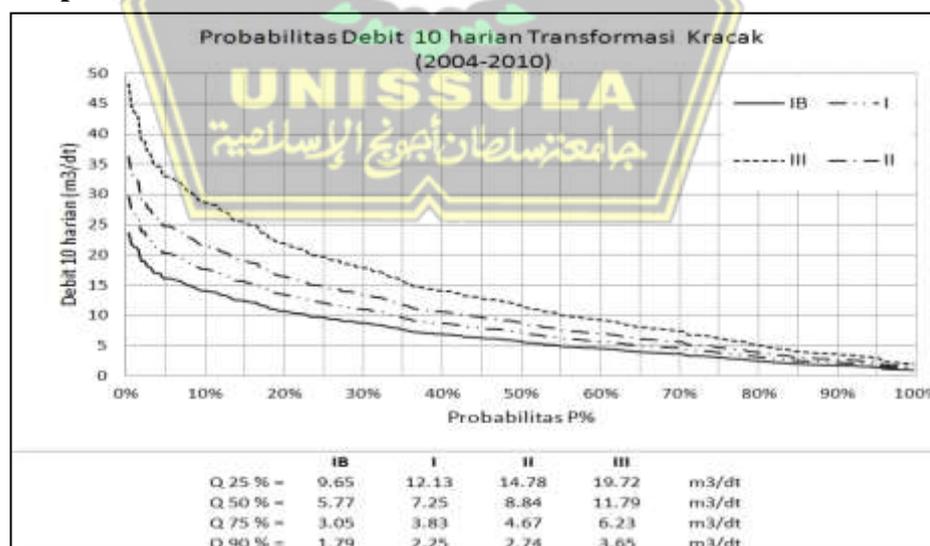
m = nomer urut data

n = jumlah data

Untuk dasar debit 10 harian dikarenakan kondisi sungai tidak boleh kering ketika air pada sungai diambil ke intake sehingga harus ada aliran minimumm yaitu Q10.

Untuk perhitungan debit andalan dapat dihitung dengan beberapa metode yaitu *Mj mock*, Neraca, model tangki dll. Kemudian disusun menjadi presentase (*Flow Duration Curve*) dan diambil Q10.

Hasil analisa debit andalan untuk Sungai Cianten dapat dilihat pada **Gambar 4.5** sampai **Gambar 4.7**.



Gambar 4.6 Probabilitas Debit 10 Harian Transformasi dari Debit Karacak

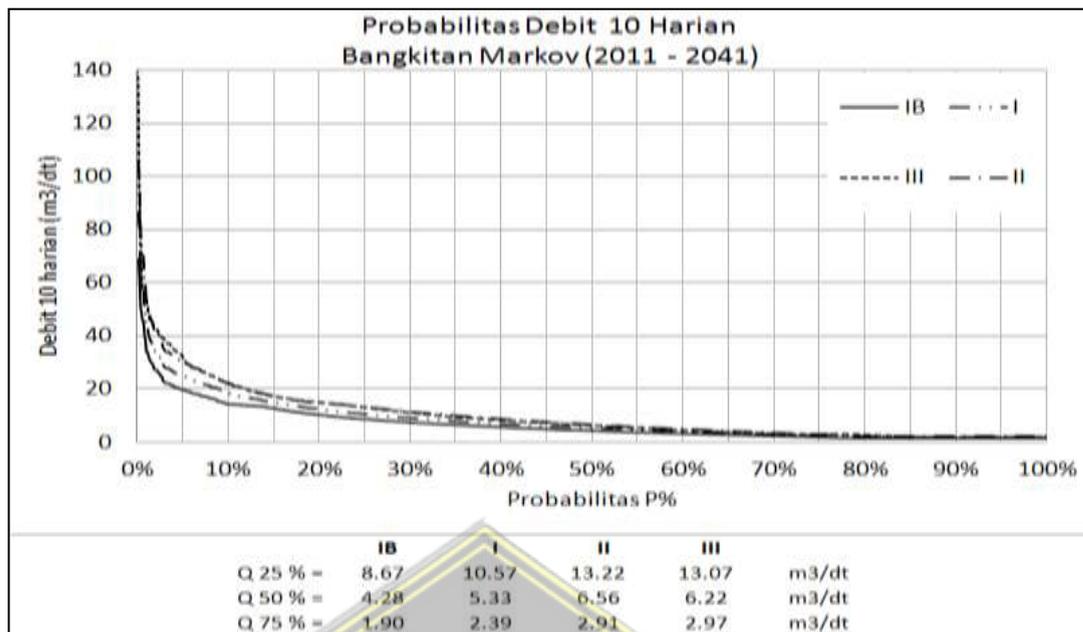
Debit Andalan :

Q 25% = 12,13 m3/det

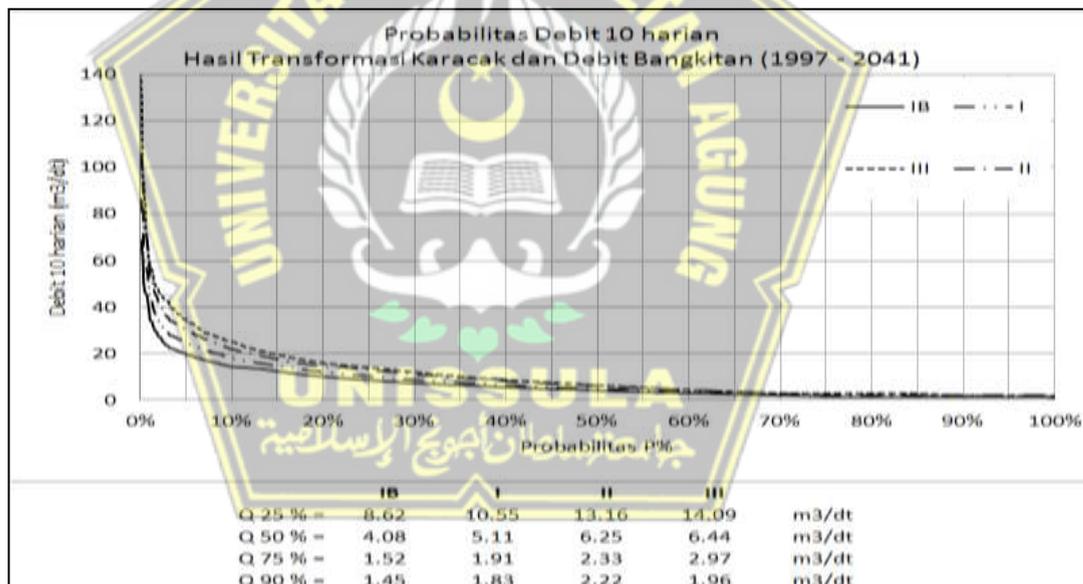
Q 50% = 7,25 m3/det

Q 75% = 3,83 m3/det

Q 90% = 2,25 m3/det



**Gambar 4.7 Probabilitas Debit 10 Harian Bangkitan Markov
(Tahun 2011 – 2041)**



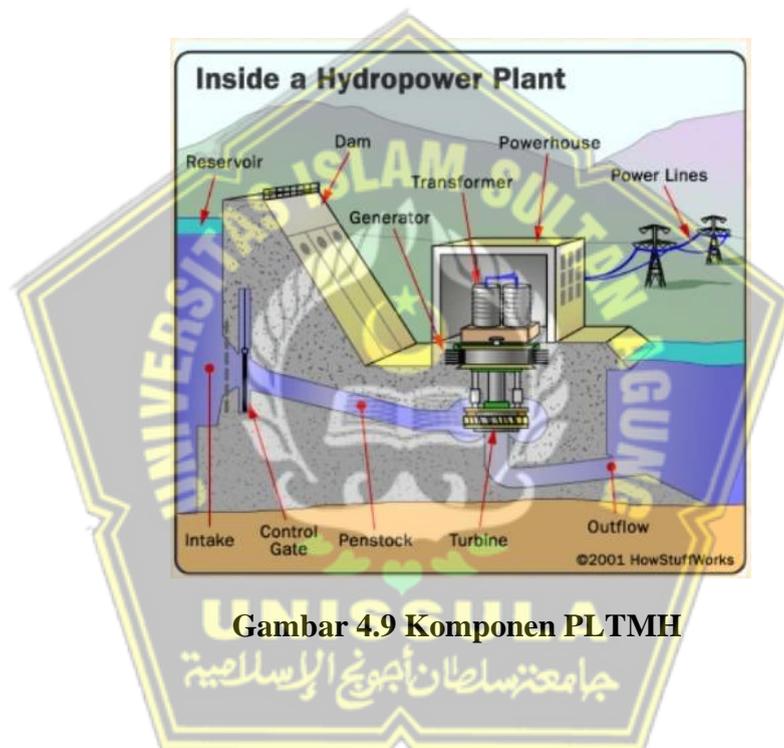
**Gambar 4.8 Probabilitas Debit 10 Harian Gabungan
(Tahun 1997 – 2041)**

Pada **Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7** merupakan penjabaran detail dari **Gambar 4.4**. Pada **Gambar 4.5** merupakan grafik Probabilitas Debit 10 Harian Transformasi dari Debit Karacak dimana debit andalan $Q_{25\%} = 12,13$ m³/det, $Q_{50\%} = 7,25$ m³/det, $Q_{75\%} = 3,83$ m³/det, $Q_{90\%} = 2,25$ m³/det. Sedangkan pada **Gambar 4.6** merupakan grafik Probabilitas Debit 10 Harian Bangkitan

Markov Tahun 2011-2041. Dan **Gambar 4.7** adalah grafik Probabilitas Debit 10 Harian Gabungan.

4.1.3 Komponen PLTMH Cianten I

Perencanaan dasar mencakup rencang dasar bangunan sipil, peralatan hidromekanikal, peralatan pembangkit, dan jalan akses (*Acces Road*). Bangunan utama PLTM Cianten I direncanakan dengan *tipe run off river* (ROR) dimana terdiri dari bangunan sipil peralatan mikrohidromekanikal dan peralatan elektromekanikal.



Gambar 4.9 Komponen PLTMH

4.2 Biaya Konstruksi dan OP

4.2.1 Umum

Pengembangan fasilitas kelistrikan yang berbasis pada potensi alam yang terbarukan merupakan suatu tuntutan dan tantangan dalam kondisi pencapaian pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Sebagai salah satu faktor penting pendorong pertumbuhan ekonomi suatu daerah, sarana kelistrikan merupakan kebutuhan dasar dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Analisis finansial pada proyek pekerjaan studi kelayakan PLTM Cianten I, yang memanfaatkan potensi Sungai Cianten di Kabupaten Bogor Propinsi Jawa Barat ini, diharapkan dapat memberikan gambaran kelayakan proyek yang berbasis pada nilai-nilai moneter kepada investor PLTM.

4.2.2 Biaya Proyek

Estimasi biaya proyek PLTM Cianten I adalah sebesar Rp. 41.224.102.840,- (empat puluh satu milyar dua ratus dua puluh empat juta seratus dua ribu delapan ratus empat puluh rupiah). Rekapitulasi biaya proyek dapat dilihat dalam **Tabel 4.7**.

4.2.3 Jadwal Pendanaan Proyek

Jadwal pendanaan proyek akan disesuaikan dengan progres pekerjaan yang mengacu pada metode pelaksanaan proyek. Secara detail jadwal pendanaan proyek ini sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.5 Rincian dan Disbursement Biaya PLTM Cianten I

No.	Uraian Pekerjaan	Total Biaya dg pajak (Rp)	Tahun Ke-1 (Rp)	Tahun Ke-2 (Rp)
A	BIAYA PEMBEBASAN TANAH	2,300,000,000	2,300,000,000	-
B	BIAYA LANGSUNG / BIAYA KONSTRUKSI	36,040,835,965	30,491,568,138	5,549,267,826
I	Pekerjaan Persiapan	2,564,576,300	2,564,576,300	-
II	Pekerjaan Sipil	23,976,259,665	22,226,991,838	1,749,267,826
	2.1. Pekerjaan weir dan Intake	4,906,900,587	4,906,900,587	-
	2.2. Pekerjaan waterway	6,535,744,502	6,535,744,502	-
	2.3. Pekerjaan headpond	887,518,677	887,518,677	-
	2.4. Pekerjaan Penstock	2,923,358,524	2,777,190,598	146,167,926
	2.5. Pekerjaan Powerhouse	4,150,999,001	3,735,899,100	415,099,900
	2.6. Pekerjaan Tailrace	490,496,375	490,496,375	-
	2.7. Pekerjaan Overhead Crane	2,101,242,000	2,101,242,000	-
	2.8. Pekerjaan Transmisi	1,980,000,000	792,000,000	1,188,000,000
IV	Peralatan Pembangkit Listrik	9,500,000,000	5,700,000,000	3,800,000,000
C	BIAYA TIDAK LANGSUNG	2,883,266,877	2,439,325,451	443,941,426
1	Biaya layanan Engineering (FS, DED dan Suverpisi) 3% dari biaya konstruksi	1,081,225,079	914,747,044	166,478,035
2	Biaya konstruksi tak terduga 5% dari biaya konstruksi	1,802,041,798	1,524,578,407	277,463,391
D	TOTAL BIAYA PROYEK DILUAR PPn (A + B + C)	41,224,102,842	35,230,893,589	5,993,209,252
E	TOTAL BIAYA PROYEK	41,224,102,842	35,230,893,589	5,993,209,252
	Proporsi Biaya Proyek /Tahun	100%	85%	15%
	Proporsi Dana Pinjaman /Debt	70%	24,661,625,513	4,195,246,477
	Proporsi Modal Sendiri /Equity	30%	10,569,268,077	1,797,962,776

Sumber : Data primer yang diolah (2019)

4.2.4 Biaya Operasional Dan Pemeliharaan

Komponen biaya produksi meliputi biaya overhead & maintenance yang didasarkan pada pertimbangan biaya produksi yang terjadi pada perusahaan sejenis. Biaya OP termasuk pula pajak air senilai Rp. 10,00 per KWh. Biaya OP terdiri atas Biaya OP Tahunan, Biaya OP 5 Tahunan, dan Biaya OP 10 Tahunan dengan asumsi kenaikan nilai sebesar 10% berdasarkan nilai manfaat pada PLTM Cianten I yang diproyeksikan akan mengalami kenaikan per 10 tahun.

Rincian dan besarnya biaya OP pada PLTM Cianten I dapat dilihat pada **Tabel**

4.8

Tabel 4.6 Biaya OP PLTM Cianten I

No. ID Kelompok (1)	Tahap (2)	Pekerjaan Sipil/Gedung/M&E (3)	Komponen (4)	Q'ty (5)	Satuan (6)	Biaya Langsung (7)	Tambahan Lump Sum (8)	Total (Rp) (9)	
I	Operasional	Gedung Power house, Headpond, Saluran, Jalan	- Engineer S1 : 1 (Sipil)	1	Org/Th	60.000.000		60.000.000	
			- Operator D3 : 1 (Sipil)	1	Org/Th	36.000.000		36.000.000	
		Peralatan Hidromekanikal	- Engineer S1 : 1 (Mekanikal)	1	Org/Th	60.000.000		60.000.000	
			- Operator D3 : 1 (Mekanikal)	1	Org/Th	36.000.000		36.000.000	
		Peralatan Pembangkit Listrik	- Engineer S1 : 1 (Elektrikal)	1	Org/Th	60.000.000		60.000.000	
			- Operator D3 : 1 (Elektrikal)	1	Org/Th	36.000.000		36.000.000	
			- Operator D3 : 1 (Elektrikal)	1	Org/Th	36.000.000		36.000.000	
		Pengolahan Data, Laporan	- Administrator	1	Org/Th	36.000.000		36.000.000	
			- Assisten Adm	1	Org/Th	24.000.000		24.000.000	
		II	Pemeliharaan	Gedung Power house, Headpond, Saluran, Jalan	0.50% Pek. Sipil	0.50%		23.976.259.665	
Peralatan Elektromekanikal	0.5% Pek. Pembangkit Listrik			0.50%		9.500.000.000		47.500.000	
Biaya O/P Tahunan								551.381.298	
III	Perbaikan Berkala	Peralatan Hidromekanikal dan Elektrikal I. Lima tahunan II Sepuluh tahunan	Biaya O/P Berkala						
			I. Lima tahunan					237.500.000	
IV	Pajak Air	Pajak Air Total biaya (Pajak Air * Energi Tahunan)	Biaya Pajak Air (Rp/KWh) Energi Tahunan (KWh)					10 11.865.011	
									118.650.106
Total Biaya OP Tahunan							(I+II + IV)	670.031.405	
Total Biaya OP 5 Tahunan							(I+II+III+IV)	907.531.405	
Total Biaya OP 10 Tahunan							(I+II+III+IV)	1.145.031.405	

Sumber : Data primer yang diolah (2019)

4.3 Benefit (Manfaat Proyek)

Manfaat dalam analisis proyek berupa manfaat langsung (*Direct Benefit*) dan manfaat tidak langsung (*Indirect Benefit*). Manfaat langsung adalah manfaat yang dapat dirasakan dan dapat diukur sebagai akibat adanya investasi. Manfaat yang dimasukkan atau diperhitungkan dalam analisis proyek adalah manfaat yang dapat dihitung/didiskuantifikasikan (*Tangible Benefit*), sedangkan manfaat yang tidak dapat dihitung (*Intangible Benefit*) dimasukkan/diperhitungkan sebagai manfaat yang perlu diperhatikan dalam pengambilan keputusan layak atau tidaknya suatu proyek.

Berdasarkan hasil perhitungan produksi energi 1 tahun dengan diperkirakan PLTM beroperasi selama 20 tahun dengan harga per kWh untuk energi listrik daerah cianten yaitu Rp. 656,00 /kWh. Dan penggunaan listrik dalam 1 tahun yaitu 11.865.011

kWh. Didapatkan nilai manfaat Untuk PLTM Cianten I ini sebesar Rp. 7.783.446.979,00 per tahunnya.

4.4 Analisis Kelayakan

- $NPV = \text{Benefit (Manfaat)} - \text{Cost (biaya)}$(4.1)

Dimana :

Benefit = Keuntungan

Cost = Biaya pembangunan PLTM dan biaya Pemeliharaan

Berdasarkan kriteria ini dapat dikatakan bahwa proyek layak dikerjakan jika nilai $NPV > 0$, sementara jika nilai $NPV < 0$ artinya proyek tidak layak dan jika nilai $NPV = 0$ artinya tingkat pengembaliannya setara dengan suku bunga patokan (bank) atau dapat dikatakan bahwa proyek mengembalikan dananya persis sebesar *Opportunity Cost of Capital* (OCC), mengingat ada penggunaan lain yang lebih menguntungkan.

$$\begin{aligned} NPV &= \text{Benefit (Manfaat)} - \text{Cost (biaya)} \\ &= 44.141.039.977 - 41.224.102.842 \\ &= 2.916.937.135 \end{aligned}$$

- $BCR = \text{Benefit (manfaat)} / \text{Cost (biaya)}$(4.2)

Dimana :

Benefit = Keuntungan

Cost = Biaya pembangunan PLTM dan biaya Pemeliharaan

Ada beberapa kriteria nilai BCR terkait dengan perumusan diatas, yakni; Pertama bila nilai indeks BCR lebih besar dari 1 ($BCR > 1$) maka proyek dikatakan layak untuk dikerjakan, kedua jika nilai indeks $BCR < 1$ ($BCR < 1$) maka proyek tidak layak untuk dikerjakan mengingat biaya (*cost*) lebih besar dari pada manfaat (*benefit*) yang diterima. Namun hal ini tidak sepenuhnya dapat ditentukan bahwa proyek layak jika BCR-nya > 1 , karena hal tersebut hanya menunjukkan bahwa manfaat lebih besar dari pada biaya yang dikeluarkan.

$$\begin{aligned} BCR &= \text{Benefit (Manfaat)} / \text{Cost (biaya)} \\ &= 44.141.039.977 / 41.224.102.842 \\ &= 1.03 \end{aligned}$$

- **Tingkat Pengembalian Internal (IRR)**

Berdasarkan hasil perhitungan untuk nilai sekarang dan manfaat dari beberapa suku bunga, untuk mendapatkan nilai IRR (Internal rate of return) maka diinterpolasi suku bunga yang

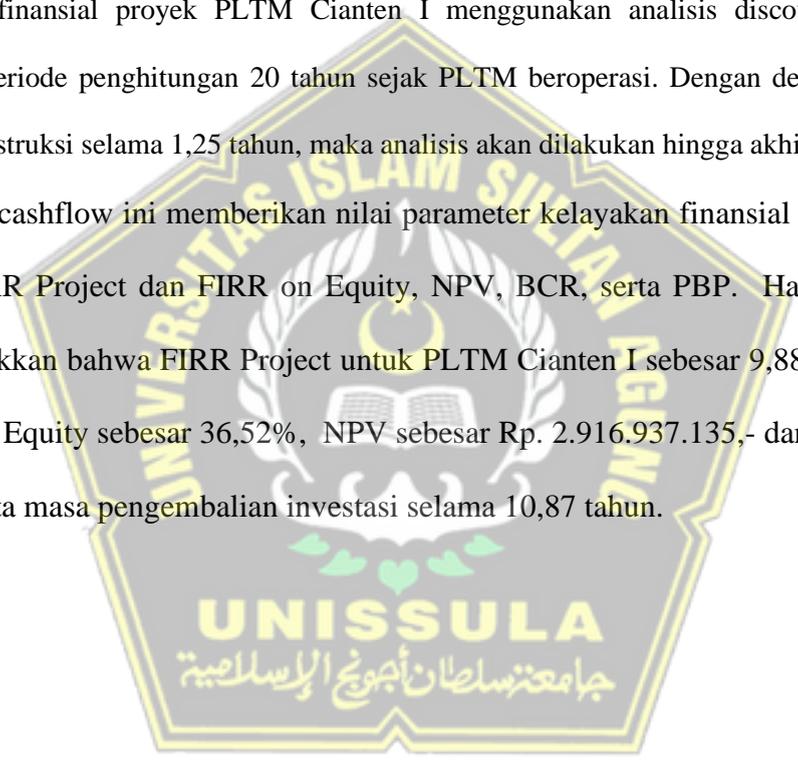
memiliki nilai BCR dengan kisaran 1. Pada tabel dapat terlihat bahwa suku bunga 5% dan 6% dapat diinterpolasi. Oleh karena itu, nilai IRR adalah

$$\begin{aligned} \text{IRR} &= \frac{NPV - NPV_{6\%}}{NPV_{5\%} - NPV_{6\%}} \times (5\% - 6\%) + 5\% \\ &= \frac{0 - (-Rp35.174.799.160)}{Rp5.936.998.124 - (-Rp35.174.799.160)} \times (5\% - 6\%) + 5\% \\ &= 9,88\% \end{aligned}$$

Sehingga nilai Internal rate of return PLTM Cianten I yaitu pada suku bunga 9,88%.

• Hasil Analisis Kelayakan Finansial Proyek

Analisis finansial proyek PLTM Cianten I menggunakan analisis discounted cashflow dengan periode penghitungan 20 tahun sejak PLTM beroperasi. Dengan demikian, dengan masa konstruksi selama 1,25 tahun, maka analisis akan dilakukan hingga akhir tahun ke-22. Analisis cashflow ini memberikan nilai parameter kelayakan finansial proyek berupa nilai FIRR Project dan FIRR on Equity, NPV, BCR, serta PBP. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa FIRR Project untuk PLTM Cianten I sebesar 9,88%, sedangkan FIRR on Equity sebesar 36,52%, NPV sebesar Rp. 2.916.937.135,- dan BCR sebesar 1,03, serta masa pengembalian investasi selama 10,87 tahun.



<u>Data Analisis Finansial</u>		
Biaya Proyek	: Rp	41,224,102,842
Modal Sendiri (<i>Equity</i>)	: Rp	12,367,230,852
Modal Pinjaman (<i>Debt</i>)	: Rp	28,856,871,989
IDC	: Rp	6,865,838,837
Nilai Investasi Proyek	: Rp	48,089,941,679
Tingkat Suku Bunga Pinjaman	:	11%
Masa Pengembalian Pinjaman (Tahun)	:	7
Tingkat Diskonto / <i>WACC Rate</i>	:	9.05%
Tingkat Pajak (PPH Badan)	:	25%
<u>Asumsi Analisis</u>		
Periode Analisis Finansial (setelah operasi)	:	20 tahun
Kenaikan Biaya OP per 10 Tahun	:	10%
Skema Pendanaan	:	70% Debt, 30% Equity
Umur layanan proyek	:	20 tahun
Depresiasi Proyek dengan menggunakan metode garis lurus		
Nilai sisa proyek nol		
<u>Hasil Analisis Finansial</u>		
<i>FIRR Project</i>	:	9.88%
<i>FIRR on Equity</i>	:	36.52%
<i>Benefit Cost Ratio (BCR)</i>	:	1.03
<i>Net Present Value (NPV)</i>	:	Rp2,916,937,135
<i>Pay-back Period (PP) (tahun)</i>	:	10.87

Sumber : Data primer yang diolah (2019)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada BAB IV, maka didapatkan kesimpulan bahwa:

- 1) Kondisi hidrologi PLTM Cianten I yaitu luas DAS sebesar 42,86 km², dengan debit andalan $Q_{25\%} = 12,13 \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_{50\%} = 7,25 \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_{75\%} = 3,83 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $Q_{90\%} = 2,25 \text{ m}^3/\text{det}$. Dan debit banjir rancangan $Q_{2 \text{ tahun}} = 116,94 \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_{25 \text{ tahun}} = 183,19 \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_{50 \text{ tahun}} = 199,65 \text{ m}^3/\text{det}$, $Q_{100 \text{ tahun}} = 215,99 \text{ m}^3/\text{det}$.
- 2) Hasil analisa finansial yaitu biaya proyek sebesar Rp. 41.224.102.840,- Biaya OP Tahunan Rp. 670.031.405,00, Biaya OP 5 Tahunan Rp. 907.503.405,00, Biaya OP 10 Tahunan Rp. 1.145.031.405,00.
- 3) Berdasarkan hasil perhitungan produksi energi 1 tahun dengan diperkirakan PLTM beroperasi selama 20 tahun dengan harga per kWh untuk energi listrik daerah cianten yaitu Rp. 656,00 /kWh. Dan penggunaan listrik dalam 1 tahun yaitu 11.865.011 kWh. Didapatkan nilai manfaat Untuk PLTM Cianten ini sebesar Rp. 7.783.446.979,00 per tahunnya.
- 4) Proyek PLTM Cianten I dikatakan layak untuk direalisasikan jika dalam kondisi nilai normal dan manfaat mengalami kenaikan. Dalam kondisi normal didapatkan hasil analisa finansial dan analisis sensitivitas didapat FIRR Project sebesar 9,88%, sedangkan FIRR on Equity sebesar 36,52%, NPV sebesar Rp. 2.916.937.135,- dan BCR sebesar 1.03, serta masa pengembalian investasi selama 10,87 tahun.

5.2 Saran

Hasil analisis dan perhitungan dalam tesis ini menunjukkan bahwa pembangunan PLTM Ciaten I Kabupaten Bogor dinyatakan layak dari aspek ekonomi, dimana hal ini menguntungkan bagi masyarakat sekitar sehingga diharapkan PLTM Ciaten I Kabupaten Bogor ini segera beroperasi sebagai solusi dari permasalahan pasokan listrik ke daerah terpencil.

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.
- Notosudjono, D. 2002. *Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air*.
- Perencanaan PLTMH di Indonesia*. BPPT 2007.
- Penche,C. 1998. *Layman's Guidebook, on how to develop a small hydro site*. Europan 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.

Theraja, BL. 2001. *Electrical of Technology*, 8th. Prentice Hall International Inc. Newyork

