

STUDI KELAYAKAN PLTM CIATEN KABUPATEN BOGOR DARI SEGI HIDROLOGI DAN EKONOMI

Adhi Susilo¹⁾, S. Imam Wahyudi²⁾, M. Faiqun Niam²⁾

¹Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

²Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Email: adhifitriandaru@gmail.com

ABSTRACT

Rivers are one of the important water sources for life on earth. Both humans, animals and plants, all need water to maintain life. Rivers flow from upstream to downstream, moving from high places to low places. Microhydro, or Microhydro Power Plant (PLTM), is a small-scale power plant that uses water power as its driving force, such as irrigation canals, rivers or natural waterfalls, by utilizing the height of the waterfall (head) and the amount of water discharge. The Cianten River has sufficient water potential throughout the year, reliable discharge, suitable contours, and has been utilized for PLTM. Data collection techniques in this research include observation and data collection in the field by observing and recording data on the area of each watershed, Cianten Rivers and the area of civil building planning. Several models used for hydrological analysis are the Tank Model, FJ Mock Model, and Markov Lag 1 Model. Apart from that, researchers also carried out financial evaluations of Microhydro Power Plants (PLTM). The results obtained for the Cianten I PLTM scheme/layout include the dam and intake building, sand trap, waterway, headpond, penstock, powerhouse, and exhaust channels (tailrace). The generation discharge that can be selected based on the plant factor value is in the probability range of 35% - 55%. The Cianten I PLTM project is considered feasible to be realized if it is in a condition of normal value and increasing benefits. Under normal conditions, financial analysis and sensitivity analysis show the Project FIRR results are 9.88%, FIRR on Equity is 36.52%, NPV is IDR. 2,916,937,135, and a BCR of 1.03 with an investment payback period of 10.87 years.

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

ABSTRAK

Sungai merupakan salah satu sumber air penting bagi kehidupan di bumi. Baik manusia, hewan, maupun tumbuhan, semuanya membutuhkan air untuk mempertahankan kelangsungan hidup. Sungai mengalir dari hulu ke hilir, bergerak dari tempat tinggi ke tempat rendah. Mikrohidro, atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM), adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alami, dengan memanfaatkan ketinggian terjunan (head) dan jumlah debit air. Sungai Cianten memiliki potensi air yang cukup sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, kontur yang sesuai, dan telah dimanfaatkan untuk PLTM. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi observasi dan pengumpulan data di lapangan dengan cara mengamati dan mencatat data luas setiap DAS, Sungai Cianten dan luas perencanaan bangunan sipil. Beberapa model yang digunakan untuk analisis hidrologi adalah Model Tangki, Model FJ Mock, dan Model Markov Lag 1. Selain itu, peneliti juga melakukan evaluasi finansial terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM). Hasil yang didapatkan untuk skema/layout PLTM Cianten I meliputi bendungan dan bangunan pengambilan (intake), kantong lumpur (sand trap), saluran pembawa (waterway), bak penenang (headpond), pipa pesat (penstock), rumah pembangkit (powerhouse), dan saluran buangan (tailrace). Debit pembangkitan yang dapat dipilih berdasarkan nilai plant factor berada pada rentang probabilitas 35% - 55%. Proyek PLTM Cianten I dianggap layak untuk direalisasikan jika berada dalam kondisi nilai normal dan manfaat yang meningkat. Dalam kondisi normal, analisis finansial dan analisis sensitivitas menunjukkan hasil FIRR Proyek sebesar 9,88%, FIRR pada Ekuitas sebesar 36,52%, NPV sebesar Rp. 2.916.937.135,-, dan BCR sebesar 1,03 dengan masa pengembalian investasi selama 10,87 tahun.

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

1. PENDAHULUAN

Sungai adalah salah satu sumber air penting bagi kehidupan di bumi. Semua makhluk hidup, termasuk manusia, hewan, dan tumbuhan, memerlukan air untuk bertahan hidup. Sungai mengalir dari hulu ke hilir, bergerak dari tempat tinggi ke tempat rendah. Di Indonesia, terdapat banyak sungai besar maupun kecil yang tersebar di berbagai daerah. Kondisi ini merupakan peluang yang baik untuk pengembangan energi listrik, terutama di daerah-daerah yang belum terjangkau oleh energi listrik (Ward, 1998; Kumar & Katoch, 2014).

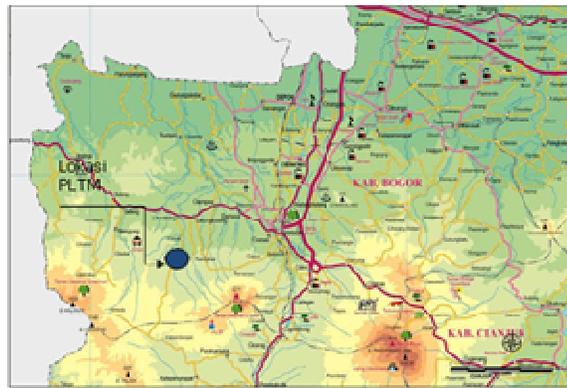
Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau menyebabkan perubahan. Energi tidak bisa diciptakan atau dihancurkan, tetapi bisa diubah bentuknya. Berdasarkan sumbernya, energi terbagi menjadi dua jenis, yaitu energi tak terbarukan (konvensional) dan energi terbarukan. Energi konvensional adalah energi yang bersumber dari cadangan alam yang terbatas dan tidak dapat diperbarui dalam jangka waktu manusia. Energi jenis ini, seperti minyak bumi dan batu bara, terbentuk melalui proses geologi yang memakan waktu jutaan tahun. Eksploitasi berlebihan sumber energi ini mengarah pada penipisan cadangan dan potensi habisnya sumber daya tersebut (Hall & Day, 2009; Sovacool, 2008). Ketergantungan pada energi tak terbarukan memicu krisis energi serta berdampak negatif terhadap lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada pemanasan global. Sebagai alternatif, energi terbarukan menawarkan solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan. Energi terbarukan berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui melalui siklus alamiah, seperti sinar matahari, angin, air, dan biomassa. Sumber energi ini tidak akan habis dan memiliki dampak lingkungan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi konvensional (Jacobson & Delucchi, 2011; Panwar et al., 2011).

Pengembangan dan penggunaan energi terbarukan di Indonesia masih terbatas, meskipun potensi alam yang dimiliki sangat besar. Salah satu bentuk energi terbarukan yang sangat potensial di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM). PLTM menggunakan aliran air dari sungai atau saluran irigasi untuk menghasilkan listrik dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian (head) dan volume aliran air (Adel et al., 2018; Dewi et al., 2017).

Indonesia, dengan banyaknya sungai dan wilayah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional (PLN), memiliki peluang besar untuk mengembangkan PLTM sebagai solusi untuk kebutuhan energi di daerah-daerah terpencil. Salah satu bentuk energi terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga mikrohidro, yang dapat dibangun di Indonesia karena negara ini memiliki banyak sungai dan banyak daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik

nasional (PLN). Pembangkit listrik mikrohidro merujuk pada pembangkit listrik dengan kapasitas di bawah 100 kW. Banyak daerah pedesaan di Indonesia yang berdekatan dengan aliran sungai yang cukup untuk mendukung pembangkit listrik dalam skala ini (Fulford et al., 2000; Haryanto et al., 2019).

Salah satu bentuk energi terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga mikrohidro, yang dapat dibangun di Indonesia karena negara ini memiliki banyak sungai dan banyak daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional (PLN). Pembangkit listrik mikrohidro merujuk pada pembangkit listrik dengan kapasitas di bawah 100 kW. Banyak daerah pedesaan di Indonesia yang berdekatan dengan aliran sungai yang cukup untuk mendukung pembangkit listrik dalam skala ini. Diharapkan dengan memanfaatkan potensi yang ada di desa-desa tersebut dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri dalam mengantisipasi Kenaikan biaya energi atau kesulitan akses ke jaringan listrik nasional.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Mikrohidro atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM), merujuk pada pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan energi air sebagai sumber dayanya, seperti melalui saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam, dengan memanfaatkan ketinggian air (head) dan volume aliran air. Sungai Cianten memiliki potensi air yang cukup sepanjang tahun, aliran yang stabil, topografi yang cocok, dan telah dimanfaatkan untuk PLTM (Bhattacharyya, 2013; Laghari et al., 2013).

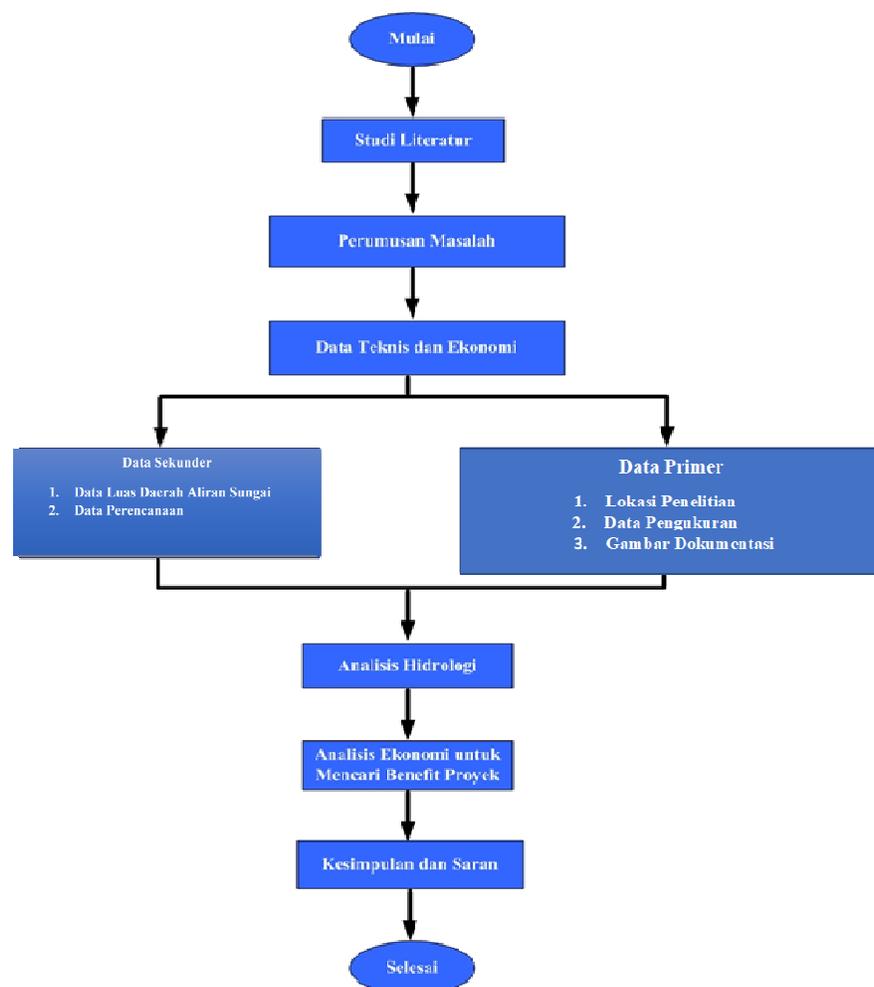
Penelitian ini berfokus pada studi kelayakan pembangunan PLTM di Sungai Cianten, Kabupaten Bogor, baik dari segi hidrologi maupun ekonomi. Sungai Cianten memiliki potensi air yang stabil sepanjang tahun, debit yang andal, dan kontur yang sesuai untuk pembangunan PLTM. Dengan memanfaatkan potensi ini, diharapkan PLTM dapat memberikan solusi energi berkelanjutan bagi masyarakat sekitar serta mengurangi ketergantungan pada energi tak terbarukan (Kaunda et al., 2012; Rahmatullah et al., 2018). Melalui penelitian ini, diharapkan

dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia dan mendorong pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan untuk kebutuhan energi masa depan.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia dan mendorong pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan untuk kebutuhan energi masa depan.

2. METODOLOGI

Seluruh proses pelaksanaan penelitian mengenai "Studi Kelayakan PLTM Ciaten Kabupaten Bogor dari Segi Hidrologi dan Ekonomi" dijelaskan dalam metodologi penelitian, sesuai dengan urutan langkah-langkah yang tercantum dalam flowchart atau bagan alir yang disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk mengumpulkan informasi dan data dari sumber-sumber yang relevan. Tahap ini melibatkan pencarian dan penelaahan pustaka yang berkaitan dengan topik penelitian, termasuk teori, metode, dan hasil penelitian terdahulu. Setelah itu, peneliti merumuskan masalah penelitian yang akan dikaji, menentukan fokus penelitian serta pertanyaan-pertanyaan yang ingin dijawab.

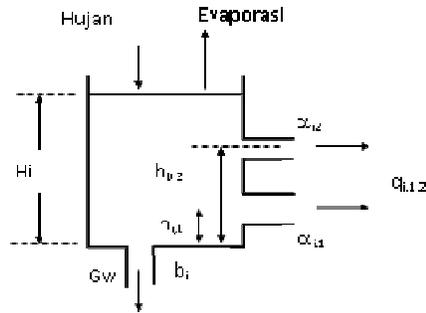
Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data teknis dan ekonomi yang diperlukan untuk penelitian. Data ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer mencakup pengukuran dan pencatatan luas daerah aliran sungai (DAS) yang terkait dengan penelitian serta data mengenai perencanaan bangunan sipil yang relevan dengan proyek PLTM. Data sekunder mencakup peta DAS Ciaten, data hujan tahunan dari Stasiun Kracak, data debit air per jam, dan peta tata guna lahan di daerah penelitian.

Setelah data terkumpul, peneliti melakukan analisis hidrologi untuk memahami kondisi dan karakteristik hidrologi daerah penelitian. Tahap ini meliputi model yang digunakan untuk analisis hidrologi adalah Model Tangki, Model FJ Mock, dan Model Markov Lag 1. Kemudian, peneliti melakukan analisis ekonomi untuk menilai kelayakan proyek dari segi finansial. Analisis ini meliputi perhitungan biaya dan manfaat, analisis arus kas, dan evaluasi indikator keuangan seperti NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), dan BCR (Benefit-Cost Ratio).

Hasil penelitian kemudian disusun dalam bentuk kesimpulan dan saran. Kesimpulan merangkum temuan utama penelitian, sementara saran memberikan rekomendasi untuk implementasi atau penelitian lanjutan. Proses penelitian ini diakhiri dengan penyusunan laporan akhir atau publikasi hasil penelitian. Dengan demikian, alur kerja penelitian ini memberikan gambaran menyeluruh mulai dari tahap persiapan hingga penarikan kesimpulan dan saran, dengan fokus pada aspek teknis dan ekonomi dalam studi kelayakan PLTM di Ciaten, Kabupaten Bogor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Tangki digunakan untuk menganalisis aliran air dan mengukur debit sungai dalam berbagai kondisi hidrologi. Model ini memungkinkan peneliti untuk mensimulasikan respon aliran air terhadap curah hujan dan variabel lainnya melalui pendekatan uji banding (trial and error). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan model tangki, diperoleh nilai koefisien-koefisien yang digunakan dalam model ini, sebagaimana yang tertera dalam tabel berikut:

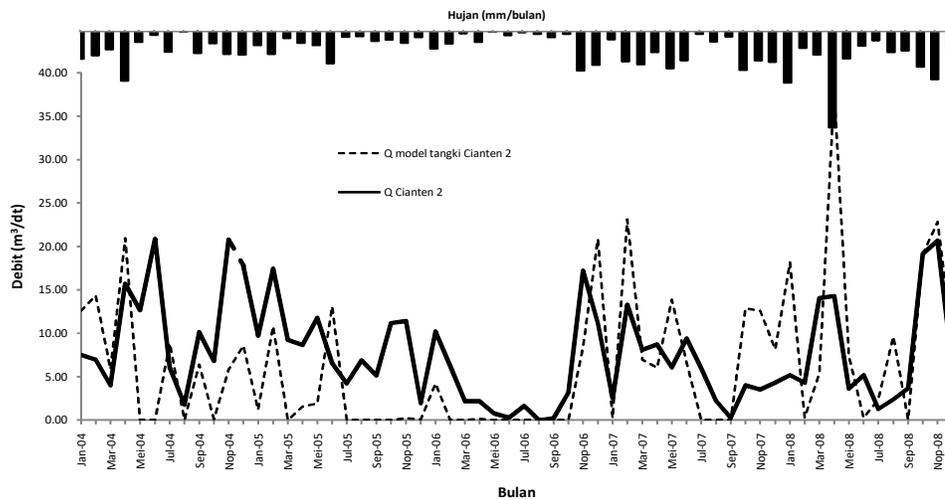


Gambar 3. Skema Model Tangki

Tabel 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 |
| $\alpha_{i,2}$ | 4.600 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| hi,1 (m) | 24 | 0 | 0 | 0 |
| $\alpha_{i,1}$ | 0.800 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 |
| bi | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Gambar 3 menunjukkan perbandingan antara debit yang sebenarnya dan debit yang dihasilkan oleh simulasi model Tangki. Dari proses optimalisasi parameter kalibrasi model, diperoleh nilai korelasi (r) sebesar 0,45 antara debit simulasi dan data pengamatan dari Sungai Cianten.



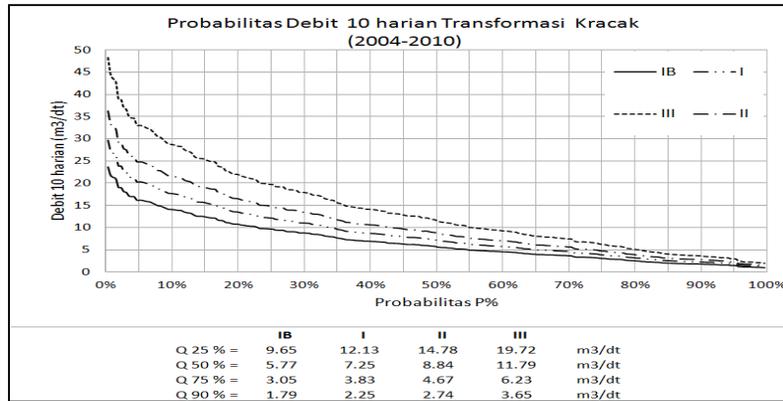
Gambar 4. Kalibrasi Debit Hasil Simulasi Model Tangki terhadap Pengamatan Sungai Cianten

Gambar 4 menunjukkan bahwa korelasi antara debit dari tangki dan debit sungai hampir sama, kecuali untuk periode antara Maret 2008 hingga Mei 2008, di mana terdapat perbedaan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa debit dari tangki cenderung lebih besar pada periode tersebut.

Dasar untuk menggunakan debit harian selama 10 hari adalah karena sungai harus tetap memiliki aliran minimum (Q_{10}) agar tidak mengering saat air diambil dari intake. Debit yang dapat diandalkan dapat dihitung menggunakan berbagai metode seperti Mj Mock, Neraca, atau model tangki, dan kemudian diatur dalam bentuk presentasi (Flow Duration Curve) untuk menentukan Q_{10} .

Hubungan antara Sungai Cianten dan Karacak dalam konteks penelitian ini adalah penggunaan data debit dari Sungai Karacak sebagai acuan untuk analisis hidrologi di Sungai Cianten. Data debit Karacak digunakan untuk menghitung dan memproyeksikan debit andalan di Cianten, yang penting untuk menentukan kapasitas dan kelayakan operasional PLTM Cianten. Hal ini menunjukkan adanya keterkaitan yang erat antara kondisi hidrologi kedua sungai dalam studi ini.

Hasil analisis debit andalan untuk Sungai Cianten dapat disimak dalam Gambar 3.2 hingga Gambar 5.



Gambar 5 Probabilitas Debit 10 Harian Transformasi dari Debit Karacak

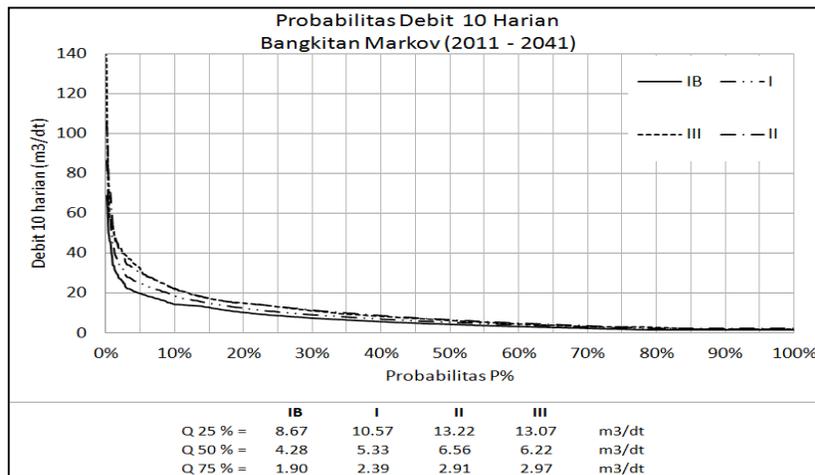
Debit Andalan :

Q 25% = 12,13 m3/det

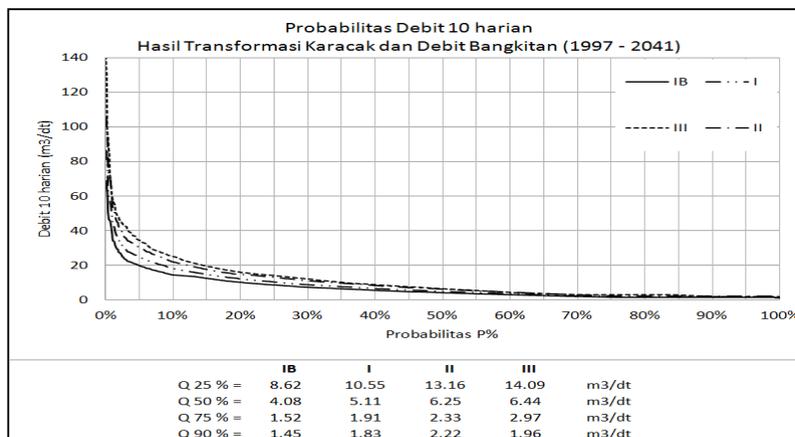
Q 50% = 7,25 m3/det

Q 75% = 3,83 m3/det

Q 90% = 2,25 m3/det



Gambar 6 Probabilitas Debit 10 Harian Bangkitan Markov (Tahun 2011 – 2041)



Gambar 7 Probabilitas Debit 10 Harian Gabungan (Tahun 1997 – 2041)

Gambar 5-7 menampilkan grafik Probabilitas Debit 10 Harian yang dihasilkan dari transformasi debit Karacak. Debit andalan pada persentil tertentu adalah sebagai berikut: Q 25% = 12,13 m³/det, Q 50% = 7,25 m³/det, Q 75% = 3,83 m³/det, dan Q 90% = 2,25 m³/det. Gambar 3.3 menggambarkan grafik Probabilitas Debit 10 Harian menggunakan metode Bangkitan Markov untuk periode tahun 2011-2041. Sedangkan **Gambar 3.4** menunjukkan grafik Probabilitas Debit 10 Harian dari hasil kombinasi.

Analisis finansial pada proyek studi kelayakan PLTM Cianten I, yang menggunakan potensi Sungai Cianten di Kabupaten Bogor, Jawa Barat, diharapkan dapat memberikan evaluasi tentang kelayakan proyek berdasarkan nilai-nilai keuangan kepada investor PLTM.

Tabel 2. Rincian dan Disbursement Biaya PLTM Cianten

| 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 PPh (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 | 1,797,962,778 |

Komponen biaya produksi mencakup biaya overhead dan biaya pemeliharaan, yang ditentukan berdasarkan biaya produksi yang dialami oleh perusahaan sejenis. Biaya overhead juga mencakup pajak air senilai Rp. 10,00 per KWh. Biaya overhead terdiri dari biaya tahunan, biaya lima tahunan, dan biaya sepuluh tahunan, dengan asumsi peningkatan sebesar 10% setiap sepuluh tahun berdasarkan manfaat yang diperoleh dari PLTM Cianten I yang diperkirakan akan meningkat setiap 10 tahun.

Tabel 4. Analisis finansial proyek PLTM Cianten I

| Data Analisis Finansial | | |
|---|------|----------------------|
| 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% |
| Operasional | | |
| Jumlah Energi Tahunan (KWh) | : | 11,865,011 |
| Harga Jual Listrik (Rp/KWh) | : Rp | 656 |
| Nilai Manfaat per Tahun | : Rp | 7,783,446,979 |
| Biaya OP Tahunan | : Rp | 670,031,405 |
| Biaya OP 5 Tahunan | : Rp | 907,531,405 |
| Biaya OP 10 Tahunan | : Rp | 1,145,031,405 |
| Asumsi Analisis | | |
| 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 | : | |
| Hasil Analisis Finansial | | |
| <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 |

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis yang disebutkan di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Situasi hidrologi PLTM Cianten mencakup luas DAS seluas 42,86 km², dengan debit andalan pada persentil tertentu yaitu Q25% = 12,13 m³/det, Q50% = 7,25 m³/det, Q75% = 3,83 m³/det, dan Q90% = 2,25 m³/det. Selain itu, debit banjir rancangan mencakup Q2 tahun = 116,94 m³/det, Q25 tahun = 183,19 m³/det, Q50 tahun = 199,65 m³/det, dan Q100 tahun = 215,99 m³/det.
2. Hasil evaluasi finansial menunjukkan bahwa biaya proyek mencapai Rp. 41.224.102.840,-. Sementara itu, biaya operasional tahunan, lima tahunan, dan sepuluh tahunan berturut-turut adalah Rp. 670.031.405,00, Rp. 907.503.405,00, dan Rp. 1.145.031.405,00.
3. Dari hasil perhitungan produksi energi selama satu tahun, dengan perkiraan PLTM akan beroperasi selama 20 tahun, dan harga energi listrik di wilayah Cianten sebesar Rp. 656,00 per kWh, dengan total penggunaan listrik sebesar 11.865.011 kWh dalam

satu tahun, diperoleh manfaat sebesar Rp. 7.783.446.979,00 per tahun dari PLTM Cianten.

4. Proyek PLTM Cianten I dapat dianggap layak untuk direalisasikan jika kondisi normal dan manfaat mengalami peningkatan. Dalam situasi normal, analisis finansial menunjukkan bahwa FIRR Proyek sebesar 9,88%, sementara FIRR pada Ekuitas mencapai 36,52%. NPV sebesar Rp. 2.916.937.135,- dengan BCR sebesar 1,03, serta periode pengembalian investasi dalam waktu 10,87 tahun.

Saran

Hasil analisis dan perhitungan dalam tesis ini menegaskan bahwa pembangunan PLTM Ciaten di Kabupaten Bogor layak secara ekonomi. Hal ini dianggap menguntungkan bagi masyarakat sekitar, dan diharapkan PLTM Ciaten Kabupaten Bogor dapat segera beroperasi sebagai solusi untuk masalah pasokan listrik di daerah terpencil.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ward, R. C. (1998). *Rivers for Life: Managing Water for People and Nature*.
- Kumar, A., & Katoch, S. S. (2014). Sustainability indicators for run of the river (RoR) hydropower projects in hydro rich regions of India.
- Hall, C. A. S., & Day, J. W. (2009). *Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil*.
- Sovacool, B. K. (2008). *The Dirty Energy Dilemma: What's Blocking Clean Power in the United States*.
- Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review.
- Adel, Z., Guntur, G., & Huda, A. (2018). *Feasibility Study of Micro Hydro Power Plant in Indonesia*.
- Dewi, K. T., et al. (2017). *Development of Micro Hydro Power Plant in Indonesia: A Study Case in Lombok Island*.
- Fulford, D., et al. (2000). *Micro-hydro Design Manual: A Guide to Small-scale Water Power Schemes*.
- Haryanto, T., et al. (2019). *Challenges and Opportunities for Micro-hydro Power Development in Indonesia*.
- Bhattacharyya, S. C. (2013). *Rural Electrification Through Decentralised Off-grid Systems in Developing Countries*.
- Laghari, J. A., et al. (2013). *A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and micro grids of micro-hydro power plants*.
- Kaunda, C. S., et al. (2012). *Potential of Small-Scale Hydropower for Electricity Generation in Sub-Saharan Africa*.
- Rahmatullah, M. S., et al. (2018). *Technical and Economic Feasibility of a Micro Hydro Plant in Sungai Ciaten, Indonesia*.