

APLIKASI *WEBSITE* PERHITUNGAN ESTIMASI BIAYA DAN EMISI DALAM PENGEMBANGAN ENERGI BARU TERBARUKAN SECARA *REALTIME*

Faris Alfaro Pasa¹, Jangkung Raharjo², Efri Suhartono³
^{1,2,3} Universitas Telkom

farisap@student.telkomuniversity.ac.id¹, jangkungraharjo@student.telkomuniversity.ac.id²,
efrisuhartono@student.telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Dalam rangka mengatasi tantangan perubahan iklim dan meningkatnya kebutuhan energi, pengembangan energi baru terbarukan telah menjadi fokus utama. Namun, biaya investasi yang tinggi dan dampak emisi sering kali menjadi hambatan. Untuk mengatasi ini, sebuah aplikasi berbasis website telah dikembangkan untuk menghitung estimasi biaya dan emisi dalam pengembangan energi terbarukan secara *real-time*. Aplikasi ini menggabungkan data terkini tentang biaya instalasi, biaya pemeliharaan dan emisi karbon dari sumber terpercaya. Pengguna dapat memasukkan parameter proyek seperti kapasitas instalasi pembangkit, umur investasi, dan *discount rate*. Menggunakan model matematika, aplikasi ini menghitung total biaya proyek, rincian biaya pengembangan, dan estimasi emisi yang dihasilkan. Diharapkan aplikasi ini dapat memfasilitasi pengembangan energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dan efektif, berkontribusi pada upaya mengatasi perubahan iklim dan kebutuhan energi di masa mendatang.

Kata kunci : energi terbarukan, biaya investasi, emisi, aplikasi berbasis *website*.

Abstrack

To overcome the challenges of climate change and increasing energy needs, the development of new renewable energy has become a major focus. However, high investment costs and emissions impacts are often obstacles. To address this, a website-based application has been developed to calculate cost and emissions estimates in renewable energy development in real time. The app combines up-to-date data on installation costs, maintenance costs and carbon emissions from trusted sources. Users can enter project parameters such as plant installation capacity, investment life, and discount rate. Using mathematical models, the application calculates the total cost of the project, details of development costs, and estimates of the resulting emissions. It is hoped that this application can facilitate the development of more sustainable and effective renewable energy, contributing to efforts to address climate change and future energy needs.

Keywords: renewable energy, investment costs, emissions, website-based applications.

I. PENDAHULUAN

Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah mengumumkan capaian subsektor ketenagalistrikan tahun 2020. Angka elektrifikasi mencapai 99,20%, menandakan sebagian besar wilayah telah teraliri listrik. Jumlah rumah tangga yang menggunakan listrik meningkat 14,85% dalam 6 tahun terakhir. Tahun ini, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral telah menetapkan target untuk mencapai elektrifikasi 100% [1]. Dalam konteks ini, energi terbarukan memainkan peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Memang, penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik konvensional dalam jangka panjang dapat menghabiskan sumber daya yang semakin terbatas seperti minyak, gas, dan batu bara. Selain itu, juga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan [2]. Peralihan dari sumber energi tradisional ke energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan upaya kolaboratif antara PLN, pemerintah, dan berbagai pihak. Tujuannya agar dampak biaya tidak hanya ditanggung PLN dan masyarakat, tetapi juga dukungan pemerintah dan organisasi internasional.

Dengan tujuan untuk meningkatkan proses pengembangan EBT, studi ini menghadirkan aplikasi web inovatif yang menghitung estimasi biaya dan emisi selama

pengembangan energi baru terbarukan secara *real time*. Aplikasi ini dirancang untuk memberikan informasi yang tepat dan akurat kepada para pengambil keputusan di sektor energi, termasuk pengembang proyek, investor, dan pemerintah.

Penelitian terdahulu mengenai aplikasi perhitungan menghasilkan dua temuan utama: pertama, penelitian terfokus pada Aplikasi Perhitungan Penghasilan dan Pajak Penghasilan Pasal 21 untuk Pegawai Tetap; dan kedua, penelitian terfokus pada Aplikasi Perhitungan Pendapatan *Service Charge* untuk Pegawai Tetap. Meskipun keduanya memiliki proses perhitungan yang berbeda, hasil dari kedua aplikasi tersebut tidak dapat diperoleh secara *real-time*[3], [4].

Dengan integrasi data biaya pemasangan dan faktor emisi karbon yang akurat, aplikasi ini akan memberikan gambaran lengkap tentang biaya proyek dan dampak lingkungan. Oleh karena itu, aplikasi ini berpotensi mengoptimalkan pengambilan keputusan dalam pengembangan EBT dan memberikan kontribusi positif bagi dunia dalam transisi ke sistem energi berkelanjutan.

II. KAJIAN TEORI

Aplikasi ini akan menggunakan data dari Rencana Usaha Pembangkit Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030 yang mencakup estimasi kapasitas pembangkit yang akan dihasilkan menggunakan EBT [5]. Kapasitas energi tersebut akan dihitung dan dikonversikan menjadi jumlah emisi CO₂ yang sesuai dengan RUPTL. Sesuai kebijakan PLN tahun 2022, direncanakan pembangunan pembangkit dengan kapasitas terpasang sebesar 647 MW dari berbagai jenis energi terbarukan. Dari energi terbarukan tersebut, akan dilakukan perhitungan untuk membandingkan jumlah emisi CO₂ yang dihasilkannya dengan emisi yang dihasilkan oleh pembangkit thermal, dalam hal ini PLTU Batubara.

A. Energi Terbarukan

Potensi energi terbarukan di Indonesia memiliki dimensi yang luas, mencapai total kapasitas sebesar 443 GW. Potensi ini mencakup sumber-sumber seperti energi air, angin, matahari, biomassa, mikrohidro, dan panas bumi. Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah dengan menetapkan tujuan untuk mencapai campuran energi sebanyak 23% dari total pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Kebijakan ini diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 22 tahun 2017. Fokus utama dari pemanfaatan sumber energi terbarukan adalah untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendorong keberlanjutan dalam sektor energi [1].

B. Estimasi Biaya Investasi

Estimasi biaya investasi merupakan langkah kritis dalam perencanaan dan pengembangan proyek, terutama dalam sektor energi baru terbarukan. Biaya investasi merujuk pada jumlah dana yang diperlukan untuk mengembangkan dan membangun suatu proyek. Estimasi biaya yang akurat memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan yang rasional dan efisien oleh pengembang, investor, dan pemangku kepentingan lainnya. Pengembangan EBT telah menjadi pusat perhatian dalam upaya mengatasi tantangan perubahan iklim dan kebutuhan energi yang terus meningkat. Salah satu faktor kritis yang mempengaruhi keberhasilan proyek EBT adalah biaya investasi dan menganalisis kelayakannya. Dalam konteks ini, terdapat beberapa metode perhitungan yang digunakan dalam menentukan estimasi biaya investasi yaitu:

1. Life Cycle Cost (LCC)[6]

$$LCC = C + MPW + RPW \dots (1)$$

LCC = Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*).

C = Biaya investasi awal yang dikeluarkan (Seperti komponen, biaya instalasi dan biaya lainnya.)

MPW = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan.

RPW = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian.

2. Capital Recovery Factor (CRF)[7]

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots (2)$$

CRF = Faktor pemulihan modal

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

3. Cost of Energy (COE)[7]

$$Cost\ of\ Energy\ (COE) = \frac{LCC \times CRF}{A\ kWh} \dots (3)$$

COE = *Cost of Energy* atau Biaya Energi (Rp/kWh)

CRF = Faktor pemulihan modal

A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (kWh/tahun)

Sedangkan untuk analisis kelayakan investasi menggunakan:

4. Net Present Value (NPV)[9]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II \dots (4)$$

NCF_t = *Net Cash Flow* periode tahun ke-1 sampai tahun ke-n

II = Investasi awal (Initial Investment)

i = Tingkat diskonto

n = Periode dalam tahun (umur investasi)

5. Benefit Cost Rate (BCR)[8]

$$BCR = \frac{B}{C} = \frac{Benefit}{Cost} \dots (5)$$

Bila *B/C Ratio* > 1, proyek menguntungkan karena manfaat lebih besar dari biaya. Bila *B/C Ratio* < 1, proyek tidak menguntungkan karena manfaat tidak mencukupi biaya.

6. Payback period (PP)[9]

Payback period adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan nilai investasi melalui pendapatan yang dihasilkan oleh proyek. Kriteria untuk memutuskan apakah proyek layak untuk dikembangkan adalah:

- Investasi proyek akan dinilai layak apabila periode waktu lebih pendek dari umur proyek.
- Investasi proyek belum dinilai layak apabila periode waktu lebih panjang dari umur proyek.

C. Emisi Karbon

Pengembangan EBT menjadi pilihan utama dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca dan memerangi perubahan iklim. Meski dianggap sebagai solusi bersih, pengembangan EBT tetap berdampak pada emisi karbon di berbagai tahapan, mulai dari produksi hingga instalasi dan operasi. Dalam menghitung emisi perlu dikemukakan berbagai asumsi antara lain, PLTU [5]:

- Batubara yang digunakan adalah batubara yang memiliki kalori sedang (batubara bituminous) dengan 66,6% carbon.

2. Efisiensi thermis (30%-33,4%), dalam perhitungan penelitian ini diambil 33%.
3. Faktor kapasitas 80%

Beberapa persamaan yang diperlukan dalam perhitungan emisi PLTU [5]:

$$\text{Energi listrik yang dibangkitkan} = \text{Kapasitas Pembangkit} \times \text{Waktu Operasi} \dots (6)$$

$$\text{Energi Bahan Bakar} = (\text{Energi listrik yang dibangkitkan}) / (\text{Efisiensi Thermal}) \dots (7)$$

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = (\text{Energi Bahan Bakar}) / (\text{Net Caloric Value}) \dots (8)$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \%C \text{ Bahan Bakar} \times 44/12 \dots (9)$$

Untuk pembangkit energi terbarukan yang masih terdapat keluaran emisi adalah PLT Panas Bumi dan PLT Biomassa/sampah, dengan persamaan sebagai berikut [10]:

$$\text{Emisi PLTP} = \text{Kapasitas} \times \text{Waktu Operasi Pembangkit} (7008 \text{ jam/tahun}) \times \text{Faktor Emisi} (0,1267 \text{ ton/MWh}) \dots (10)$$

$$\text{Emisi PLT Bio} = \text{Kapasitas} \times \text{Waktu Operasi Pembangkit} (7008 \text{ jam/tahun}) \times \text{Faktor Emisi} (0,341253 \text{ ton/MWh}) \dots (11)$$

D. Aplikasi Berbasis Website

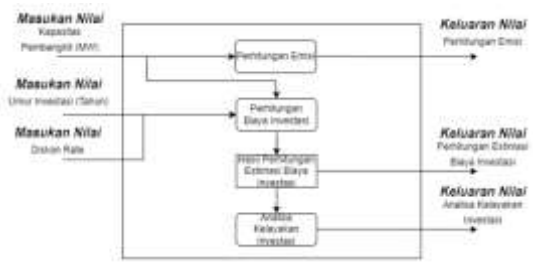
Dalam era teknologi informasi yang berkembang pesat, penggunaan aplikasi berbasis web telah memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung pengembangan EBT. Aplikasi memiliki potensi untuk membantu proses perhitungan biaya dan emisi dalam meningkatkan efisiensi pengembangan EBT.

Aplikasi sederhana secara *real-time* adalah sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk memberikan pemrosesan data dan tampilan hasil secara instan dalam waktu nyata. Aplikasi ini mampu mengakses dan memproses data secara langsung saat input diberikan, sehingga pengguna dapat melihat dan menganalisis informasi secara cepat dan akurat. Dalam konteks energi terbarukan, aplikasi sederhana secara *real-time* dapat digunakan untuk menghitung estimasi biaya investasi, menganalisis kelayakan investasi, dan tingkat keluaran emisi dalam pengembangan pembangkit secara *real-time*.

III. PERANCANGAN SISTEM

Rancangan umum sistem untuk aplikasi website dalam pengembangan EBT mencakup beberapa komponen utama agar aplikasi dapat berjalan sesuai dengan fungsinya.

A. Rancangan Umum Sistem



GAMBAR 1
DIAGRAM BLOK RANCANGAN UMUM SISTEM

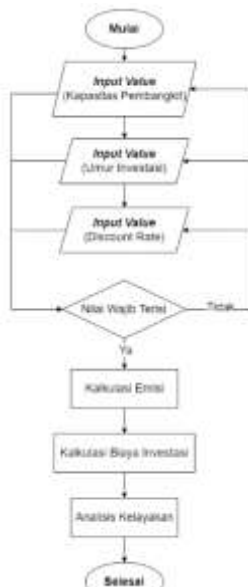
Pertama, aplikasi akan memiliki antarmuka pengguna yang memungkinkan pengguna memasukkan data terkait proyek pengembangan EBT, seperti jumlah kapasitas pembangkit (MW), dan jangka waktu investasi (Tahun) dan *discount rate*. Sistem aplikasi akan mengolah data yang didapatkan dari masukkan pengguna dan memberikan hasil perhitungan estimasi biaya dan emisi berdasarkan parameter-parameter yang digunakan.

Gambar 2 dan 3 merupakan sketsa konsep tampilan UI yang akan digunakan dalam rancangan sistem aplikasi *website*.

B. Rancangan Sistem Aplikasi

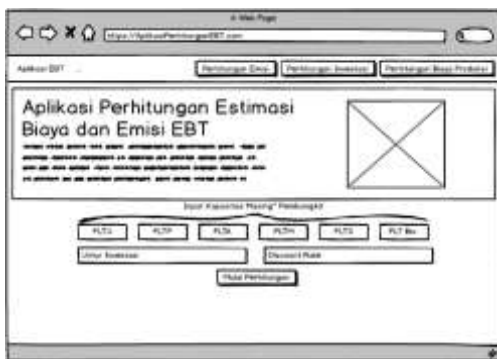
Dalam rancangan sistem aplikasi *website* perhitungan estimasi biaya dan emisi dalam pengembangan EBT, dilakukan konversi rumus-rumus perhitungan yang digunakan ke dalam bentuk program yang diimplementasikan pada sistem aplikasi.

Flowchart sistem pada gambar 2 merupakan alur kinerja sistem yang terstruktur untuk melakukan perhitungan dan analisis dalam pengembangan EBT. Sistem dimulai dengan pengguna memasukkan nilai kapasitas pembangkit, jangka waktu investasi, dan *discount rate*. Apabila *input value* tidak diisi, sistem akan memberikan informasi untuk memberikan nilai meskipun nol. Selanjutnya, sistem melakukan perhitungan emisi, perhitungan biaya investasi seperti menghitung LCC, CRF, COE, setelah itu menganalisis kelayakan investasi. Hasil keseluruhan proses akan ditampilkan sebagai output yang disajikan kepada pengguna untuk membantu mereka dalam mengambil keputusan yang lebih informatif dan tepat terkait dengan pengembangan sumber energi berkelanjutan.

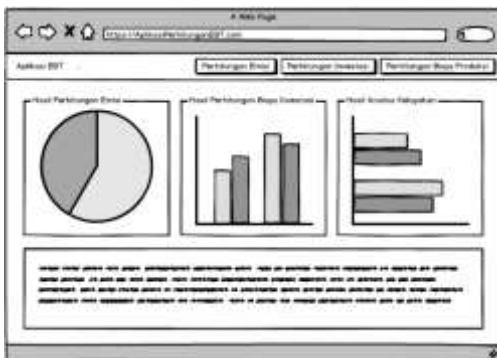


GAMBAR 2
DIAGRAM ALUR SISTEM APLIKASI

Website memiliki dua bagian elemen yaitu *front-end* dan *back-end*, maka dalam pengembangan sistem aplikasi perhitungan hanya menggunakan *front-end*. Dengan elemen *front-end*, aplikasi cukup dapat mengkalkulasi algoritma yang kompleks untuk melakukan operasi matematika, serta memvisualisasikan hasil data yang lebih interaktif dan penggunaannya lebih fleksibilitas.



GAMBAR 3
SKETSA KONSEP TAMPILAN UI APLIKASI BAGIAN INPUT VALUE



GAMBAR 4
SKETSA KONSEP TAMPILAN UI APLIKASI BAGIAN OUTPUT VALUE

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini mampu menampilkan informasi tentang emisi CO2, estimasi biaya investasi, dan analisa kelayakan investasi dari setiap pembangkit energi baru terbarukan (EBT) secara *realtime* melalui aplikasi berbasis web. Sebelumnya, rumus perhitungan emisi, perhitungan estimasi biaya investasi, dan analisis kelayakan telah berhasil dikonversikan ke dalam kode pemrograman sistem aplikasi yang telah dikembangkan. Pada gambar 5 merupakan implementasi tampilan UI aplikasi bagian *input value*, sedangkan gambar 6 merupakan implementasi tampilan UI aplikasi bagian *output value*.

Implementasi analisis kelayakan investasi merupakan pengolahan data hasil dari perhitungan estimasi biaya investasi. Dengan masukan jumlah kapasitas pembangkit, nilai umur investasi (tahun) dan *discount rate*, pengguna memiliki fleksibilitas untuk memasukkan nilai umur investasi dan *discount rate* sesuai kebutuhan mereka. Namun, dalam implementasi saat ini, nilai kapasitas akan menggunakan jumlah kapasitas sesuai RUPTL pada tahun 2023 (Tabel 1), untuk nilai *default* yang digunakan pada umur investasi adalah 20-30 tahun, mengacu umur *lifetime* PLT lain pada umumnya, dan 5%-10% untuk *discount rate*.



GAMBAR 2
IMPLEMENTASI TAMPILAN UI APLIKASI BAGIAN INPUT VALUE



GAMBAR 3
IMPLEMENTASI TAMPILAN UI APLIKASI BAGIAN OUTPUT VALUE

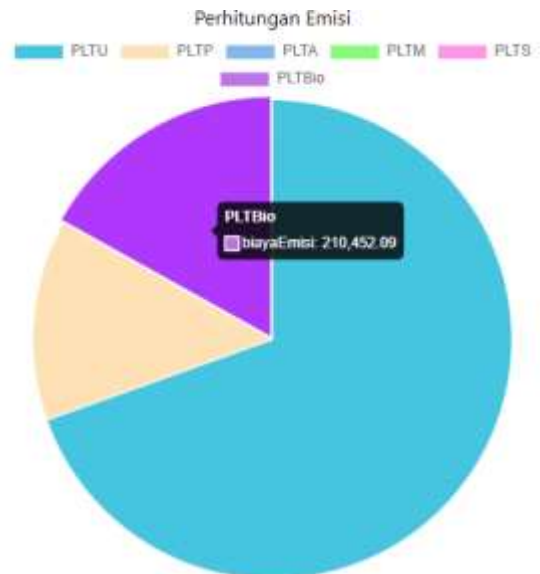
Dari hasil pengolahan perhitungan biaya investasi, akan dihitung dengan persamaan rumus NPV, BCR, dan DPP. Perhitungan akan dilakukan manual menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil dari perhitungan manual akan dijadikan validasi data mengenai hasil analisis sub sistem aplikasi.

A. Hasil Pengujian Sistem Aplikasi

Pengujian sistem aplikasi menggunakan data kapasitas rancangan usaha penyediaan tenaga listrik 2021-2030 (RUPTL) pada tabel 1. Sedangkan untuk nilai pengujian yang digunakan pada umur investasi adalah 20 tahun, mengacu umur *lifetime* PLT lain pada umumnya, dan 5% untuk *discount rate*.

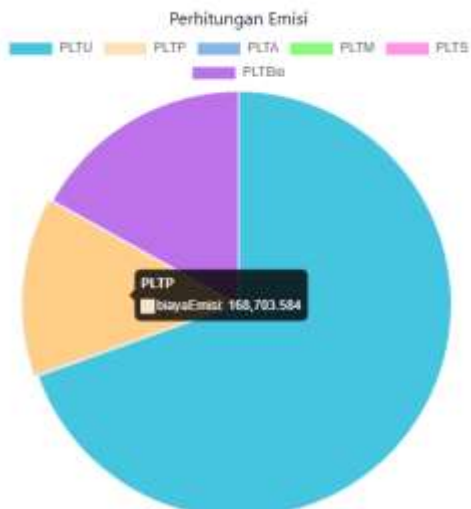
TABEL 1
ROADMAP RUPTL PADA TAHUN 2023

Roadmap RUPTL 2021-2030			
No	Pembangkit-EBT	Kapasitas	2023
1	PLTP	Mw	190
2	PLTA	Mw	132
3	PLTM	Mw	277
4	PLTS	Mw	1306
5	PLT Bio	Mw	88
Jumlah		Mw	1993



GAMBAR 5
HASIL PENGUJIAN PERHITUNGAN EMISI PLT BIO

1. Hasil Perhitungan Emisi Karbon



GAMBAR 4
HASIL PENGUJIAN PERHITUNGAN EMISI PLTP



GAMBAR 6
HASIL PENGUJIAN PERHITUNGAN EMISI PLTU

Hasil perhitungan emisi menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) berkapasitas 190MW menghasilkan emisi sebesar 168703,584 Ton/MWh. Pembangkit listrik tenaga bio (PLT Bio) berkapasitas 88MW menghasilkan emisi sebesar 210452,0901 Ton/MWh. Sementara itu, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan asumsi kapasitas 120MW menghasilkan emisi sebesar 865617777,8 Ton/MWh. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa PLTP memiliki tingkat emisi paling rendah, diikuti oleh PLT Bio, dan PLTU dengan emisi tertinggi per satuan energi yang dihasilkan.

2. Hasil Perhitungan Estimasi Biaya Investasi



GAMBAR 7
HASIL PENGUJIAN PERHITUNGAN BIAYA INVESTASI (LCC)



GAMBAR 8
HASIL PENGUJIAN PERHITUNGAN BIAYA INVESTASI (CRF)



GAMBAR 9
HASIL PENGUJIAN PERHITUNGAN BIAYA INVESTASI (COE)

Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif antara besarnya kapasitas yang dihasilkan dan nilai LCC yang dihitung. Artinya, semakin besar kapasitas yang dihasilkan, semakin tinggi pula nilai LCC yang akan diperoleh. Sementara itu, untuk nilai CRF dan COE, semakin tinggi tingkat diskonto yang diterapkan, maka nilai yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

3. Hasil Analisis Kelayakan Investasi



GAMBAR 10
HASIL PENGUJIAN ANALISIS KELAYAKAN (NPV)



GAMBAR 11
HASIL PENGUJIAN ANALISIS KELAYAKAN (BCR)



GAMBAR 12
HASIL PENGUJIAN ANALISIS KELAYAKAN (PP)

Hasil analisis kelayakan menunjukkan bahwa nilai NPV dipengaruhi oleh pendapatan tahunan dari harga jual listrik. Namun, untuk nilai BCR dan PP, terdapat salah satu pembangkit yang menunjukkan tingkat kelayakan yang rendah, yakni PLT Bio.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, dan hasil pengujian yang sudah dibuat pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwasanya aplikasi *website* dapat memproses dan menampilkan hasil perhitungan biaya dan emisi karbon berdasarkan masukan nilai yang diberikan oleh pengguna. Dengan adanya aplikasi ini diharapkan memberi manfaat bagi pengembang proyek, penyedia ketenagalistrikan, maupun pemerintah.

Namun, keputusan akhir untuk melanjutkan proyek EBT harus dipertimbangkan secara holistik dengan memperhatikan faktor-faktor lain seperti aspek teknis, lingkungan, regulasi, dan sosial.

REFERENSI

- [1] Kementerian ESDM, "Capaian Kinerja Ketenagalistrikan 2020, Rasio Elektrifikasi Capai 99,20%," esdm.go.id. Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/capaian-kinerja-ketenagalistrikan-2020-rasio-elektrifikasi-capai-9920>
- [2] F. Hidayat, "Sosialisasi dan Instalasi Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Menuju Kesadaran Lingkungan Indonesia Bebas Emisi," *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri*, vol. 2, no. 1, Dec. 2019.
- [3] A. Alisyafi, "Aplikasi Perhitungan Pendapatan Service Charge Pegawai Tetap (Studi Kasus: Hotel Ahadiat & Bungalow, Bandung)," Telkom University, Bandung, 2023.
- [4] E. N. Fadila, "Aplikasi Perhitungan Penghasilan dan Pajak Penghasilan Pasal 21 Pegawai Tetap (Studi Kasus: Hotel Ahadiat dan Bungalow, Bandung)," Telkom University, Bandung, 2023.
- [5] Budi, R. F. Setya, and S. Suparman, "Perhitungan Faktor Emisi CO₂ PLTU Batubara dan PLTN," *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 15, no. 1, 2013.
- [6] I. K. Bachtiar and M. Syafik, "Rancangan Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga menggunakan Software HOMER untuk Masyarakat Kelurahan Pulau Terong Kecamatan Belakang Padang Kota Batam," *J. Sustain*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [7] A. Setiawan and A. Hermanto, "Pengembangan perangkat lunak optimasi ekonomi dan analisa finansial PLTS studi kasus PLTS 10 MWAC," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 17, no. 2, pp. 59–71, Oct. 2022, doi: 10.36289/jtmi.v17i2.342.
- [8] D. G. Newnan, T. G. Eschenbach, and J. P. Lavelle, *ENGINEERING ECONOMIC ANALYSIS*. New York: OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2012.
- [9] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, "ANALISIS EKONOMI PENGGUNAAN INVERTER SEL SURYA PELANGGAN RUMAH TANGGA TERHUBUNG DENGAN JARINGAN PADA PERUMAHAN SYAILENDRA RESIDENCE BANYUMANIK SEMARANG," *TRANSIENT*, vol. 7, no. 4, Dec. 2018.
- [10] F. R. Ardiansyah, J. Raharjo, and E. Suhartono, "Analisis Perhitungan Emisi Dari Pengembangan Energi Baru Terbarukan," *e-Proceeding of Engineering, Telkom University*, vol. 11, no. 1, 2024, Accessed: Mar. 08, 2024. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/22096>