

SKRIPSI

**STUDI EVALUASI POTENSI REDUKSI EMISI
KARBON MELALUI PENERAPAN PENERANGAN
JALAN UMUM (PJU) BERBASIS PLTS *OFF-GRID*
DI DAERAH HIU PUTIH, PALANGKARAYA**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

Nikita Claudia Natasha
NIM. 2415374020

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Perubahan iklim global yang dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya karbon dioksida (CO₂), menuntut adanya transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target penurunan emisi sebesar 31,89% secara mandiri dan hingga 43,20% dengan dukungan internasional melalui dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) pada tahun 2030. Salah satu sektor yang berkontribusi besar terhadap emisi adalah sektor energi, terutama dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi reduksi emisi karbon melalui penerapan sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* di daerah Hiu Putih, Palangkaraya, Kalimantan Tengah.

Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan menghitung konsumsi energi listrik sistem PJU dan membandingkan emisi karbon yang dihasilkan antara sistem konvensional berbasis PLTU dan sistem PLTS *Off-Grid*. Hasil analisis menunjukkan bahwa satu unit sistem PLTS berkapasitas 500 Wp mampu menghasilkan energi sebesar 15.552 kWh selama 30 tahun masa operasional dan berpotensi mengurangi emisi karbon sebesar $\pm 17.729,28$ kg CO₂. Meskipun kontribusi pengurangan emisi secara persentase terhadap total emisi konvensional selama 30 tahun hanya sebesar 0,543%, hasil ini menegaskan bahwa penggunaan energi terbarukan memiliki dampak nyata dalam mendukung target pengurangan emisi karbon.

Selain aspek emisi, penerapan PLTS juga memberikan dampak lingkungan yang positif seperti bebas polusi udara dan suara, tidak bergantung pada sumber energi tak terbarukan, serta memiliki potensi limbah yang lebih terkendali. Dengan berbagai keunggulan tersebut, sistem PJU berbasis PLTS sangat layak diadopsi secara luas sebagai solusi energi bersih di sektor infrastruktur publik dan sebagai bagian dari strategi pencapaian Net Zero Emission (NZE) 2060.

Kata Kunci: Emisi Karbon, PJU, PLTS *Off-Grid*, Energi Terbarukan, Reduksi Emisi

ABSTRACT

Global climate change driven by the increase in greenhouse gas (GHG) emissions, particularly carbon dioxide (CO₂), demands a transition toward cleaner and more sustainable energy systems. The Government of Indonesia, through its Nationally Determined Contribution (NDC) document, has set a target to reduce emissions by 31.89% unconditionally and up to 43.20% with international support by 2030. One of the major contributing sectors to emissions is the energy sector, especially from fossil fuel-based power plants. This study aims to evaluate the potential for carbon emission reduction through the implementation of solar-powered Off-Grid Street Lighting Systems (PLTS) in Hiu Putih, Palangkaraya, Central Kalimantan.

The method used is a quantitative approach by calculating the energy consumption of the street lighting system and comparing the carbon emissions produced by conventional systems powered by coal-fired power plants (PLTU) and Off-Grid PLTS systems. The analysis shows that a single 500 Wp PLTS unit can generate 15,552 kWh of energy over a 30-year operational period and potentially reduce carbon emissions by approximately 17,729.28 kg CO₂. Although the percentage contribution to total emissions over 30 years is relatively small (around 0.543%), the results affirm that the use of renewable energy has a tangible impact on supporting national carbon reduction targets.

Beyond emissions, the implementation of PLTS also offers positive environmental impacts, such as being free of air and noise pollution, reducing dependence on non-renewable energy sources, and producing more manageable waste. With these advantages, solar-based street lighting systems are highly recommended for widespread adoption as a clean energy solution in public infrastructure and as part of the strategy to achieve Net Zero Emissions (NZE) by 2060.

Keywords: Carbon Emissions, Street Lighting, Off-Grid Solar Power, Renewable Energy, Emission Reduction.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2. Landasan Teori.....	7
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya	7
2.2.2. Kelebihan dan Kekurangan PLTS	8
2.2.3. Prinsip Kerja Panel Surya	9
2.2.4. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya	11
2.2.1. Konfigurasi Sistem PLTS Off-Grid.....	13
2.2.1. Komponen Utama PLTS	15
2.2.7. Komponen Pendukung PLTS	21
2.2.8. Penerangan Jalan Umum (PJU).....	23
2.2.9. Pencemaran Udara.....	23
2.2.10. Energi	23
2.2.11. Emisi Karbon.....	24
2.2.12. Pengukuran dan Perhitungan Emisi Karbon	25

2.2.13. Target Pengurangan Emisi Karbon.....	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2. Sumber Data	28
3.3. Jenis Data Penelitian.....	28
3.4. Teknik Pengambilan Data.....	32
3.5. Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	34
4.2. Perhitungan Energi yang Dihasilkan.....	35
4.3. Perhitungan Emisi Karbon	35
4.4. Target Pengurangan Emisi Karbon.....	37
4.5. Dampak Lingkungan Terhadap Penerapan PJU Surya.....	39
BAB V PENUTUP.....	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
DAFTAR LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Kondisi Struktur Kristal Silikon dan Konduktivitas Intrintik Elektron.....	9
Gambar 2. 2. Kondisi Ekstrintik di Dalam Silikon dengan Doping p dan n	10
Gambar 2. 3. Daerah Ruang Muatan Sampungan p-n.....	11
Gambar 2.4. Skema PLTS <i>Off-Grid</i>	12
Gambar 2.5. Skema PLTS <i>On-Grid</i>	13
Gambar 2.6. Skema PLTS <i>Hybrid</i>	13
Gambar 2.7. Konfigurasi PLTS <i>Solar Home System</i>	14
Gambar 2.8. Konfigurasi PLTS Terpusat	15
Gambar 2.9. Lapisan Panel Surya	15
Gambar 2.10. Panel Jenis <i>Monocrystalline</i>	16
Gambar 2.11. Panel Jenis <i>Polycrystalline</i>	16
Gambar 2.12. Panel Jenis <i>Thin Film</i>	17
Gambar 2.13. <i>Solar Charge Controller (SCC)</i>	17
Gambar 2.14. Baterai	19
Gambar 2.15. Inverter DC – AC	20
Gambar 2.16. <i>Miniature Circuit Breaker</i>	21
Gambar 2.17. Box Panel	22
Gambar 2.18. Kabel Penghantar	22
Gambar 3. 1 <i>Single Line Diagram</i> Subsistem Kalselteng	29
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Penelitian	30
Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan	27
Tabel 3. 2 Faktor Emisi PLTU di Indonesia	31
Tabel 4. 1 Energi Harian yang Dihasilkan	35
Tabel 4. 2 Proyeksi BaU dan Reduksi Emisi dari Setiap Kategori Sektor.....	37
Tabel 4. 3 Sampel Data Pemakaian kWh PJU/Tahun	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Name Plate PV Modul	46
Lampiran 2 Jenis Lampu PJU	46
Lampiran 3 Spesifikasi Lampu	47
Lampiran 4 Perhitungan Emisi yang Dihasilkan	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Isu pemanasan global dan perubahan iklim kini menjadi perhatian serius di tingkat internasional, terutama karena akumulasi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂) yang terus meningkat. Di Indonesia, kontribusi terbesar terhadap emisi karbon berasal dari sektor energi, yang masih bergantung pada pembakaran bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan listrik dan menunjang operasional infrastruktur publik, termasuk sistem Penerangan Jalan Umum (PJU). Menghadapi kondisi tersebut, diperlukan langkah strategis dan terintegrasi dalam menekan emisi karbon, salah satunya melalui peralihan menuju sumber energi yang berkelanjutan dan rendah emisi.

Salah satu solusi konkret yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan energi surya sebagai sumber listrik alternatif untuk sistem PJU. Teknologi PJU berbasis energi surya, khususnya sistem PLTS *Off-Grid*, memungkinkan daerah-daerah terpencil dan belum terjangkau jaringan listrik PLN untuk tetap memiliki infrastruktur penerangan jalan yang mandiri, efisien, dan bebas emisi karbon. Selain itu, sistem ini mendukung pencapaian target pemerintah Indonesia dalam bauran energi nasional dan komitmen pengurangan emisi dalam kerangka *Nationally Determined Contribution (NDC)*.

Daerah Hiu Putih di Palangkaraya, Kalimantan Tengah, merupakan salah satu wilayah yang memiliki kebutuhan akan infrastruktur penerangan jalan sekaligus potensi pemanfaatan energi surya yang tinggi, mengingat intensitas radiasi matahari yang stabil di kawasan tersebut. Namun, hingga saat ini, belum banyak kajian yang secara spesifik mengevaluasi seberapa besar potensi reduksi emisi karbon yang dapat dicapai jika sistem PJU konvensional digantikan oleh sistem PJU berbasis PLTS.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan studi evaluasi terhadap potensi pengurangan emisi karbon yang dapat dihasilkan melalui penerapan PJU berbasis energi surya di daerah Hiu Putih. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai dampak lingkungan dari transisi energi tersebut serta menjadi referensi dalam perencanaan pembangunan infrastruktur berkelanjutan di wilayah Kalimantan Tengah.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

- a. Bagaimana analisis besar emisi karbon yang dapat dikurangi dengan mengganti sistem PJU berbasis listrik konvensional ke sistem PLTS *off-grid*?
- b. Bagaimana kontribusi penerapan PJU surya terhadap pencapaian target pengurangan emisi karbon?
- c. Bagaimana dampak lingkungan jangka panjang dari penerapan sistem PJU berbasis energi surya dibandingkan dengan sistem berbasis energi fosil?

1.3. Batasan Masalah

Agar tujuan Skripsi ini sesuai dengan tujuan penulisan serta fokus pada judul yang telah disebutkan, maka penulis menentukan batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Sistem kelistrikan yang di analisa adalah potensi sistem kelistrikan *isolated* di Penelitian ini hanya mengevaluasi potensi reduksi emisi karbon dari segi penggunaan energi listrik, khususnya dengan membandingkan emisi dari sistem PJU konvensional berbasis listrik PLN (yang bersumber dari energi fosil) dengan sistem PJU berbasis energi surya (PLTS).
- b. Ruang lingkup wilayah penelitian dibatasi pada daerah Hiu Putih, Palangkaraya, Kalimantan Tengah, dan tidak mencakup wilayah lain di luar area tersebut.
- c. Data konsumsi energi dan estimasi emisi karbon berdasarkan pendekatan literatur dan standar konversi emisi CO₂, bukan melalui pengukuran langsung di lapangan.
- d. Jenis sistem energi surya yang dianalisis adalah PLTS *Off-Grid*, yaitu sistem yang tidak terhubung ke jaringan PLN dan sepenuhnya mandiri dalam menyuplai energi ke PJU.
- e. Penelitian tidak membahas aspek teknis instalasi dan kelayakan ekonomi secara mendalam, melainkan fokus pada perhitungan potensi penurunan emisi karbon yang dapat dicapai dari penggunaan energi terbarukan.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Skripsi ini sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui analisis besar emisi karbon yang dapat dikurangi dengan mengganti sistem PJU berbasis listrik konvensional ke sistem PLTS *off-grid*.
- b. Untuk mengetahui kontribusi penerapan PJU surya terhadap pencapaian target pengurangan emisi karbon.
- c. Untuk mengetahui dampak lingkungan jangka panjang dari penerapan sistem PJU berbasis energi surya dibandingkan dengan sistem berbasis energi fosil.

1.5. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka diperoleh beberapa manfaat yang diberikan dalam penulisan Skripsi ini baik secara akademik maupun aplikatif yaitu :

a. Manfaat Akademik

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi terbarukan dan lingkungan, khususnya dalam kajian mitigasi perubahan iklim melalui sektor infrastruktur publik. Hasil evaluasi potensi reduksi emisi karbon dari penerapan PJU berbasis energi surya dapat menjadi referensi teoritis dan empiris bagi mahasiswa, peneliti, serta akademisi yang tertarik pada topik transisi energi, perencanaan berkelanjutan, dan kebijakan lingkungan. Selain itu, penelitian ini memperkuat kajian interdisipliner antara teknik energi, perencanaan wilayah, dan pengelolaan emisi.

b. Manfaat Aplikatif

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah, instansi terkait, maupun pengembang infrastruktur dalam merumuskan kebijakan pembangunan PJU yang ramah lingkungan. Informasi mengenai potensi pengurangan emisi karbon melalui teknologi PLTS dapat mendukung pengambilan keputusan dalam program transisi energi, perencanaan kawasan hijau, serta pengajuan proyek berbasis energi bersih. Penelitian ini juga memberikan gambaran konkret mengenai manfaat lingkungan dari penggunaan energi terbarukan, sehingga dapat mendorong adopsi teknologi serupa di wilayah lain yang memiliki karakteristik serupa.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk menggambarkan rencana penyelesaian masalah dalam Skripsi ini, maka dijabarkan sistematika penulisan pada Skripsi ini yang terdiri dari lima bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan secara singkat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan Skripsi ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang penelitian sebelumnya dan landasan teori yang berisi definisi PLTS, teoritis perumusan PLTS, serta komponen-komponen yang digunakan, dan investasi yang sekiranya akan dirancang.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang tempat dan waktu penelitian, desain penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data, dan jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang hasil permasalahan penelitian, yang terdiri dari deskripsi data, hasil dan pembahasan menggunakan analisis teknis di daerah Hiu Putih.

BAB V PENUTUP

Bab ini menguraikan tentang simpulan dan saran dari hasil penelitian yang sekiranya bermanfaat bagi keseluruhan aspek yang membaca.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada evaluasi potensi reduksi emisi karbon melalui penerapan PJU berbasis PLTS *Off-Grid* dalam menekan emisi karbon di daerah Palangkaraya, Kalimantan Tengah, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penerapan sistem PJU berbasis PLTS *Off-Grid* di daerah Hiu Putih, Palangkaraya mampu menghasilkan energi sebesar 15.552 kWh dalam kurun waktu operasionalnya selama 30 tahun. Dengan menggantikan sistem PJU konvensional yang sebelumnya menggunakan listrik dari PLTU berbahan bakar fosil (dengan faktor emisi batu bara 1,140 kg CO₂/kWh), sistem PLTS ini berpotensi mengurangi emisi karbon 17.729,28 kg CO₂ dalam kurun waktu 30 tahun.
2. Penggunaan PLTS *Off-Grid* pada PJU memberikan kontribusi nyata dalam mendukung target nasional pengurangan emisi karbon, terutama di sektor energi. Implementasi PLTS yang tidak menghasilkan emisi karbon selama operasionalnya mampu mengurangi emisi sebesar $\pm 17.729,28$ kg CO₂ per unit sistem dalam periode 30 tahun. Walaupun secara persentase kontribusi langsung terhadap total emisi masih kecil (sekitar 0,543%), temuan ini menegaskan bahwa transisi ke energi bersih memiliki dampak yang konkret. Apabila teknologi ini diterapkan secara masif dan terintegrasi, maka akumulasi reduksi emisi akan signifikan dalam mendukung target Nationally Determined Contribution (NDC) Indonesia, yakni pengurangan emisi GRK sebesar 31,89% hingga 43,20% pada tahun 2030..
3. Penerapan PJU berbasis energi surya memberikan dampak lingkungan yang jauh lebih baik dibandingkan sistem berbasis energi fosil. Secara signifikan, sistem ini mampu menekan emisi gas rumah kaca seperti CO₂, dengan potensi pengurangan mencapai $\pm 17.729,28$ kg CO₂ selama 30 tahun untuk satu unit PLTS 500 Wp. Selain bebas emisi saat beroperasi, PLTS juga tidak menghasilkan polusi udara maupun suara, sehingga lebih ramah terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat. Ketergantungannya pada energi

matahari sumber energi terbarukan yang melimpah juga menjadikannya solusi yang berkelanjutan tanpa menambah tekanan pada sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Dari aspek limbah, teknologi modern seperti baterai LiFePO₄ menunjukkan keunggulan dalam daya tahan dan potensi daur ulang dibandingkan teknologi konvensional seperti genset berbahan bakar fosil yang menghasilkan limbah berbahaya. Selain itu, PLTS meningkatkan ketahanan energi daerah terhadap bencana dan gangguan pasokan, tanpa menyebabkan degradasi ekosistem. Dengan berbagai keunggulan tersebut, PJU tenaga surya sangat layak untuk diadopsi secara luas sebagai bagian dari strategi pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan mendukung target nasional menuju Net Zero Emission (NZE) 2060.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat disampaikan sebagai berikut :

1. Pemerintah daerah bersama instansi terkait disarankan untuk memperluas penerapan PJU berbasis PLTS *Off-Grid* ke wilayah lain, khususnya daerah dengan potensi radiasi matahari tinggi seperti di Kalimantan Tengah. Implementasi secara terintegrasi dan masif akan meningkatkan akumulasi pengurangan emisi karbon secara signifikan serta mendukung pencapaian target NDC Indonesia secara lebih konkret.
2. Diperlukan kebijakan yang mendorong adopsi teknologi PLTS, khususnya dalam infrastruktur publik seperti PJU. Pemerintah pusat dan daerah dapat memberikan insentif fiskal, pembebasan pajak, atau program bantuan pendanaan guna mendorong percepatan transisi energi di sektor penerangan umum. Hal ini juga dapat menjadi stimulus bagi investasi swasta dalam energi terbarukan.
3. Untuk memastikan keberlanjutan dan efektivitas sistem PLTS, perlu dilakukan riset lanjutan mengenai efisiensi panel surya, performa baterai (seperti LiFePO₄), dan strategi manajemen limbahnya. Selain itu, edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat serta pemangku kepentingan lokal sangat penting agar tercipta dukungan sosial dalam pengoperasian dan pemeliharaan PJU surya secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Parnigotan, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat *Off-Grid System*,” J. UIN SUSKA Riau, p. 31124, 2019.
- [2] I. K. Hendy Wijaya, I. N. Satya Kumara, W. G. Ariastina, “Analisis PLTS Atap 25 kWp *On Grid* Kantor DPRD Provinsi Bali,” vol. 9, no. 2, p. 128, 2022.
- [3] I. T. Padang, A. M. N. Putra, F. Darmawan, A. R. Vermana, A. Y. Dewi, S. Bandri, “Potensi Energi Listrik PLTS Atap Gedung Laboratorium Teknik Elektro Untuk Pengembangan *Net Zero Energi Building* (NZEB),” vol. 10, no. 2, 2025.
- [4] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, S. H. Mukti, “Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP,” vol. 37, no. 2, pp. 59–63, 2016.
- [5] Samsurizal, K. “Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” 2021.
- [6] I. Torang, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem *Off-Grid* Di Desa Bungku,” pp. 1–66, 2022.
- [7] A. Y. Fauzsan, Putty Yunesti, K. , FX Nugroho Soelami, G. B. P. Friansa, S. W. Buana, “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off- Grid* Pada Gedung Perkuliahan,” J. Community Dev. Disaster Manag., vol. 7, no. 1, pp. 311–325, 2025
- [8] R. Sianipar, “Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” Jetri J. Ilm. Tek. Elektro, vol. 11, pp. 61–78, 2017.
- [9] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro,” pp. 1–8, 2015.
- [10] B. Rudiyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya. 2023.
- [11] Binar Surya, G, Afidah, Z, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Suplai Daya Sistem Pemberian Pakan Ikan Otomatis,” Elposys J. Sist. Kelistrikan, vol. 9, no. 3, pp. 183–187, 2023.
- [12] Ilham Lubis, “Analisa Perancangan *On-Grid* Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Industri Menengah”. Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau., no. 2016, pp. 1–36, 2018.
- [13] Murshal, S. Analisis Penyerapan Emisi Karbon Dioksida (CO₂). 2023.
- [14] Presiden Republik Indonesia, “PP RI No 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara”. 1999.

- [15] *International Energy Agency*, “*International Energy Agency (IEA) World Energy Outlook 2022*”. p. 524, 2022.
- [16] D. Octavia, A. Utama, D. Tampoy, T. Perminyakan, and J. Selatan, “Studi Potensi PLTS Atap Di Makassar Untuk Meningkatkan Penggunaan Energi Terbarukan Dan Mengurangi Emisi Karbon,” Vol. 12, No. 4, 2023.
- [17] D. Ramadhan, M. Amin, A. Shabah, and R. Rahmawati, “Instalasi Penerangan Jalan Umum Berbasis *Solar Cell* dan *Photocell* di Desa Cilangkara Kabupaten Bekasi,” vol. 03, pp. 257–263, 2024.
- [18] Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, “Statistik Ketenagalistrikan 2023,” 2024.
- [19] Hardani et al, Kualitatif & Kuantitatif.