



Hydropower as Renewable Energy as a Sustainable Solution to the Energy and Environmental Crisis

Adi Gunawan^{1*}

¹ Agricultural Technology Study Program, Faculty of Agriculture, University of Muhammadiyah Mataram, Mataram, Indonesia

Article History

Received : 20 Mei 2025

Revised : 21 Mei 2025

Accepted : 26 Mei 2025

Published : 30 Juni 2025

*Corresponding Author: **Adi Gunawan**,
University of Muhammadiyah Mataram,
Mataram, Indonesia;
adigunbio@gmail.com

Abstract: The global challenges of energy crises and environmental degradation underscore the urgency of transitioning to renewable energy sources. This study aims to examine the potential of hydropower as a sustainable solution to energy shortages and environmental issues. Using a library research approach, data were collected and analyzed from international and national scientific journals, policy reports, and official publications of energy and environmental organizations. The findings reveal that hydropower projects in Indonesia, such as the Cirata and Batang Toru dams, demonstrate high efficiency (85–89%) and contribute significantly to carbon emission reduction, with up to 1.6 million tons of CO₂ avoided annually. Smaller-scale projects, including mini- and micro-hydro plants, also show effective performance and adaptability to local contexts while supporting rural electrification. The study concludes that hydropower is not only a reliable renewable energy source but also a strategic component of Indonesia's energy transition, provided that ecological and social aspects are integrated into planning and implementation. These insights imply that adopting community-based and environmentally conscious hydropower strategies can accelerate the achievement of Indonesia's clean energy targets and contribute to global climate change mitigation.

Keywords: Hydropower, renewable energy, energy crisis, environment, sustainability.

PENDAHULUAN

Permasalahan energi dan lingkungan merupakan isu global yang semakin mendesak untuk diselesaikan. Ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam tidak hanya menyebabkan krisis pasokan energi (Mayer, 2022), tetapi juga memperburuk kondisi lingkungan akibat emisi gas rumah kaca yang tinggi (IEA, 2023). Emisi karbon dioksida (CO₂) dari sektor energi berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global dan perubahan iklim, yang berdampak pada ketidakstabilan ekosistem, peningkatan suhu bumi, serta bencana alam yang lebih ekstrem (Rosalinda et al., 2021).

Upaya transisi menuju energi bersih menjadi semakin penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan (Yin et al., 2024). Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan adalah hydropower atau tenaga air. Tenaga air telah lama digunakan sebagai sumber listrik yang stabil, efisien, dan memiliki emisi karbon yang sangat rendah dibandingkan pembangkit berbasis fosil (Liu et al., 2024; Long & Zhou, 2022). Selain itu, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) juga memiliki umur

operasional yang panjang dan dapat diintegrasikan dengan sistem penyimpanan energi untuk mendukung keandalan jaringan listrik (Nikolas et al., 2023).

Almeida et al. (2021) menyatakan bahwa Pembangunan PLTA besar-besaran di Amazon, Kongo, dan Mekong menimbulkan dampak ekologis besar terhadap keanekaragaman hayati. Selanjutnya Kaunda et al. (2012) juga melaporkan bahwa Hydropower dinilai sebagai teknologi paling matang di antara energi terbarukan, namun tantangan utamanya ada pada aspek sosial dan geopolitik. Sementara itu Setiawan & Haryati (2023) menyatakan bahwa studi di Indonesia menunjukkan bahwa PLTA memiliki peran signifikan dalam bauran energi nasional, tetapi partisipasi masyarakat lokal sering diabaikan dalam perencanaan proyek.

Meskipun berbagai studi telah menyoroti potensi hydropower sebagai energi terbarukan yang efisien dan rendah emisi, sebagian besar kajian masih terfokus pada aspek teknis dan potensi skala besar (Kelly, 2019). Kajian mengenai strategi pengembangan hydropower yang berkelanjutan, khususnya dalam konteks lokal seperti Indonesia, masih terbatas. Selain itu, pendekatan yang mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan

kearifan lokal dalam pengembangan mikrohidro juga belum banyak ditelaah secara mendalam (Rumbayan & Rumbayan, 2023). Oleh karena itu, diperlukan kajian komprehensif yang tidak hanya menilai kapasitas teknis, tetapi juga mengevaluasi keberlanjutan sosial dan ekologis dari pengembangan hydropower sebagai solusi krisis energi dan lingkungan (Sarwar & Ahmad, 2021).

Artikel ini bertujuan untuk mengkaji potensi pemanfaatan hydropower sebagai solusi berkelanjutan terhadap krisis energi dan permasalahan lingkungan melalui pendekatan studi pustaka. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam merumuskan strategi transisi energi yang bersih, inklusif, dan berwawasan lingkungan.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka (*library research*), yaitu metode penelitian yang dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis informasi dari berbagai sumber literatur yang relevan dan kredibel (Arikunto, 2019). Studi pustaka dipilih karena bertujuan untuk menghimpun dan mengevaluasi data sekunder terkait pemanfaatan energi hydropower serta kontribusinya terhadap pengurangan emisi dan solusi lingkungan.

Teknik Pengumpulan Data

Sumber data dalam penelitian ini meliputi jurnal ilmiah internasional dan nasional, laporan resmi dari organisasi lingkungan dan energi, serta publikasi

kebijakan energi dari lembaga seperti IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), IRENA (International Renewable Energy Agency), dan World Bank. Literatur yang dikaji dipilih berdasarkan kriteria inklusi, yaitu (1) memuat topik terkait hydropower, energi terbarukan, atau dampak lingkungan; (2) diterbitkan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir; dan (3) berasal dari sumber terindeks dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik (Bungin, 2021; Riduwan, 2016).

Analisis Daa

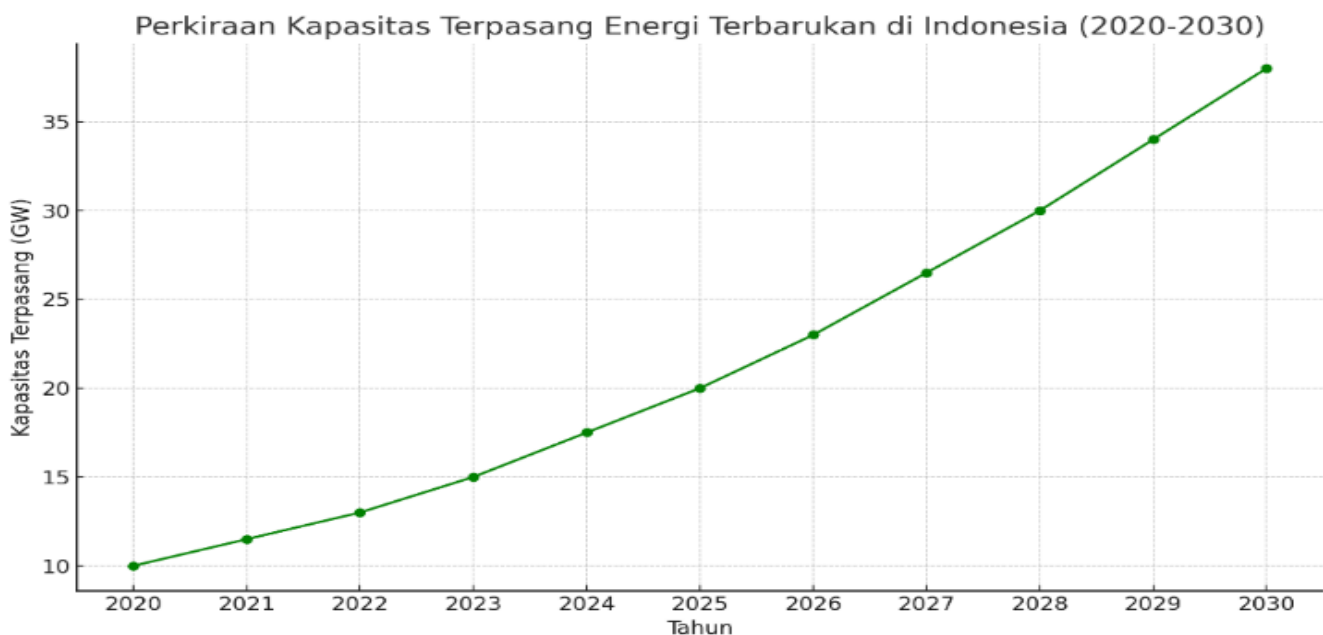
Analisis data dilakukan dengan metode *content analysis* atau analisis isi, yaitu menelaah secara mendalam konten-konten dari sumber literatur untuk mengidentifikasi pola, tema utama, serta temuan-temuan penting yang berkontribusi dalam pembahasan potensi hydropower. Selanjutnya data dianalisis menggunakan metode analisis isi (*Content Analysis*) untuk mengidentifikasi temuan, tren tematik, dan celah penelitian terkait pemanfaatan hydropower dalam konteks keberlanjutan (Krippendorff, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Proyeksi Kapasitas Energi Terbarukan Indonesia 2020–2030

Berikut grafik perkiraan kontribusi kapasitas energi terbarukan di Indonesia dari 2020 sampai proyeksi 2030: Tahun 2020 sampai 2030 (11 titik data) dan Kapasitas kapasitas terpasang dalam Gigawatt.



Gambar 1. Perkiraan Kapasitas Terpasang Energi Terbarukan di Indonesia Dar Tahun 2020 Hingga 2030

Grafik ini merupakan perkiraan kapasitas terpasang energi terbarukan di Indonesia dari tahun 2020 hingga 2030. Grafik ini menggambarkan tren kenaikan kapasitas terpasang. Lonjakan ini mencerminkan komitmen pemerintah dalam mempercepat transisi energi menuju sumber-sumber yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Kinerja dan Kontribusi Beberapa Proyek Hydropower di Indonesia

Tabel 1 berikut merangkum data kapasitas, efisiensi operasional, estimasi pengurangan emisi karbon, serta jenis pembangkit pada lima proyek hydropower representatif di Indonesia. Proyek skala besar seperti PLTA Cirata dan PLTA Batang Toru menonjol dalam kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon, masing-masing mencapai sekitar 1,6 juta ton CO₂ per tahun.

Tabel 1. Data Kapasitas, Efisiensi, dan Reduksi Emisi pada Proyek PLTA di Indonesia

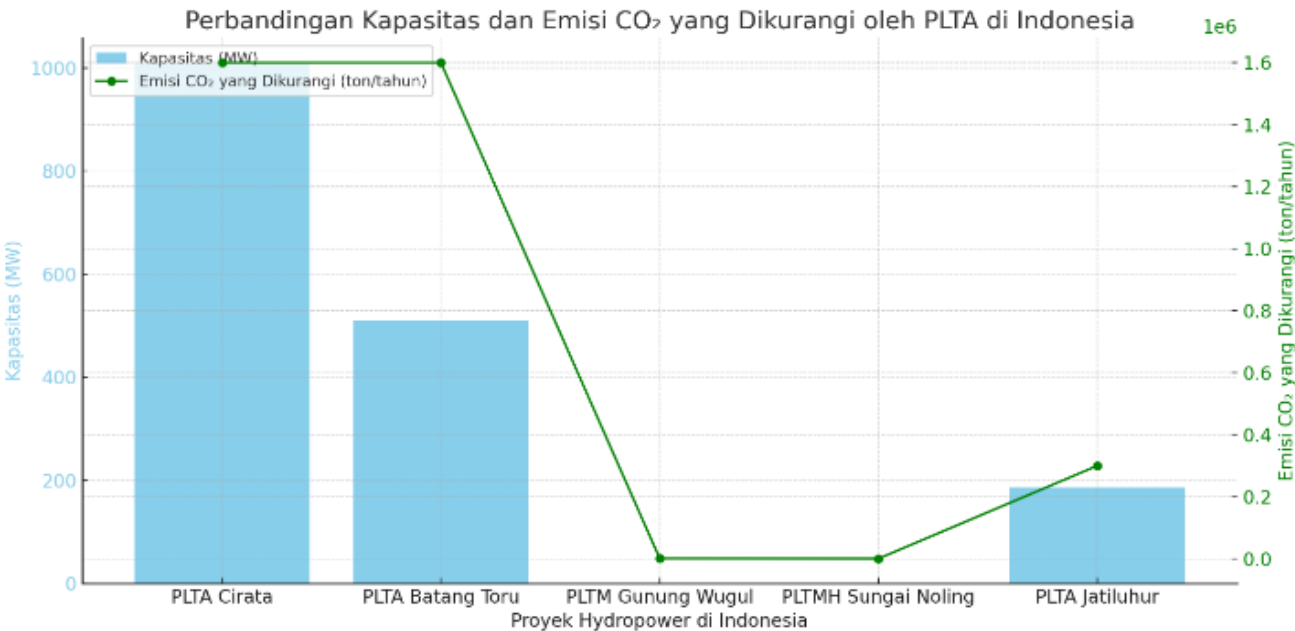
No	Nama Proyek	Lokasi	Kapasitas (MW)	Efisiensi (%)	Estimasi Emisi CO ₂ (ton/tahun)	Jenis PLTA
1	PLTA Cirata	Jawa Barat	1.008	±89%	1.600.000	Bendungan besar
2	PLTA Batang Toru	Tapanuli Selatan	510	±85%	1.600.000	Run-of-river
3	PLTM Gunung Wugul	Banjarnegara	1.2	87%	±900	Mini-hidro
4	PLTMH Sungai Noling	Luwu, Sulawesi	0.5	82%	±450	Mikro-hidro
5	PLTA Jatiluhur	Jawa Barat	186.5	±88%	±300.000	Bendungan besar

(Sumber: Diolah dari Kementerian ESDM (2020), Junaidi & Nur (2021), Cahyani & Rachmat (2021), IEA (2023))

Visualisasi Kapasitas dan Dampak Emisi Karbon

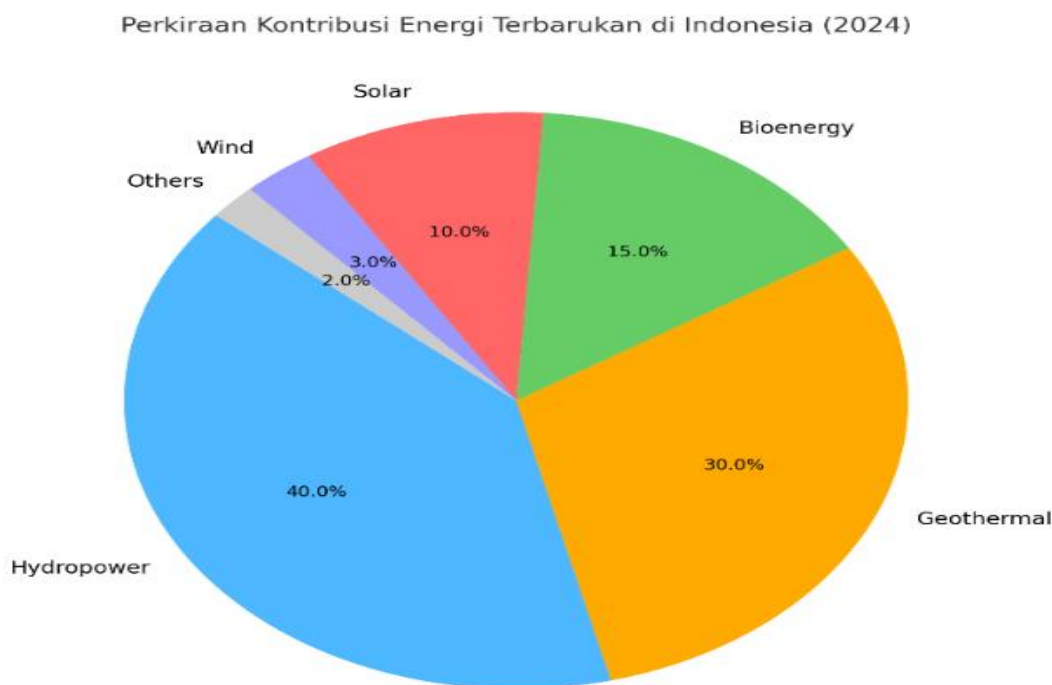
Gambar 2 menyajikan perbandingan visual antara kapasitas daya (dalam MW) dan estimasi pengurangan

emisi CO₂ (dalam ton/tahun) dari masing-masing proyek PLTA. Warna biru merepresentasikan kapasitas, sementara garis hijau menunjukkan jumlah karbon yang berhasil dikurangi.



Gambar 2. Perbandingan Kapasitas dan Pengurangan Emisi CO₂ oleh PLTA di Indonesia [Diagram kombinasi batang (MW) dan garis (ton CO₂)]

Komposisi Energi Terbarukan di Indonesia



Gambar 3. Komposisi Bauran Energi Terbarukan Indonesia (2024) [Pie chart dengan keterangan persentase kontribusi tiap jenis]

Dalam Gambar 3, ditampilkan komposisi estimasi kontribusi sumber energi terbarukan di Indonesia untuk tahun 2024. Hydropower masih mendominasi bauran energi terbarukan nasional dengan kontribusi sebesar 40%, diikuti oleh geothermal (30%), bioenergi (15%), dan lainnya (15%).

Pembahasan

Peningkatan krisis energi global dan ancaman perubahan iklim yang ditandai oleh naiknya emisi karbon dioksida telah mempercepat urgensi transisi energi menuju sumber yang lebih bersih dan berkelanjutan. Dalam konteks Indonesia, energi terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga air (PLTA), menjadi alternatif yang sangat potensial. Berdasarkan data tren 2020–2030, kapasitas terpasang energi terbarukan diproyeksikan meningkat dari sekitar 10 GW menjadi 38 GW, di mana kontribusi hydropower diperkirakan mencapai 40% dari total bauran energi terbarukan nasional.

Efisiensi dan Kapasitas PLTA

Berdasarkan Tabel 1 dan grafik perbandingan, proyek-proyek hydropower di Indonesia, seperti PLTA Cirata dan Batang Toru, menunjukkan efisiensi tinggi (85–89%) dengan pengurangan emisi karbon signifikan hingga $\pm 1,6$ juta ton CO₂ per tahun. Temuan ini

diperkuat oleh International Energy Agency (IEA, 2023), yang menyatakan bahwa hydropower merupakan energi terbarukan paling andal dalam hal efisiensi dan kapasitas penyimpanan energi jangka panjang. Efisiensi tinggi juga tercermin pada proyek skala kecil seperti PLTM Gunung Wugul (87%) dan PLTMH Sungai Noling (82%), menunjukkan bahwa teknologi turbin di Indonesia sudah mencapai tingkat kedewasaan dan adaptasi yang baik terhadap karakteristik lokal (Widiyanto et al., 2021).

Kontribusi terhadap Pengurangan Emisi

Peran hydropower dalam dekarbonisasi sistem energi sangat signifikan. PLTA skala besar seperti Batang Toru menggunakan pendekatan run-of-river yang lebih ramah lingkungan dan tetap mampu menghindari emisi karbon dalam jumlah besar (Cahyani & Rachmat, 2021). Konversi ini setara dengan penanaman lebih dari 12 juta pohon, mengindikasikan bahwa pembangunan PLTA dapat menjadi alat mitigasi perubahan iklim yang efektif (Wikipedia, 2024). Selain itu, penggunaan mikrohidro di daerah seperti Luwu menunjukkan bahwa proyek kecil pun mampu memberikan kontribusi positif terhadap target pengurangan emisi dan elektrifikasi desa (Siregar et al., 2022).

Potensi Pengembangan Lokal dan Tantangan

Keterlibatan masyarakat lokal menjadi aspek krusial dalam keberhasilan proyek hydropower. Penelitian Putri dan Handoko (2023) menekankan bahwa partisipasi masyarakat dapat meningkatkan keberterimaan proyek serta mengurangi konflik sosial yang kerap muncul akibat alih fungsi lahan. Meski demikian, tantangan ekologis seperti perubahan ekosistem sungai dan gangguan terhadap biodiversitas tetap menjadi perhatian utama (Junaidi & Nur, 2021). Oleh sebab itu, pendekatan berbasis lokal dan berbasis ekosistem menjadi penting dalam strategi pengembangan jangka panjang.

Implikasi Strategis

Secara strategis, pengembangan hydropower mendukung Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan 23% energi terbarukan dalam bauran nasional pada tahun 2025. Mini dan mikrohidro dapat menjadi solusi untuk wilayah 3T (Tertinggal, Terdepan, dan Terluar) karena memerlukan lahan yang kecil, biaya operasional rendah, dan memiliki umur sistem yang panjang (Utami et al., 2020). Dengan efisiensi tinggi dan dampak lingkungan yang dapat dikendalikan, pengembangan PLTA secara berkelanjutan dapat menjadi pilar utama dalam upaya dekarbonisasi sektor energi Indonesia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa hydropower merupakan solusi energi terbarukan yang efektif dan berkelanjutan dalam menghadapi krisis energi global serta permasalahan lingkungan, khususnya emisi gas rumah kaca. Proyek-proyek PLTA di Indonesia, baik skala besar seperti PLTA Cirata dan Batang Toru maupun skala kecil seperti PLTM Gunung Wugul dan PLTMH Sungai Noling, menunjukkan efisiensi tinggi (di atas 80%) serta kontribusi signifikan dalam mengurangi emisi karbon. Penerapan teknologi hydropower juga terbukti adaptif terhadap kondisi geografis Indonesia dan mampu menjangkau wilayah-wilayah terpencil, menjadikannya sebagai salah satu pilar penting dalam mendukung transisi energi nasional. Kendati demikian, aspek ekologis dan sosial tetap perlu mendapat perhatian, agar pengembangan dilakukan secara inklusif dan berkelanjutan. Dengan strategi berbasis lokal dan teknologi ramah lingkungan, pengembangan hydropower dapat mempercepat tercapainya target energi bersih Indonesia dan mendukung upaya mitigasi perubahan iklim global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada semua pihak, penulis-penulis yang sudah mempublikasin karyanya sehingga dapat dijadikan bahan rujukan dalam penelitian studi pustaka ini.

REFERENSI

- Almeida, R. M., Fleischmann, A. S., Brêda, J. P., Cardoso, D. S., Angarita, H., Collischonn, W., & Flecker, A. S. (2021). Climate change may impair electricity generation and economic viability of future Amazon hydropower. *Global Environmental Change*, 71, 102383. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102383>
- Arikunto, S. (2019). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik* (Revisi ed.). Rineka Cipta.
- Atria Rihanah. (2022). *Media Pembelajaran Berbasis QR Code dalam Pembelajaran IPA*. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 8(2), 120–129.
- Bungin, B. (2021). *Metodologi Penelitian Kualitatif: Aktualisasi Metodologis ke Arah Ragam Varian Kontemporer*. Rajawali Pers.
- Cahyani, I. A., & Rachmat, A. (2021). Kelayakan lingkungan pengembangan PLTA di kawasan konservasi. *Jurnal Energi Terbarukan*, 15(2), 45–53.
- George, M. W. (2008). *The Elements of Library Research: What Every Student Needs to Know*. Princeton University Press.
- International Energy Agency. (2023). *Renewable energy market update: Hydropower outlook*. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2023>
- Junaidi, A., & Nur, H. (2021). Analisis kinerja pembangkit listrik tenaga air di Indonesia. *Jurnal Teknik Energi*, 8(1), 12–21.
- Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z., & Nielsen, T. K. (2012). Hydropower in the Context of Sustainable Energy Supply: A Review of Technologies and Challenges. *ISRN Renewable Energy*, 1–15. <https://doi.org/10.5402/2012/730631>
- Kelly, S. (2019). Megawatts mask impacts: Small hydropower and knowledge politics in the Puelwillimapu, Southern Chile. *Energy Research & Social Science*, 54, 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.04.014>

- Krippendorff, K. (2018). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology* (4th ed.). Sage Publications.
- Liu, Y., Wang, X., G., Zhou, W., & Cheng, X. (2024). Carbon Emissions and Vegetation Dynamics: Assessing the Spatiotemporal Environmental Impacts of Hydropower Dams in the Lancang River Basin. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f15050872>.
- Long, S., & Zhou, S. (2022). Assessment on Changes of Ecosystem Carbon Storage in Reservoir Area due to Hydroproject. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7511216>.
- Mayer, A. (2022). Fossil fuel dependence and energy insecurity. *Energy, Sustainability and Society*, 12, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13705-022-00353-5>.
- Nikolaos, P. C., Marios, F., & Dimitris, K. (2023). A review of pumped hydro storage systems. *Energies*, 16(11), 4516. <https://doi.org/10.3390/en16114516>
- Putri, N. D., & Handoko, T. (2023). Partisipasi masyarakat dalam proyek PLTA: Kajian sosiologis. *Jurnal Sains Sosial dan Energi*, 5(3), 67–78.
- Riduwan. (2016). *Metode dan Teknik Menyusun Tesis*. Alfabeta.
- Rosalinda, R., Suhendar, S., & Setiono, S. (2021). Identification Of Scientific Argumentation of High School Students on the Ecosystem Topics. *Jurnal Pelita Pendidikan*, 9(2), 79-86. <https://doi.org/10.24114/jpp.v9i2.24940>
- Rumbayan, M., & Rumbayan, R. (2023). Feasibility Study of a Micro Hydro Power Plant for Rural Electrification in Lalumpe Village, North Sulawesi, Indonesia. *Sustainability* 2023, 15, 14285. <https://doi.org/10.3390/su151914285>
- Sarwar, S., & Ahmad, A. B. (2021). Sustainability Assessment of Micro-Hydropower Projects. *International Journal of Engineering Works*, 8(04), 126-131. <https://doi.org/10.34259/ijew.21.804126131>
- Setiawan, A. A., & Haryati, T. (2023). Analisis Kelayakan Pendanaan Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) di Sulawesi Barat. *Ekonomis: Journal of Economics and Business*, 7(1), 199-204. <https://doi.org/10.33087/ekonomis.v7i1.798>
- Siregar, F., Nursyam, M., & Hidayat, T. (2022). Peran mikrohidro dalam pemerataan energi di wilayah 3T. *Jurnal Energi dan Pembangunan Daerah*, 4(1), 55–64.
- Utami, T. R., Sugiarto, & Hapsari, D. (2020). Evaluasi efisiensi pembangkit minihidro di Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Energi*, 6(2), 103–112.
- Widiyanto, A., Rachman, A., & Nurhayati, I. (2021). Pemilihan turbin optimal untuk mikrohidro di daerah datar. *Jurnal Rekayasa Energi*, 7(1), 88–95.
- Wikipedia. (2024). *Daftar proyek PLTA di Indonesia*. https://id.wikipedia.org/wiki/PLTA_di_Indonesia
- Yin, Q., Li, A., & Han, C. (2024). The Role of Solar Photovoltaic Roofs in Energy-Saving Buildings: Research Progress and Future Development Trends. *Buildings* (2075-5309), 14(10). <https://doi.org/10.3390/buildings14103091>