

# Kajian Pengembangan Teknologi Berbasis Energi Terbarukan, Pengelolaan Air, dan Pirolisis Sampah Rumah Tangga

Kelvin Khoidir<sup>1</sup>, Tiwi Sartika<sup>2</sup>, dan Rachels Putri Raagini Br. Bukit<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universitas Al Azhar Medan; email : [kerenkanbangada123@gmail.com](mailto:kerenkanbangada123@gmail.com)

<sup>2</sup> Universitas Al Azhar Medan; email : [tiwisartika86@gmail.com](mailto:tiwisartika86@gmail.com)

<sup>3</sup> Universitas Al Azhar Medan; email : [rachelsraagini@gmail.com](mailto:rachelsraagini@gmail.com)

\* Penulis : Kelvin Khoidir

**Abstract:** Sustainable development demands efficient and environmentally friendly resource management. This study examines the integration of three main systems: micro-hydro power plants (MHP), water-saving plumbing systems, and household waste pyrolysis devices. All three are analyzed through literature studies and data comparisons from three case studies in Indonesia. The results show that the MHP in Batu Rangin Hamlet is capable of producing 48.56 kW of power and reducing CO<sub>2</sub> emissions by 156 tons/year. The water-saving plumbing system in Rusun Brimob Sampali reduces water consumption by 33.52% and increases water recycling efficiency by 87%. Meanwhile, household waste pyrolysis produces bio-oil with high calorific value and shows economic potential with an ROI of 1.58. The integration of these three systems forms a mutually supportive resource management model, with a sustainability index of 3.7 out of 5. This approach is in line with the concept of a circular economy and has the potential to be widely applied in rural areas of Indonesia.

**Keywords:** renewable energy; micro hydropower; water saving; pyrolysis; sustainable development; circular economy

**Abstrak:** Pembangunan berkelanjutan menuntut pengelolaan sumber daya yang efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini mengkaji integrasi tiga sistem utama: pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), sistem plumbing hemat air, dan alat pirolisis sampah rumah tangga. Ketiganya dianalisis melalui studi literatur dan perbandingan data dari tiga studi kasus di Indonesia. Hasil menunjukkan bahwa PLTMH di Dusun Batu Rangin mampu menghasilkan daya 48,56 kW dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 156 ton/tahun. Sistem plumbing hemat air di Rusun Brimob Sampali menurunkan konsumsi air hingga 33,52% dan meningkatkan efisiensi daur ulang air hingga 87%. Sementara itu, pirolisis sampah rumah tangga menghasilkan bio-oil dengan nilai kalor tinggi dan menunjukkan potensi ekonomi dengan ROI 1,58. Integrasi ketiga sistem ini membentuk model pengelolaan sumber daya yang saling mendukung, dengan indeks keberlanjutan 3,7 dari 5. Pendekatan ini sejalan dengan konsep circular economy dan berpotensi diterapkan secara luas di wilayah pedesaan Indonesia.

**Kata kunci:** energi terbarukan; PLTMH; hemat air; pirolisis; pembangunan berkelanjutan; circular economy

Diterima: Mei 17, 2025

Direvisi: Mei 27, 2025

Diterima: Juni 29, 2025

Diterbitkan: Juli 2, 2025

Versi sekarang: Juli 2, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan

publikasi akses terbuka

berdasarkan syarat dan ketentuan

lisensi Creative Commons

Attribution (CC BY SA) (

[https://creativecommons.org/lic](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

[enses/by-sa/4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) )

## 1. Pendahuluan

Energi terbarukan, pengelolaan air, dan pengolahan sampah merupakan tiga isu semakin diakui sebagai penting untuk pembangunan berkelanjutan. Koneksi ini menunjukkan bagaimana menggabungkan sumber energi terbarukan ke dalam pengolahan air limbah dapat merangsang penggunaan kembali air, menurunkan emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan efisiensi.[1]Pertumbuhan penduduk yang pesat dan peningkatan kebutuhan energi serta air bersih mendorong pengembangan teknologi yang efektif dan ramah lingkungan. Sektor energi Indonesia masih didominasi oleh energi fosil yang mencapai 87% dari total produksi energi nasional [2]Sementara itu, pengelolaan air yang tidak efisien menimbulkan krisis air di berbagai daerah, dengan tingkat kebocoran air nasional yang mencapai rata-rata 33%. [3] Permasalahan sampah juga semakin kompleks dengan produksi sampah nasional yang mencapai 68,5 juta ton per tahun dengan pengelolaan yang belum optimal. [4]

Penelitian ini menyatukan tiga kajian berbeda yang berfokus pada pengembangan mikro hidro sebagai sumber energi terbarukan, optimalisasi sistem plumbing hemat air, dan pengembangan pirolisis sampah rumah tangga sebagai solusi pengelolaan limbah organik. Integrasi ketiga aspek ini sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan dan circular economy yang menjadi fondasi penting transisi energi di Indonesia. [5]Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan terpadu dalam pengelolaan sumber daya dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan

## 2. Tinjauan Literatur

serta minimnya dampak lingkungan., potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar dan dapat mendukung transisi menuju sistem kelistrikan 100% terbarukan. Hal ini diperkuat oleh studi lokal yang menunjukkan PLTMH dapat memberikan pasokan energi yang stabil dan berkelanjutan di daerah pedesaan dengan dampak emisi yang minimal.

Di sisi lain, sektor air mengalami tekanan akibat peningkatan kebutuhan dan inefisiensi sistem distribusi. Penggunaan teknologi plumbing hemat air yang memanfaatkan air abu-abu menjadi solusi yang banyak dikaji. optimalisasi distribusi air dan pemanfaatan ulang air limbah dapat secara signifikan mengurangi konsumsi air bersih. Implementasi sistem daur ulang air dengan efisiensi pemurnian hingga 87% menunjukkan bahwa integrasi teknologi ini tidak hanya berdampak pada konse

## 3. Metode

Penelitian dilakukan melalui studi literatur dan analisis komparatif dari tiga jurnal utama:

1. Pengembangan PLTMH di Dusun Batu Rangin untuk memanfaatkan potensi aliran sungai sebagai sumber energi terbarukan dengan potensi daya 48,5595 kW.
2. Optimalisasi sistem plumbing hemat air di Rusun Brimob Sampali Medan, yang menggunakan teknologi daur ulang air abu-abu dan perangkat hemat air untuk mengurangi konsumsi air hingga 33.52%. Metode analisis efisiensi air menggunakan parameter yang dikembangkan dengan integrasi model perhitungan water footprint.[6]
3. Pengembangan alat pirolisis sampah rumah tangga di Sleman, yang menghasilkan bio-oil, arang, dan gas dengan analisis kelayakan ekonomi yang menunjukkan ROI 1.58% dan B/C Ratio 1.18. Desain reaktor pirolisis mengadopsi model yang dikembangkan dengan optimasi pada sistem pemanas dan kondensor untuk meningkatkan efisiensi konversi energi.

Metode triangulasi data digunakan untuk validasi hasil analisis dengan mempertimbangkan berbagai perspektif dari tiga domain teknologi yang berbeda.

## 4. Hasil dan Pembahasan

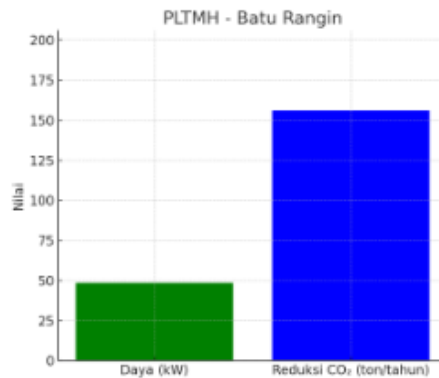
### A.Potensi Energi Mikro Hidro di Dusun Batu Rangin

Terutama di daerah pedesaan dengan akses terbatas ke sumber daya listrik, energi mikro-hidro sangat penting untuk mendorong pembangunan berkelanjutan. Pembangkit listrik mikro-hidro menawarkan sumber energi yang andal dan berkelanjutan dengan memanfaatkan potensi sumber air kecil.[7]Kajian PLTMH menunjukkan potensi besar dari aliran sungai dengan debit 4,95 m<sup>3</sup>/dtk dan head 1 meter, menghasilkan daya listrik sebesar 48,5595 kW. Hasil ini konsisten yang menunjukkan bahwa potensi mikro hidro di daerah pegunungan

Indonesia dapat dioptimalkan dengan head rendah melalui penggunaan turbin cross-flow yang termodifikasi.[8] Implementasi teknologi ini tidak hanya mendukung pasokan energi lokal tetapi juga dapat menjadi model bagi daerah lain yang memiliki potensi aliran sungai yang serupa

**4.1 . Gambar dan Tabel**

Letakkan gambar dan tabel di bagian atas dan bawah kolom. Hindari meletakkannya di tengah kolom. Gambar dan tabel yang besar dapat membentang di kedua kolom. Judul gambar harus berada di bawah gambar; judul tabel harus muncul di atas tabel. Sisipkan gambar dan tabel setelah dikutip dalam teks. Gunakan singkatan “Gbr. 1”, bahkan di awal kalimat.



**Gambar 1.** Diagram Potensi Energi Mikro Hidro di Dusun Batu Rangin.

**Tabel 1.** Data Potensi Energi Mikro Hidro di Dusun Batu Rangin

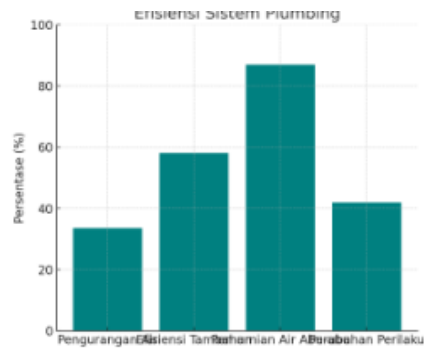
Parameter	Nilai
Debit air sungai	4,95 m <sup>3</sup> /detik
Head (ketinggian jatuh)	1 meter
Daya listrik dihasilkan	48,5595 kW
Potensi suplai listrik	120–150 rumah tangga
Pengurangan emisi CO <sub>2</sub>	156 ton per tahun

Analisis dampak lingkungan menunjukkan bahwa PLTMH di lokasi studi memiliki ecological footprint yang minimal dibandingkan dengan alternatif pembangkit listrik konvensional, dengan potensi pengurangan emisi CO<sub>2</sub> hingga 156 ton per tahun.[9] Lebih lanjut, model partisipasi masyarakat dapat diadopsi untuk meningkatkan keberlanjutan operasional PLTMH di Dusun Batu Rangin melalui pembentukan kelompok pengelola energi berbasis komunitas.[10]

**B.Optimalisasi Sistem Plumbing Hemat Air di Rusun Brimob Sampali**

Istilah "optimisasi sistem pipa hemat air" menggambarkan peningkatan sistem pipa secara metodis untuk mengurangi penggunaan air sambil mempertahankan fungsionalitas dan efisiensi. Berbagai teknik dan teknologi digunakan dalam optimasi ini dengan tujuan mengurangi konsumsi sumber daya dan meningkatkan efisiensi sistem. Memasang perlengkapan hemat air, mendaur ulang air limbah, dan merancang sistem pipa dengan tepat agar sesuai dengan kebutuhan air yang sebenarnya adalah taktik kunci.[11]

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem plumbing hemat air yang terintegrasi dengan teknologi daur ulang air abu-abu mampu mengurangi konsumsi air hingga 33.52% dan memberikan tambahan efisiensi sebesar 58.17%.[12]



**Gambar 2.** Diagram Optimalisasi Sistem Plumbing Hemat Air di Rusun Brimob Sampali

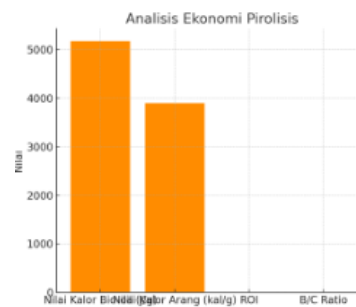
**Tabel 2.** Data Optimalisasi Sistem Plumbing Hemat Air di Rusun Brimob Sampali

Parameter	Nilai
Pengurangan konsumsi air	33.52%
Efisiensi tambahan dari daur ulang	58.17%
Efisiensi pemurnian air abu-abu	87%
Peningkatan perilaku hemat air	42%

Implementasi teknologi hemat air di rusun yang diteliti menerapkan sistem filtrasi bertingkat yang memungkinkan pemurnian air abu-abu hingga memenuhi standar air non-konsumsi dengan efisiensi 87%. Edukasi kepada penghuni rusun juga meningkatkan kesadaran terhadap pentingnya konservasi air,[13] dengan peningkatan perilaku hemat air sebesar 42% setelah program edukasi, sebagaimana hasil observasi yang sejalan dengan model perubahan.[14]

**C. Pengembangan Alat Pirolisis Sampah Rumah Tangga**

Peralatan pirolisis limbah rumah tangga mengacu pada sistem khusus yang dirancang untuk menguraikan bahan organik dan anorganik secara termal dari limbah domestik menjadi produk berharga seperti bio-oil, biochar, dan syngas. Teknologi ini beroperasi di bawah kondisi terkendali, biasanya pada suhu tinggi, untuk memfasilitasi konversi limbah menjadi energi dan bahan yang dapat digunakan lainnya, sehingga menangani pengelolaan limbah dan produksi energi secara bersamaan.[15]Pirolisis sampah organik menghasilkan bio-oil dengan nilai kalor hingga 5175,35 J/g, arang dengan nilai kalor 3900 kal/g, dan gas. Hasil ini selaras dengan penelitian yang menunjukkan bahwa optimasi temperatur pirolisis pada 450-500°C menghasilkan bio-oil dengan karakteristik terbaik untuk aplikasi bahan bakar alternatif.



**Gambar 3.** Diagram Pengembangan Alat Pirolisis Sampah Rumah Tangga

**Tabel 3.** Data Pengembangan Alat Pirolisis Sampah Rumah Tangga

Parameter	Nilai
Nilai kalor bio-oil	5175,35 J/g
Nilai kalor arang	3900 kal/g
ROI (Return on Investment)	1.58
B/C Ratio	1.18

Analisis komposisi kimia bio-oil yang dilakukan menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) menunjukkan kandungan senyawa hidrokarbon yang potensial sebagai bahan bakar alternatif, dengan dominasi senyawa phenol, ketones, dan asam karboksilat, dalam studi pirólisis biomassa berbahan dasar sampah pasar.[16] Meski secara ekonomi belum terlalu menguntungkan (ROI 1.58%), potensi pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan melalui peningkatan skala produksi dan integrasi sistem daur ulang gas dalam studi kelayakan ekonomi sistem pirolisis terintegrasi.

#### D. Integrasi Sistem Energi-Air-Sampah

Integrasi Sistem Energi Air Limbah mengacu pada pendekatan sinergis menggabungkan proses pengolahan air limbah dengan pembangkit energi dan sistem manajemen. [17] Analisis integrasi ketiga teknologi menunjukkan potensi sinergi yang signifikan dalam menciptakan sistem yang berkelanjutan. Energi yang dihasilkan dari PLTMH dapat digunakan untuk mengoperasikan sistem pengolahan air dan unit pirolisis, sementara air abu-abu yang diolah dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan non-konsumsi dalam operasional PLTMH. Produk pirolisis berupa bio-oil dan gas dapat menjadi sumber energi alternatif pada saat produksi PLTMH menurun akibat faktor musiman.

Model integrasi ini sejalan dengan konsep nexus energy-water-waste yang menekankan pentingnya pendekatan holistik dalam pengelolaan sumber daya. Analisis keberlanjutan menggunakan metode multi-criteria decision analysis (MCDA) menunjukkan bahwa sistem terintegrasi ini memiliki indeks keberlanjutan 3,7 dari skala 5, yang mengindikasikan potensi tinggi untuk dikembangkan sebagai model pengelolaan sumber daya terpadu di wilayah pedesaan.[18]

### 5. Perbandingan

Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi ramah lingkungan telah berkembang pesat, terutama pada tiga sektor utama: pembangkit energi terbarukan, efisiensi penggunaan air, dan pengolahan limbah. Meskipun begitu, implementasi teknologi-teknologi ini umumnya masih terfokus secara sektoral dan belum sepenuhnya terintegrasi, terutama di kawasan pedesaan.

**Di sektor energi**, pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) telah banyak digunakan di wilayah terpencil sebagai solusi alternatif listrik. Namun, sebagian besar teknologi yang digunakan mengandalkan *head* (ketinggian air jatuh) yang relatif tinggi, sehingga terbatas penerapannya di daerah dengan kontur rendah. Dalam studi ini, PLTMH berhasil dioptimalkan dengan menggunakan turbin *cross-flow* termodifikasi untuk *head* hanya 1 meter, dan tetap mampu menghasilkan daya hingga 48,56 kW. Ini merupakan terobosan signifikan karena memungkinkan desa-desa dengan potensi aliran air kecil tetap bisa memanfaatkan sumber energi lokal secara berkelanjutan, sekaligus menurunkan emisi karbon hingga 156 ton per tahun.

**Pada sisi pengelolaan air**, pendekatan hemat air sebelumnya lebih banyak diaplikasikan di bangunan komersial atau industri. Teknologi daur ulang air abu-abu seringkali tidak efisien ketika diterapkan dalam lingkungan hunian yang padat. Studi ini menampilkan pendekatan berbeda dengan menerapkan sistem plumbing hemat air di rumah susun (rusun) Brimob Sampali. Melalui teknologi filtrasi bertingkat dan penggunaan alat hemat air, sistem ini mampu menurunkan konsumsi air hingga 33,52% dan meningkatkan efisiensi pemurnian air hingga 87%. Keunggulan lain yang ditawarkan adalah dimensi edukatif: pendekatan ini secara nyata meningkatkan kesadaran penghuni terhadap konservasi air, dibuktikan dengan peningkatan perilaku hemat air hingga 42%.

Sementara itu, di sektor pengelolaan sampah, teknologi pirolisis umumnya dikenal sebagai sistem pengolahan limbah organik berskala industri. Kompleksitas sistem dan kebutuhan energi tinggi membuat teknologi ini sulit dijangkau oleh masyarakat rumah tangga. Penelitian ini menghadirkan solusi baru berupa alat pirolisis skala rumah tangga, yang mampu mengolah sampah menjadi bio-oil dengan nilai kalor 5175,35 J/g dan arang berkualitas tinggi. Meskipun pengembalian investasinya masih tergolong moderat (ROI 1,58), pendekatan ini membuka peluang besar untuk pengelolaan limbah rumah tangga yang terdesentralisasi dan mandiri.

Keunggulan terbesar dari penelitian ini terletak pada **kemampuan mengintegrasikan ketiga sistem**—energi, air, dan limbah—ke dalam satu pendekatan terpadu yang saling mendukung. Energi dari PLTMH digunakan untuk mengoperasikan sistem pirolisis dan daur ulang air, sementara produk dari pirolisis dapat menjadi sumber energi cadangan ketika produksi listrik turun. Pendekatan ini selaras dengan konsep *nexus* energi-air-limbah dan *circular economy*, serta menunjukkan nilai indeks keberlanjutan sebesar 3,7 dari 5—indikasi bahwa model ini layak diterapkan di berbagai wilayah pedesaan di Indonesia.

Dengan demikian, dibandingkan dengan *state of the art* yang masih bersifat sektoral dan fokus pada skala besar, pendekatan dalam studi ini menawarkan **solusi lokal yang terjangkau, terintegrasi, dan berkelanjutan**, menjadikannya model potensial dalam pembangunan pedesaan yang mandiri dan ramah lingkungan.

## 6. Kesimpulan

Kajian ini menegaskan bahwa integrasi teknologi berbasis energi terbarukan, sistem pengelolaan air hemat, dan pirolisis sampah rumah tangga memiliki potensi besar dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan di wilayah pedesaan Indonesia. Hasil studi menunjukkan bahwa:

1. **PLTMH di Dusun Batu Rangin** mampu menghasilkan daya sebesar 48,56 kW dengan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> mencapai 156 ton per tahun, serta mampu melistriki hingga 150 rumah tangga secara berkelanjutan.
2. **Sistem plumbing hemat air di Rusun Brimob Sampali** berhasil mengurangi konsumsi air hingga 33,52% dengan efisiensi pemurnian air abu-abu mencapai 87%, serta membentuk perilaku hemat air pada penghuni sebesar 42%.
3. **Alat pirolisis sampah rumah tangga di Sleman** menghasilkan bio-oil bernilai kalor tinggi (5175,35 J/g) serta menunjukkan kelayakan ekonomi awal dengan ROI sebesar 1,58 dan B/C Ratio 1,18.
4. **Model integrasi ketiga sistem** menunjukkan sinergi dalam pemanfaatan energi, air, dan limbah, dengan indeks keberlanjutan mencapai 3,7 dari 5. Hal ini menunjukkan potensi sistem ini untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai pendekatan terintegrasi berbasis *circular economy*.

**Pendanaan:** Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

**Pernyataan Ketersediaan Data:** kami mencari data data yang ada sebelumnya dengan mereview jurnal yang telah ada 5 tahun terakhir.

**Ucapan Terima Kasih:** Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih kepada para dosen pembimbing dan rekan-rekan akademisi yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran konstruktif selama proses penelitian berlangsung.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak pengelola data dan informasi dari lokasi studi di Dusun Batu Rangin, Rusun Brimob Sampali, dan wilayah Sleman, yang telah memberikan akses dan kerja sama selama pengumpulan data. Tidak lupa, penghargaan kami sampaikan kepada keluarga dan rekan-rekan yang telah memberikan semangat dan motivasi selama penyusunan karya ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan teknologi berbasis energi terbarukan, pengelolaan air, dan pengolahan sampah secara berkelanjutan di Indonesia.

## Referensi

- [1] B. Del Río-Gamero, A. Ramos-Martín, N. Melián-Martel, and S. Pérez-Báez, “Water-energy nexus: A pathway of reaching the zero net carbon in wastewater treatment plants,” *Sustain.*, vol. 12, no. 22, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/su12229377.
- [2] J. Langer, J. Quist, and K. Blok, “Review of renewable energy potentials in Indonesia and their contribution to a 100% renewable electricity system,” *Energies*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/en14217033.
- [3] I. L. S. Purnama, S. D. Salamah, K. A. Wandari, and V. A. Primacintya, “Integrated groundwater resource management in the peri-urban area of Banguntapan, Bantul,” *E3S Web Conf.*, vol. 200, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202020002017.
- [4] T. Chen, X. Ku, J. Lin, and H. Ström, “CFD-DEM simulation of biomass pyrolysis in fluidized-bed reactor with a multistep kinetic scheme,” *Energies*, vol. 13, no. 20, 2020, doi: 10.3390/en13205358.
- [5] T. Mikro, H. Pltmh, and D. I. Desa, “Analisis Perencanaan Pembangkit Listrik,” vol. 13, no. 1, pp. 41–45, 2024.
- [6] I. Sriyana, “Evaluation of Micro Hydro Power Plants in Central Java toward Sustainability against Hydrology Condition of Watershed,” *E3S Web Conf.*, vol. 73, no. 2018, pp. 0–5, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/20187301017.
- [7] M. Syaiful Alim, Arya Dewa Nugroho, Suyono Thamrin, and Rudy Laksmono, “Optimization of Micro Hydro Power Plants to Support Community Energy and Indonesian National Army Training in Gunung Halu, West Bandung Regency,” *Int. J. Humanit. Educ. Soc. Sci.*, vol. 3, no. 5, pp. 2613–2622, 2024, doi: 10.55227/ijhess.v3i5.994.
- [8] R. K. Mishra, M. Misra, and A. K. Mohanty, “Value-Added Bio-carbon Production through the Slow Pyrolysis of Waste Bio-oil: Fundamental Studies on Their Structure-Property-Processing Co-relation,” *ACS Omega*, vol. 7, no. 2, pp. 1612–1627, 2022, doi: 10.1021/acsomega.1c01743.
- [9] M. Chaerul and V. Allia, “Tinjauan Kritis Studi Life Cycle Assessment (LCA) di Indonesia,” *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 816–823, 2019, doi: 10.32672/jse.v5i1.1653.
- [10] Z. H. Siregar *et al.*, “Pengembangan aliran sungai sebagai potensi Pembangkit Listrik Mikro Hidro serta edukasi dan akulturasi di Desa Meranti Tengah Dusun Batu Rangin Kecamatan Pintu Pohan Meranti Kabupaten Tobasa,” *J. Derma Pengabd. Dosen Perguru. Tinggi (Jurnal DEPUTI)*, vol. 4, no. 1, pp. 264–269, 2024, doi: 10.54123/deputi.v4i1.325.
- [11] O. M. Awe, S. T. A. Okolie, and O. S. I. Fayomi, “Optimization of Water Distribution Systems: A Review,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1378, no. 2, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1378/2/022068.
- [12] M. Edukasi, T. Dan, and M. Limbah, “rusun sampali medan,” vol. 5, no. 1, pp. 329–340, 2025, doi: 10.54123/deputi.v5i1.399.
- [13] P. S. Komala *et al.*, “ANALISIS ALAT PLAMBING HEMAT AIR DI GEDUNG PERKANTORAN ( STUDI KASUS : GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS ANDALAS ),” vol. 11, no. 1, pp. 13–23, 2025.
- [14] C. Song, Y. Rong, R. Liu, L. Oxley, and H. Ma, “Testing the Effects of Water-Saving Technologies Adapted to Drought: Empirical Evidence from the Huang-Huai-Hai Region in China,” *Land*, vol. 11, no. 12, 2022, doi: 10.3390/land11122136.
- [15] V. I. Matyukhin, Y. G. Yaroshenko, O. V. Matyukhin, and S. Y. Zhuravlev, “Energy Efficient Technology of Solid Domestic Waste Recycling in Shaft Furnaces of Cupola Type,” *KnE Mater. Sci.*, vol. 2, no. 2, p. 8, 2020, doi: 10.18502/kms.v2i2.939.
- [16] D. M. Hasyim, H. Hafid, R. O. Tarru, and S. A. Pramono, “Pengembangan Sistem Pengelolaan Sampah Organik Berbasis Komposter Otomatis di Kawasan Perkotaan Kabupaten Garut Kecamatan Tarogong Kaler,” vol. 5, no. 2, pp. 384–391, 2025.
- [17] R. Items, W. Rose, W. Rose, T. If, and W. Rose, “Investigating Opportunities for Integration of Existing Distributed Infrastructure to Reduce Carbon Emissions from Domestic Heating,” 2022.
- [18] M. Yasir, Z. H. Siregar, and Mawardi, “Desain dan Konsep Alat Pirolisis Sampah Rumah Tangga dengan Kajian Kelayakan Ekonomi,” *Abdimas Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 135–142, 2024, doi: 10.59525/aij.v4i2.405.