OPEN ACCESS

THERMOPLAST: PERANCANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK DARI SAMPAH PLASTIK DENGAN PENINGKATAN KINERJA *THERMOELECTRIC GENERATOR*

Yuliana Fadhilah Jayaningsih[1], Naufalida Rizka Fatimah[2], Eka Fitriani Ahmad[3]
[1, 2, 3] Program Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Politeknik Ketenagakerjaan, Jakarta Timur, Indonesia

Email: yulianafdillah@gmail.com[1], naufalida04@gmail.com[2], ekafitrianiahmad@gmail.com[3]

ABSTRAK

Seiring pesatnya perkembangan teknologi di era modern, kebutuhan akan energi terutama energi listrik terus meningkat. Hampir setiap aktivitas manusia kini bergantung pada perangkat elektronik yang membutuhkan pasokan listrik yang stabil. Namun, sebagian besar pasokan listrik saat ini masih bergantung pada sumber daya alam yang tidak terbarukan, seperti batu bara dan minyak bumi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam pemanfaatan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan. Di sisi lain, pengelolaan sampah, khususnya sampah plastik, masih menjadi permasalahan serius di Indonesia. Berdasarkan data Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), sekitar 11,3 juta ton sampah tidak terkelola dengan baik setiap tahunnya. Pengolahan sampah plastik melalui pembakaran terbuka berpotensi menghasilkan senyawa berbahaya, seperti *hidrogen sulfida* (H_2S), yang bersifat korosif dan beracun, sehingga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pembangkit listrik yang memanfaatkan panas dari proses insinerasi sampah plastik. Energi panas yang dihasilkan akan digunakan untuk menciptakan perbedaan suhu pada material termoelektrik yang dipasang di sekitar insinerator. Perbedaan suhu ini akan dikonversi menjadi energi listrik melalui efek termoelektrik. Listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendukung operasional fasilitas pengolahan sampah atau dialirkan ke jaringan listrik sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Sampah plastik, Energi terbarukan, *Thermoelectric Generator Insinerasi*.

ABSTRACT

With the rapid advancement of technology in the modern era, the demand for energy especially electricity continues to increase. Almost every human activity today relies on electronic devices that require a stable supply of electricity. However, most of the current electricity supply still depends on non-renewable natural resources, such as coal and petroleum. Therefore, innovation in utilizing alternative and more sustainable energy sources is urgently needed. On the other hand, waste management, particularly plastic waste, remains a serious issue in Indonesia. According to data from the National Research and Innovation Agency (BRIN), approximately 11.3 million tons of waste are not properly managed each year. The open burning of plastic waste has the potential to release harmful compounds such as hydrogen sulfide (H_2S), which is corrosive and toxic, thus posing negative environmental impacts. This study aims to design an electricity generator that utilizes heat from the incineration process of plastic waste. The thermal energy produced will be used to create a temperature difference on

thermoelectric materials installed around the incinerator. This temperature gradient is then converted into electrical energy through the thermoelectric effect. The electricity generated can be used to support the operation of the waste processing facility or be distributed to the power grid as an environmentally friendly alternative energy source.

Keywords: *Plastic waste, Renewable energy, Thermoelectric Generator Incineration.*

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat hal ini juga berbanding lurus dengan kebutuhan listrik yang semakin besar, terutama dengan kemajuan di sektor industri yang semakin memperluas penggunaan listrik. Minyak bumi sebagai bahan bakar utama untuk energi saat ini akan habis seiring waktu. Oleh karena itu, selain menghemat penggunaan energi dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, perlu mencari sumber energi baru untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan (Dian A. K., et al., 2025). Salah satu solusi adalah dengan memanfaatkan energi listrik terbarukan, seperti tenaga surya, angin, air, panas bumi, dan proses biologi. Energi biologis berasal dari energi biomassa dengan mengonversi bahan biologi seperti sampah.

Sampah menjadi masalah utama di banyak kota, terutama sampah plastik. Berdasarkan jurnal oleh Fadhilah (2020) yang dikutip dari *Synthesis Report Indonesia Marine Debris Hotspot* Tahun 2018, komposisi MSW Indonesia rata-rata terdiri dari sampah organik sebanyak 63,18%, diikuti oleh plastik (13,16%), kertas (8,75%), kayu (6,97%), logam (1,06%), kaca (0,99%), dan lainnya (3,17%). Sampah plastik tampak sederhana, namun penyebarannya yang tidak terkelola dapat merusak banyak habitat karena plastik membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terurai secara alami.

Pada awalnya, kantong plastik dibuat untuk menyelamatkan bumi dan melindungi lingkungan dari penebangan pohon akibat penggunaan kantong kertas. Pada tahun 1907, Leo Baekeland menemukan *Bakelite* yang merupakan sintesis pertama di dunia menggunakan bahan bakar fosil dan fenol asam yang berasal dari batu bara (Arwini, 2017). Penemuan ini menandai awal berkembangnya plastik yang kemudian menjadi material penting dalam berbagai industri. Namun, seiring perkembangan dan penggunaannya yang luas, plastik juga menimbulkan sejumlah efek negatif. Plastik tertentu mudah terbakar dan mengandung zat berbahaya yang dapat merusak kesehatan manusia. Masalah sampah semakin rumit dengan munculnya dampak lingkungan yang harus segera diatasi serta adanya tuntutan untuk mencapai sistem pengelolaan sampah yang ramah lingkungan.

Salah satu metode dalam mereduksi volume dan berat sampah adalah dengan teknologi *Waste to Energy* (WtE) secara termal dengan sistem pembakaran dan memanfaatkan menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) mengubah sampah atau gas metana dari sampah menjadi energi panas melalui pembakaran. Dengan menggunakan metode *thermoelectric generator* dapat menjadi solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan sampah (Jamilatun, S., Pitoyo, J., & Setyawan, M. 2023). *Thermoelectric generator* bekerja berdasarkan efek *Seebeck* dan terdiri dari *termokopel* tipe-n (kelebihan elektron) dan tipe-p (kekurangan elektron) yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan dua sisi: panas (Th) dan dingin (Tc), *thermoelectric generator* menghasilkan listrik dari perbedaan suhu di antara kedua sisi modul.

Pembakaran ini dilakukan melalui proses Insinerasi, proses mengubah sampah menjadi abu, gas, partikel, dan panas melalui pembakaran di suhu yang tinggi *(Thermal Treatment)*. Namun, gas yang dihasilkan, seperti dioksin, furan, logam berat, CO, HC_l, NO harus disaring terlebih dahulu sebelum dilepaskan untuk mengatasi pencemaran udara (Yusrizal, 2017). Dengan mengatasi tantangan ini, teknologi Pembangkit listrik tenaga sampah plastik dengan mengoptimalkan *thermoelectric generator* dapat menjadi solusi efektif dalam pengelolaan sampah dan sebagai energi terbarukan.

Dalam buku "*Fundamentals of Electric Power Engineering*" yang ditulis oleh Sunderarajan, V. (2012), pembangkit listrik adalah sistem yang mengubah energi mekanik atau panas dari berbagai sumber menjadi energi listrik, yang kemudian dialirkan ke sistem distribusi untuk digunakan oleh konsumen. Saat ini, di Indonesia dan banyak negara lainnya, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara masih dominan sebagai sumber utama energi listrik. Batu bara dipilih karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya produksinya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Namun, pembakaran batu bara menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim global serta polusi udara yang dapat membahayakan kesehatan manusia.

Hal ini mendorong pengembangan teknologi seperti pembangkit listrik tenaga air, uap, gas, panas bumi, dan nuklir. Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan energi potensial dan kinetik air untuk menghasilkan listrik dimulai dengan penahanan air di bendungan atau sungai yang diarahkan melalui pipa menuju turbin lalu aliran ini menggerakkan baling-baling turbin mengubah energi air menjadi energi mekanik di sambungkan ke generator yang mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik (Eko Agus,2020). Pembangkit listrik tenaga uap prosesnya mencakup beberapa tahapan penting yaitu air dipanaskan dalam *boiler* hingga berubah menjadi uap, yang kemudian dialirkan ke turbin dan memutar. Turbin yang berputar ini terhubung ke generator, yang mengubah energi mekanik menjadi listrik. Pembangkit listrik tenaga gas salah satu pembangkit listrik yang memiliki efisiensi yang tinggi dan mengeluarkan emisi yang lebih rendah, karena menggunakan gas alam sebagai bahan bakar utamanya, PLTG mencapai pembakaran yang lebih optimal, sehingga menghasilkan lebih sedikit polutan seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO), yang biasanya diproduksi oleh pembangkit listrik berbasis batu bara (Syahputra et al., 2021). Prosesnya melalui mesin turbin yang di gerakkan oleh generator, turbin tersebut dirancang dan dibuat berdasarkan cara kerja PLTG yang mana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar di ubah menghasilkan energi listrik (Faizal dkk., 2017).

Panas bumi merupakan energi terbarukan salah satu di manfaatkan menghasilkan listrik yang dikenal dengan pembangkit listrik tenaga panas bumi. Pada prinsipnya sistem kerja pembangkit listrik tenaga panas bumi tidak beda jauh dengan pembangkit listrik tenaga uap, hanya yang membedakan pada perolehan uap, pembangkit tenaga panas bumi memperoleh uap dari reservoir dengan memanfaatkan panas bumi, sedang pembangkit listrik tenaga uap memperoleh uap dari proses *boiler* (Amrita & Nugroho, 2019). Pembangkit listrik tenaga nuklir cara kerja pembangkit ini menggunakan bahan bakar sistem nuklir atau dikenal dengan *nuclear steam supply systeam* (NSSS) yang nanti dibakar menghasilkan kalor, kalor ini memanaskan air di dalam *boiler* dan berbentuk uap dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Uap tersebut dialirkan ke turbin uap yang dapat menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Setelah uap melewati turbin, mengakibatkan suhu dan tekanannya turun, berubah menjadi air yang mana air ini di pompa ke *boiler* dan terjadi siklus uap yang dilakukan

berulang-ulang (Dwiatmanto, 2016). Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), juga dikenal sebagai *Waste-to-Energy* (WtE), adalah jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi baru dan terbarukan dari sampah. Dengan mengubah sampah menjadi sumber energi yang berguna, PLTSa tidak hanya membantu mengurangi volume sampah di tempat pembuangan akhir tetapi juga menyediakan sumber energi yang ramah lingkungan.

Daur ulang sampah anorganik, seperti kertas, plastik, logam, dan kaca, memberikan berbagai manfaat penting untuk menurunkan penggunaan sumber daya alam yang terbatas seperti kayu, minyak bumi, dan bijih logam. Selain itu, daur ulang dapat mengurangi polusi lingkungan yang diakibatkan oleh produksi material baru dari bahan mentah, yang sering kali menghasilkan emisi gas rumah kaca, membutuhkan banyak energi, dan mencemari lingkungan. Proses daur ulang limbah anorganik tidak hanya mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA), tetapi juga meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca. Selain itu, daur ulang memungkinkan pemanfaatan energi melalui pembakaran terkendali atau pengomposan anaerobik, sehingga limbah dapat diubah menjadi energi dalam bentuk listrik, panas, atau gas, membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. (Hasibuan, M. R. R., 2023).

Penelitian oleh Cai et al. (2019) mengungkapkan bahwa sistem *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) yang menggunakan bahan bakar limbah plastik dapat menghasilkan listrik serta menggabungkan proses kogenerasi karbon nanotube. Terdapat beberapa aspek yang diperbarui untuk penelitian kedepannya, Pertama peningkatan efisiensi dan kinerja sistem SOFC dalam penerapan praktis. Sementara itu, sistem Generator Termoelektrik (TEG) konvensional mampu mengubah energi panas menjadi listrik melalui efek *Seebeck*, tetapi memiliki efisiensi yang rendah, hanya sekitar 5%.

Penelitian saat ini memiliki perbedaan penting dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Penelitian ini lebih spesifik dalam hal perancangan alat dan bahan yang digunakan serta menggunakan generator termoelektrik yang menawarkan pendekatan baru dalam konversi energi, berbeda dengan generator konvensional yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Generator termoelektrik bekerja berdasarkan efek *Seebeck*, dimana perbedaan suhu antara dua sisi modul menghasilkan listrik. Pendekatan ini menawarkan potensi efisiensi yang lebih tinggi dan solusi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode konvensional. Perbedaan-perbedaan ini membuat penelitian saat ini lebih spesifik dan memberikan kontribusi unik terhadap literatur yang ada. Penggunaan teknologi termoelektrik dalam konversi sampah menjadi energi memberikan wawasan baru dan potensi aplikasi yang lebih luas dalam pengelolaan sampah dan penyediaan energi terbarukan.



Gambar 1. Penelitian Terdahulu

METODE

Alat dan Bahan

a. *Peltier*

Komponen *Peltier* berbentuk lempengan dan digunakan untuk menciptakan efek pendinginan atau pemanasan pada suatu alat. Komponen ini disebut T*hermo-Electric Cooler* (TEC). Ketika TEC dialiri tegangan listrik, satu sisi akan menghasilkan suhu dingin dan sisi lainnya menghasilkan suhu panas, secara simultan. Alat ini memindahkan panas dari sisi dingin ke sisi panas, sehingga panas bisa dilepaskan ke lingkungan. Keunggulan alat ini terletak pada fleksibilitas konstruksinya, yang memungkinkan alat ini dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran.

b. *Heatsink*

Heatsink adalah alat yang berfungsi untuk mengeluarkan panas dari komponen elektronik yang panas ke lingkungan sekitarnya. Perangkat ini bekerja dengan menyerap panas dari komponen yang sedang beroperasi dan kemudian memindahkannya atau menyebarkannya ke udara atau lingkungan sekitarnya, sehingga mencegah komponen tersebut dari *overheating*. Penggunaan *heatsink* sangat penting dalam manajemen panas, terutama dalam sistem termoelektrik seperti *Thermoplast*. Dengan penyaluran panas yang efektif, heatsink memastikan kinerja serta keandalan yang optimal dari perangkat tersebut (Digi-Key Electronics, 2022).

c. Kipas DC

Alat ini berfungsi untuk memastikan distribusi optimal dari udara panas dan dingin, yang sangat diperlukan untuk menjaga perbedaan suhu yang signifikan di dalam sistem. Dengan melakukan pendinginan pada komponen penting seperti *heatsink*, kipas DC juga membantu mengurangi emisi dari proses pembakaran. Semua ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi *Thermoelectric generator*

(TEG), sehingga sistem pembangkit listrik *Thermoplast* dapat beroperasi dengan performa optimal.

d. *Step- Up*

Fungsi utama dari *step-up transformer* adalah meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator termoelektrik agar mencapai level yang sesuai untuk jaringan distribusi listrik atau kebutuhan energi tertentu. Menurut Riza et al. (2022), penggunaan *step-up transformer* sangat penting untuk meningkatkan tegangan listrik dalam sistem pembangkit listrik *Thermoplast*, sehingga memastikan efisiensi optimal dalam distribusi energi.

e. *Module Power Bank*

Dengan kemampuan untuk menyimpan dan mendistribusikan energi secara efektif, modul *powerbank* memastikan ketersediaan daya yang konsisten, terutama selama periode permintaan tinggi atau ketika sistem tidak sedang beroperasi. Selain itu, modul ini memungkinkan pemanfaatan energi yang direnungkan secara optimal, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional dan berkontribusi pada pengurangan limbah plastik di lingkungan.

Metode Penelitian yang digunakan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif, Thabroni (2022), relevan dalam perancangan sistem pembangkit listrik dari sampah plastik. Metode ini bertujuan untuk menggambarkan secara mendetail setiap langkah perancangan dan peningkatan kinerja *thermoelectric generator* (TEG) tanpa menarik kesimpulan spesifik Penelitian ini menggunakan penerapan metodologi *Research and Development* (R&D) yang diuraikan oleh Sugiyono (2022) dalam perancangan sistem pembangkit listrik menggunakan sampah plastik. Proses dimulai dengan identifikasi peluang penggunaan sampah plastik sebagai sumber energi dan pengumpulan data terkait karakteristik sampah dan kondisi optimal untuk konversi energi.



Gambar 2. Prototipe Alur Metodologi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan *prototype* alat, mempersiapkan bahan-bahan seperti *step-up*, module *power bank*, papan, kayu sebagai tempat, akrilik, dan bahan utama yaitu *thermoelectric generator* yang terdiri dari *peltier, heatsink,* dan kipas DC 12 *volt*. Semua bahan tersebut dirakit menggunakan 1 gram *thermal glue*. Langkah pertama dalam perakitan *thermoelectric generator* adalah meletakkan *peltier* yang telah diolesi *thermal glue* antara *heatsink* berukuran 98x98x25 mm dan *heatsink* berukuran 40x60x18 mm, kemudian merekatkannya dengan dua baut. Setelah itu, pasang kipas DC 12 volt di atas *heatsink* berukuran 98x98x25 mm dan rekatkan dengan empat baut di setiap sisi. Selanjutnya, pasang penutup kipas di atas kipas DC 12 volt untuk memastikan keamanan saat digunakan. Setelah langkah-langkah ini selesai, komponen *thermoelectric generator* pun telah dirakit dengan sempurna. Berikut adalah rangkaian gambar *thermoelectric generator*.



Gambar 3. *Thermoelectric Generator* Tampak Atas



Gambar 4. *Thermoelectric Generator* Tampak Bawah

Cara merangkai *step-up* dan modul *powerbank* adalah sebagai berikut: sambungkan bagian in- pada *step-up* dengan *batt-* pada module *powerbank* menggunakan kabel, lalu solder. Hubungkan juga bagian *batt+* pada module *powerbank* ke kapasitor filter frekuensi tinggi pada *step-up* menggunakan kabel, dan solder. Setelah itu, solder kabel *peltier* pada bagian in+ dan in- pada *step-up*. Sambungkan salah satu kaki saklar pada bagian *out+* pada *step-up*, dan sambungkan kaki lainnya dengan kabel+ dari kipas DC 12 *volt*. Terakhir, sambungkan kabel- dari kipas DC 12 *volt* ke bagian *out-* pada *step-up*. Untuk pembuatan media atau wadahnya, potong papan dengan ukuran 22x12 cm untuk alas dan 13x1 cm untuk tiang penyangga. Satukan tiang penyangga dan alas menggunakan baut. Letakkan *thermoelectric generator* yang telah dirakit di atas tiang penyangga dan rekatkan menggunakan empat baut pada setiap sisinya.

Pembangkit listrik tenaga sampah plastik dapat digunakan untuk menerangi lampu pada keadaan darurat. Caranya adalah dengan memasukkan sampah plastik ke dalam kaleng pembakaran dan membakar sampah plastik tersebut. Alat ini bekerja dengan memanfaatkan panas dari pembakaran yang diubah oleh *peltier* menjadi energi listrik. *Peltier* memiliki dua sisi, yaitu sisi panas dan sisi dingin. Ketika kedua sisi peltier dialiri suhu panas dan dingin, perbedaan suhu tersebut menghasilkan listrik. Energi listrik yang tercipta kemudian disalurkan ke *step-up* untuk meningkatkan tegangan sebelum menuju ke module *powerbank*, sehingga kabel lampu dapat terhubung.

OPEN ACCESS

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang berfokus pada tahap perancangan alat pembangkit listrik tenaga sampah plastik dengan optimasi *thermoelectric generator*. Rancangan ini menunjukkan bahwa alat pembangkit listrik dari sampah plastik memiliki potensi untuk mengoptimalkan kinerja *thermoelectric generator* sebagai sumber listrik. Perakitan alat ini diharapkan membawa manfaat bagi masyarakat karena membantu dalam pengelolaan dan pemusnahan sampah plastik melalui proses pembakaran. Panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut kemudian diubah menjadi energi listrik oleh *thermoelectric generator*. Rancangan ini telah didukung oleh berbagai sumber yang akurat dan terpercaya, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut.

Salah satu tantangan utama adalah rendahnya efisiensi konversi energi jika dibandingkan dengan teknologi pembangkit listrik lainnya. *Thermoelectric generator* menghasilkan listrik dari perbedaan suhu, namun efisiensinya cenderung lebih rendah daripada teknologi seperti turbin uap atau generator berbahan bakar fosil. Dalam pengembangan prototipe pembangkit listrik menggunakan sampah plastik dan mengoptimalkan *termoelectric generator*, hambatan utama adalah rendahnya konduktivitas termal *Thermoelectric generator* yang menyebabkan kurang efisien dalam pemulihan panas. Selain itu, ketidakstabilan suhu pada modul TEG dapat menurunkan daya keluaran dan membatasi penggunaannya pada skala besar. Untuk penelitian di masa depan, disarankan untuk merancang pembangkit listrik yang dapat beroperasi dalam skala besar dan lebih efektif dalam pemulihan panas. Fokus pada pemilihan material dengan konduktivitas termal lebih tinggi dan stabilitas suhu yang lebih baik dapat meningkatkan efisiensi dan daya keluaran TEG. Selain itu, inovasi dalam desain sistem pemulihan panas yang lebih efisien sangat diperlukan untuk mencapai hasil yang optimal.

OPEN ACCESS

DAFTAR PUSTAKA

Adoe, D. G. H., Gusnawati, & Ernanto, N. (2020). Analisis pengaruh temperatur pada metode pirolisis dari sampah plastik PP (*Polypropylene*) terhadap kapasitas dan kuantitas minyak pirolisis. *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, *24*(2), 177–181.

Agus, E. (2020). Pemanfaatan energi potensial dan kinetik air dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Jakarta: Penerbit Cendekia.

Amrita, K. C., & Nugroho, G. (2019). Analisis *thermal* pada pembangkit listrik tenaga panas bumi PT. Indonesia Power UPJP Kamojang. *Jurnal Teknik ITS*, *7*(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.35846

Argamazuplastik. (2014). Pengertian plastik dan sejarah plastik. http://argamazuplastik.com/pengertian-plastik-dan-sejarah-plastik/

Ardo, B., Emidiana, E., & Perawati, P. (2022). Perencanaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di Desa Tanjung Raman Talang Air Selepah Kecamatan Pendopo Kabupaten Empat Lawang. *Jurnal Tekno*, *19*(1), 81–92.

Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2023). Statistik pengelolaan sampah di Indonesia. Jakarta: BRIN.

Bayendang, N. P., Kahn, M. T., & Balyan, V. (2021). *Simplified thermoelectric cooler (TEC) with heatsinks modeling and simulation*. In *AIUE Proceedings of the 2nd Energy and Human Habitat Conference.*

Bhattacharya, P., Steele, P. H., Hassan, E. B. M., Mitchell, B., Ingram, L., & Pittman, C. U. (2009). *Wood/plastic copyrolysis in an auger reactor: Chemical and physical analysis of the products*. *Fuel*, *88*(7), 1251–1260.

Cai, W., Liu, P., Chen, B., Xu, H., Liu, Z., Zhou, Q., ... & Ni, M. (2019). *Plastic waste fuelled solid oxide fuel cell system for power and carbon nanotube cogeneration. International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(3), 1867–1876.

Dian, A. K., et al. (2025). Strategi pengurangan konsumsi listrik melalui teknologi cerdas: Penerapan *Internet of Things* (IoT) di masa depan. *Jurnal Angka*, *2*(1), 31–40.

Digi-Key Electronics. (2022). *Heatsinks: What are they and how do they work?* https://www.digikey.com/en/articles/heatsinks-what-are-they-and-how-do-they-work

Dwiatmanto, L. J. (2016). Penantian pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia. *Jurnal Teknologi Nuklir Indonesia*, *12*(2).

Faizal, M., Prasetyo, B. T., & Effendy, E. S. (2017). Analisis *performance* TM2500 gas *turbine generator package* PLTG X pada *factory test* dan *site test*. *Bina Teknika*, *13*(2), 157. https://doi.org/10.54378/bt.v13i2.214

Formplus. (2023). *Sources of data for research: Types & examples*. https://www.formpl.us/blog/sources-of-data-for-research-types-examples

Hasibuan, M. R. R. (2023). Daur ulang sampah anorganik. Jakarta: Penerbit Ilmu Lingkungan.

Jamilatun, S., Pitoyo, J., & Setyawan, M. (2023). *Technical, economic, and environmental review of waste to energy technologies from municipal solid waste*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *21*(3), 581–593.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2022). Peraturan

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2022 tentang Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. Jakarta: Kementerian LHK.

Maula, P. N. (2024). Revitalisasi tempat pembuangan sampah terpadu (TPST) Bantargebang menjadi energi listrik melalui *waste-to-energy* (Komparasi *waste-to-energy* negara Swedia). *Journal of Renewable Energy Solutions*, *20*(1), 56– 71.

Muharnif, M., Khairul, U., & Nasution, F. A. (2022). Analisis *termoelektrik generator* (TEG) sebagai pembangkit listrik berskala kecil terhadap perbedaan temperatur. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, *5*(1), 26–32.

Nungky Ristyanto, A., Windarto, J., Handoko, S. (2021). Simulator efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Rembang. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, *10*(2). Tersedia di: Undip E-journal.

Nurfadhilah. (2020). Komposisi sampah limbah domestik di Indonesia. *Synthesis Report Indonesia Marine Debris Hotspot* Tahun 2018.

Purwaningsih, M. R. (2012). Analisis biaya manfaat sosial keberadaan pembangkit listrik tenaga sampah Gedebage bagi masyarakat sekitar. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota.*

Qodriyatun, S. N. (2021). Pembangkit listrik tenaga sampah: Antara permasalahan lingkungan dan percepatan pembangunan energi terbarukan. *Sustainable Waste Management Conference Proceedings*, *1*(1), 94–109.

Riza, M. K., Arfis, A., & Rimbawaty. (2022). Penggunaan *step-up transformer* dalam perancangan sistem pembangkit listrik tenaga sampah. *Journal of Clean Energy Research*, *12*(2), 102–112. http://journal.example.com/article/view/102

Saputra, N., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2023). Pembangkit energi listrik memanfaatkan penyerapan panas jalan beton menggunakan teknologi termoelektrik generator (TEG) dengan pelat penyerap tembaga berbentuk I. *Jurnal Teknik*, *15*(2), 345–360.

Somantri, B. (2021). Pendekatan metodologis dalam penelitian. Jakarta: Penerbit Cendekia.

Sugiyono. (2020). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.

Sunderarajan, V. (2012). *Fundamentals of electric power engineering*. *New York: AuthorHouse*.

Syahputra, H., Nazaruddin, & Yaman. (2021). Studi pengaturan bahan bakar pada pembangkit listrik tenaga mesin gas Sumbagut 2 Peaker 250 MW. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, *15*(2), 123–135.

Thabroni, G. (2022). Metode penelitian deskriptif kualitatif. Serupa.id.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.

Yusra, Z., Zulkarnain, R., & Sofino, S. (2021). Pengelolaan LKP pada masa pandemi COVID-19. *Journal of Lifelong Learning*, *4*(1), 15–22. https://doi.org/10.33369/joll.4.1.15-22

Yusrizal, & Qadri, M. (2017). Perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga sampah kapasitas 1000 Watt dengan proses Insenerasi. Universitas Abulyatama.