

**PLTMBG: PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SISA MBG
BERBASIS IOT UNTUK MEWUJUDKAN ZERO WASTE DAN
SISTEM ENERGI TERBARUKAN YANG BERKELANJUTAN**



Disusun oleh:

Muhammad Athallah Wirya Santoso (4677)

Handaru Daniswara Al Fatih (4800)

Essam Fitrah Nasrullah (4789)

SMA TARUNA Dra. ZULAEHA

TAHUN 2026

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama (Ketua tim) : Muhammad Athallah Wirya Santoso

NIS : 4677

Asal Sekolah : SMA Taruna Dra. Zulaeha

dengan ini menyatakan sejujurnya bahwa esai saya yang berjudul **“PLTMBG: Pembangkit Listrik Tenaga Sisa Mbg Berbasis Iot Untuk Mewujudkan Zero Waste Dan Sistem Energi Terbarukan Yang Berkelanjutan”** merupakan karya orisinal saya/bukan jiplakan karya orang lain dan belum pernah dipublikasikan. Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, saya bersedia mendapatkan sanksi dan didiskualifikasi oleh panitia NESCO Innovation Challenge 2026.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sadar berdasarkan data yang sebenarnya, tanpa paksaan oleh pihak manapun.

Probolinggo, 18 April 2026



Muhammad Athallah Wirya Santoso

4677

A. Pendahuluan

Makan bergizi gratis (MBG) merupakan salah satu program prioritas nasional untuk memastikan terpenuhinya kebutuhan gizi seluruh masyarakat yang diharapkan dapat meningkatkan status gizi anak Indonesia, menurunkan angka stunting, serta memperkuat sumber daya manusia sejak dini. Saat ini, program MBG telah capai 50,74 juta total penerima manfaat yang terdiri dari anak sekolah, balita, dan ibu hamil/menyusui (Badan Gizi Nasional, 2025). Namun, program MBG dapat menghasilkan limbah berupa sisa makanan dan berpotensi meningkatkan jumlah sampah makanan sisa di Indonesia. Data Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) Tahun 2024 menunjukkan potensi sampah makanan sisa di sekolah mencapai 1,1–1,4 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, 451–603 ribu ton merupakan makanan berlebih (Badan Pangan Nasional, 2025). Di Kabupaten Probolinggo, tepatnya di SMA Taruna Dra. Zulaeha diketahui terdapat sekitar 5-20 porsi makanan sisa yang dihasilkan setiap harinya. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) juga mencatat limbah berupa makanan sisa merupakan penyumbang utama sampah di Indonesia. Terdapat seberat 25,9 juta ton jumlah sampah dalam setahun dengan diantaranya sekitar 39,05% merupakan limbah berupa makanan sisa pada tahun 2024 (Javier, 2025).

Limbah makanan dapat menyebabkan kerugian ekonomi dan dampak negatif terhadap lingkungan karena berkontribusi terhadap sekitar 4,4 GtCO₂ eq emisi gas rumah kaca global (Scialabba, 2015). Berdasarkan data Kementerian PPN/Bappenas, sebanyak 23 hingga 48 juta ton sampah makanan dihasilkan setiap tahun, berdampak signifikan pada ekonomi dan lingkungan. Hal ini dapat mempengaruhi emisi rumah kaca akibat penghasilan gas metana dari sampah makanan yang membusuk. Menurut Novrizal Tahar, limbah dari proyek makan bergizi dapat menghasilkan emisi setara 200.760 ton karbon dioksida (CO₂) dalam setahun (Javier, F 2025).

Dengan demikian, limbah makanan memiliki dampak negatif yang signifikan dalam kehidupan sehari-hari.

Di sisi lain, makanan sisa yang matang merupakan bahan baku (*feedstock*) yang sangat potensial karena memiliki bioavailabilitas tinggi untuk diolah melalui proses pencernaan anaerobik (*anaerobic digestion*) yang melibatkan sekelompok bakteri dalam biodegradasi dan stabilisasi materi organik untuk menjadi biogas (Shehata, dkk. 2025). Melalui rekayasa sistem konversi, energi kimia dalam biogas dapat diubah menjadi energi listrik. 1 m³ gas metana menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh. (Aji, 2019). Dengan demikian, limbah makanan sisa dari MBG dapat ditekan dan diolah menjadi sumber energi terbarukan yang bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari.

PLTMBG merupakan teknologi rekayasa sistem energi yang kami usulkan sebagai solusi dalam mewujudkan *zero waste* dan sistem energi terbarukan yang berkelanjutan. Dalam pembuatan biogas dari limbah makanan dari sisa MBG, juga dilakukan pemantauan *real-time* dengan mengintegrasikan IoT dalam digester untuk mengoptimalkan pembentukan biogas dari sisa MBG. Energi listrik yang diperoleh disimpan dalam baterai litium sebagai energi cadangan. Biogas yang telah dihasilkan juga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Selain itu, sisa limbah dari digester dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Simulasi stokastik berpresisi tinggi yang mencakup lebih dari 45.000 iterasi simulasi terpisah juga dilakukan menggunakan Python untuk mengevaluasi biokonversi limbah makanan menjadi energi listrik yang dapat disimpan. Simulasi dilakukan dengan penerapan batasan termodinamika Hukum Kedua, kinetika penghambatan pH biologis (Model Gompertz yang Dimodifikasi), serta efisiensi komponen elektromekanis skala mikro. Diharapkan, rancangan teknologi PLTMBG dapat mengurangi limbah makanan sisa dari MBG dan potensi dampak negatif untuk mewujudkan *zero waste* dan sistem energi terbarukan yang berkelanjutan.

B. Isi

Rancangan teknologi PLTMBG yang kami usulkan merupakan bentuk upaya dalam mengurangi potensi peningkatan limbah makanan yang disebabkan oleh makanan sisa dari MBG. Berdasarkan data Sistem Informasi Kinerja Pengolahan Sampah, daerah Probolinggo, hanya terdapat 0,04% sampah terkelola dan 99,96% belum terkelola dari jumlah sampah seberat 477,31 ton per hari. Berdasarkan hasil analisis simulasi stokastik menggunakan pemrograman Python dengan data waktu retensi 29,8 hari, massa ideal limbah makanan seberat 75 kg, didapatkan jumlah energi listrik paling efisien yaitu sekitar 115 Wh per bulan dan produksi biogas mencapai 2660 liter per bulan dengan efisiensi sistem sekitar 86%. Hal ini menunjukkan pemanfaatan limbah makanan berpotensi sebagai bahan baku pembentukan biogas yang ramah lingkungan dan berkelanjutan sebagai energi alternatif pengganti energi tidak terbarukan yang dapat mengalami kelangkaan. Dengan melakukan pengembangan pembangkit listrik tenaga biogas dari makanan sisa (PLTMBG), berpotensi dalam menciptakan kemandirian energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan di Kabupaten Probolinggo.

Proses dimulai dengan pengumpulan limbah makanan sisa MBG yang telah dipilah menjadi beberapa jenis, yaitu sayuran campur, nasi, daging tanpa tulang, tahu, tempe, dan sebagainya. Kemudian dilakukan penghancuran limbah makanan menjadi lebih kecil dan halus untuk meningkatkan efisiensi pencernaan anaerobik dan memfasilitasi pencernaan sebelum bahan baku dimasukkan ke dalam tangki digester. Secara khusus, penghancuran meningkatkan luas permukaan limbah, sehingga lebih mudah ditangani, diangkut, dan diproses (Shehata, 2026). Limbah tersebut kemudian dicampur dengan air untuk mencapai kadar padatan ideal (sekitar 15%) agar bakteri pengurai dapat bekerja secara optimal di dalam digester. Di dalam digester, campuran limbah mengalami proses pencernaan anaerobik yang terdiri dari empat tahap biokimia utama: hidrolisis

(penguraian senyawa kompleks menjadi sederhana), asidogenesis (pengubahan menjadi asam lemak terbang), asetogenesis (pembentukan asetat dan hidrogen), serta metanogenesis (pembentukan gas metana dan karbon dioksida) (Alam, 2022). Keberhasilan tahap ini sangat dipengaruhi oleh stabilitas suhu pada kondisi mesofilik (32-37°C), pH, serta minimnya kadar oksigen untuk pertumbuhan dan perkembangan bakteri anaerobik di dalam digester. Selain itu, pada digester diintegrasikan terhadap teknologi cerdas IoT untuk mengetahui keadaan suhu, kelembapan, dan pH pada hasil proses pencernaan anaerobik dari bakteri dan gas metana. Hal ini ditujukan untuk mengoptimalkan hasil produksi biogas pada kondisi yang ideal.

Dalam beberapa hari, biogas dihasilkan yang mengandung kontaminan seperti hidrogen sulfida (H₂S) yang korosif terhadap mesin dan karbon dioksida (CO₂) yang menurunkan nilai panas. Oleh karena itu, biogas harus melewati tahap pemurnian menggunakan metode seperti iron sponge untuk menyerap H₂S, larutan alkali (seperti air kapur) untuk mereduksi CO₂, serta water drain atau silika gel untuk menghilangkan kelembapan uap air. Setelah dimurnikan, biogas dibakar dalam ruang bakar untuk menghasilkan energi panas. Biogas yang telah dihasilkan juga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan anggaran dalam penyajian makanan MBG. Selain itu, sebagai produk sampingan, sisa limbah dari digester yang berupa lumpur (bio-slurry) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik berkualitas tinggi.

Panas hasil pembakaran kemudian digunakan untuk memanaskan air di dalam boiler hingga menghasilkan uap bertekanan tinggi. Terakhir, uap bertekanan tersebut dialirkan untuk memutar turbin uap, yang porosnya terhubung langsung dengan generator. Putaran poros di dalam generator inilah yang memicu prinsip induksi elektromagnetik melalui interaksi antara rotor dan stator untuk menghasilkan energi listrik yang siap digunakan. Energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai litium sebagai energi listrik cadangan.

Melalui rancangan PLTMBG, kami membangun sebuah sistem dimana sebuah pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan peningkatan limbah makanan di Kabupaten Probolinggo. Pihak Badan Gizi Nasional melalui Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) di Kecamatan Tegal Siwalan, Kabupaten Probolinggo, berperan penting dalam mengelola limbah makanan untuk pembuatan biogas sebagai bahan alternatif. Dengan demikian, SPPG dapat meningkatkan efisiensi penggunaan anggaran dalam penyajian makanan MBG. Hasil konversi biogas menjadi listrik dapat dimanfaatkan untuk energi listrik cadangan pada saat kondisi khusus/genting. Selain itu, kami melibatkan pihak petani lokal di sekitar area SPPG sebagai penerima manfaat dari sisa limbah dari digester sebagai pupuk organik kualitas tinggi yang bermanfaat. Dengan demikian, peningkatan limbah makanan dapat ditekan dan diatasi menjadi manfaat yang beredar dalam siklus kehidupan masyarakat.

C. Penutup

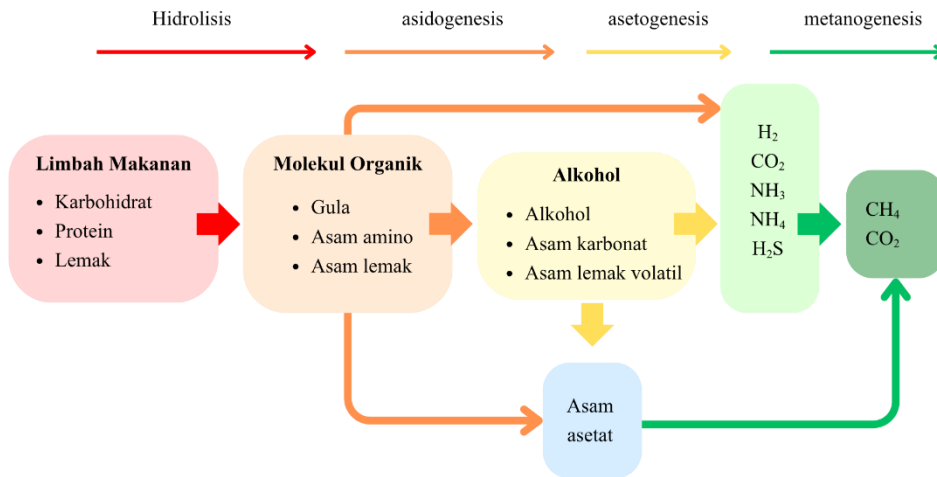
PLTMBG merupakan teknologi sistem rekayasa pemanfaatan limbah makanan dari MBG menjadi biogas dan energi listrik sebagai upaya mengurangi peningkatan limbah makanan dan untuk mewujudkan *zero waste* dan sistem energi terbarukan yang berkelanjutan. Melalui PLTMBG, kami melibatkan berbagai pihak SPPG dan petani lokal terkait dalam menjaga kualitas lingkungan tetap bersih dan sehat dengan sistem yang saling menguntungkan satu sama lain. Pelaksanaan PLTMBG dapat dilakukan dengan bekerja sama dalam pengolahan limbah makanan dari MBG dan perancangan struktur dan desain alat yang tepat. Pelaksanaan dibutuhkan waktu sekitar satu hingga dua bulan dalam menyiapkan dan mengkonfigurasi PLTMBG yang dapat berpotensi menjadi alternatif sumber energi terbarukan yang bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari.

Daftar Pustaka

- Aji, KP, & Bambang, AN 2019, 'Konversi Energi Biogas Menjadi Energi Listrik Sebagai Alternati Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan di Desa Langse, Kecamatan Margorejo Kabupaten Pati', *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)*, Vol. 2, pp. 1-7, diakses pada 11 April 2026, (<https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin>).
- Alam, M, Sultan, MB, Mehnaz, M, Fahim, CSU, Hossain, S & Anik, AH 2022, 'Production of biogas from food waste in laboratory scale dry anaerobic digester under mesophilic condition', *Energy Nexus* vol. 7, 100126, diakses 17 April 2026, DOI:10.1016/j.nexus.2022.100126.
- Badan Gizi Nasional 2025, *Infografis Data Capaian Program MBG pe 19 Desember 2025*, Badan Gizi Nasional, diakses pada 18 April 2026 (<https://bgn.go.id/infographic/7>).
- Badan Pangan Nasional 2025, *Program MBG: Sinergi Gizi, Edukasi, dan Lingkungan Menuju Indonesia Emas 2045*, Badan Pangan Nasional, diakses pada 18 April 2026, (<https://pustaka.badanpangan.go.id/publikasi/06138bc5af6023646ede0e1f7c1eac75>).
- Javier, F 2025, *Limbah dari Makan Bergizi Gratis*, Tempo.co, diakses pada 18 Januari 2026, (<https://www.tempo.co/data/data/limbah-dari-makan-bergizi-gratis--1204373>).
- Kementrian Lingkungan Hidup n.d, *Sistem Informasi Kinerja Pengelolaan Sampah Nasional, Kementrian Lingkungan Hidup*, diakses 17 April 2026, (<https://sampahnasional.kemenvh.go.id/>).
- Scialabba, N 2015, 'Food wastage footprint & Climate Change', *Food and Agriculture World Organization of the United Nations*, diakses pada 18 April 2026, (<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/bb144e>).
- Shehata, M, Elsayed, Y, Mohamed, AMI, Ismail, MS, Walker, M & Ibrahim, IA 2025, 'Biogas production from different food waste using small-scale floating-drum-type anaerobic digester', *Bioprocess and Biosystems Engineering* 2025, vol. 49, pp. 69–80, diakses pada 17 April 2026, DOI:10.1007/s00449-025-03239-w.

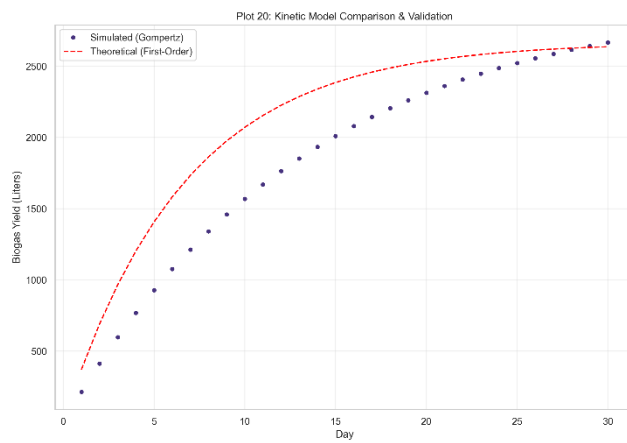
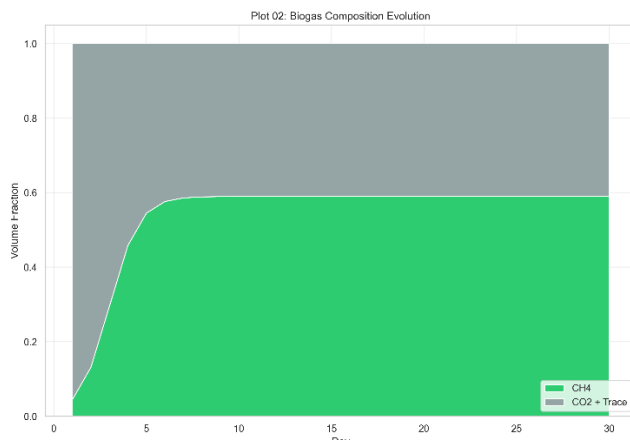
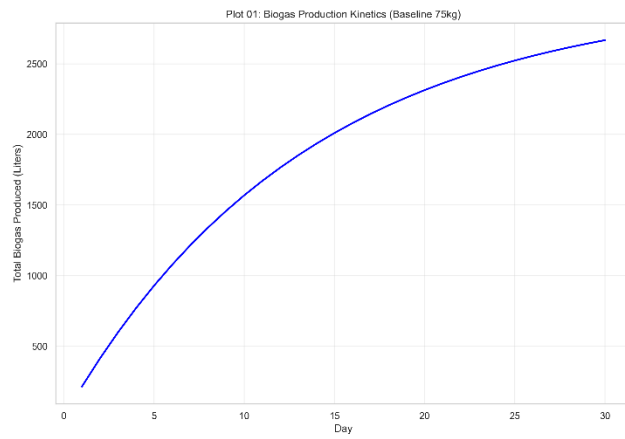
Lampiran 1. Rancangan Kerja PLTMBG

Proses Pencernaan Anaerob (*anaerobic digestion*)

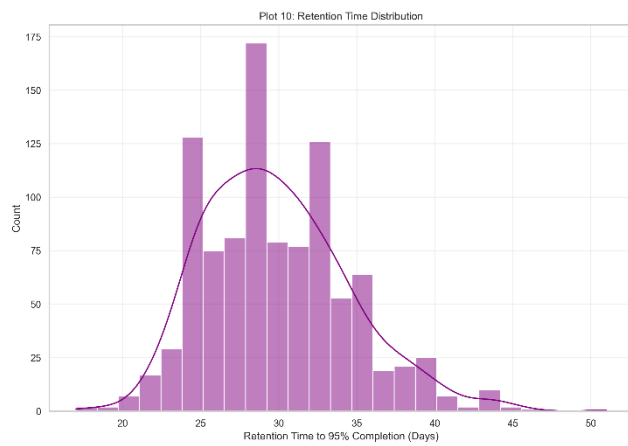
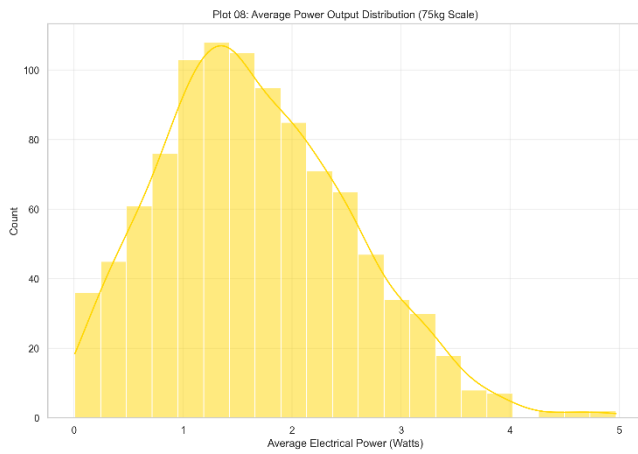
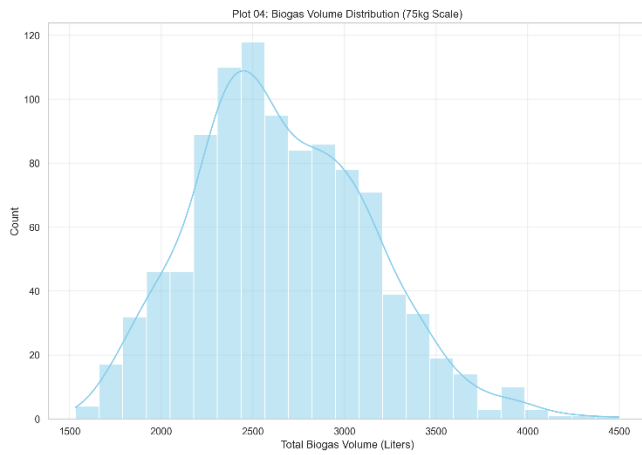


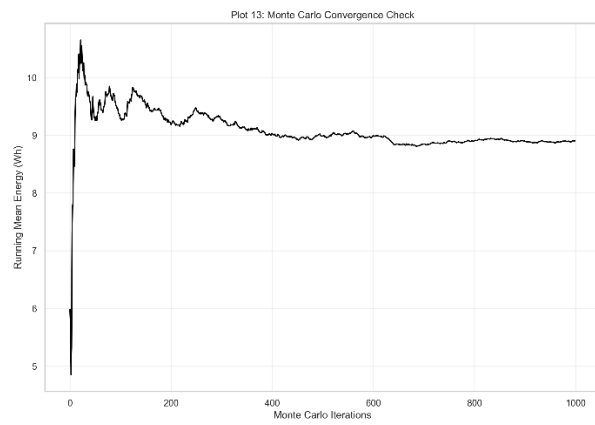
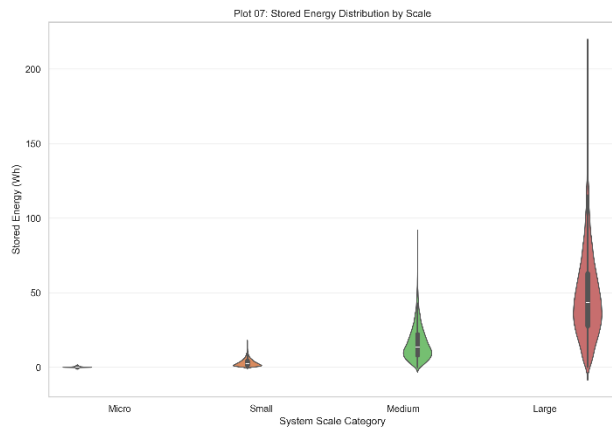
Lampiran 2. Hasil Simulasi Stokastik Menggunakan Pemrograman Python

Grup 1: Kinetika Biologi dan Produksi Gas

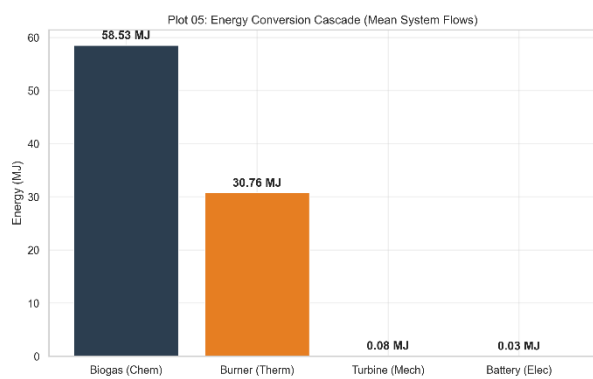


Grup 2: Distribusi Statistik (Metode Monte Carlo)

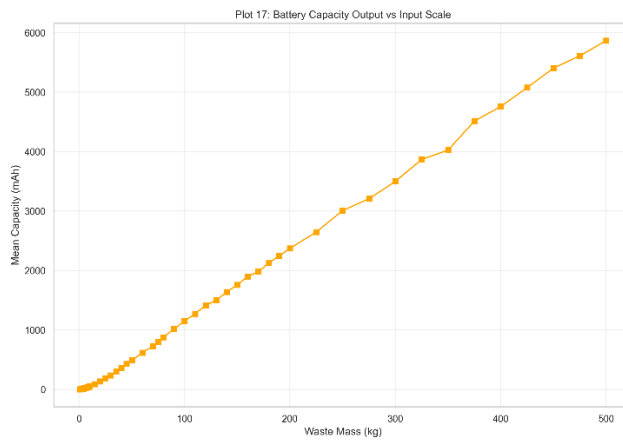
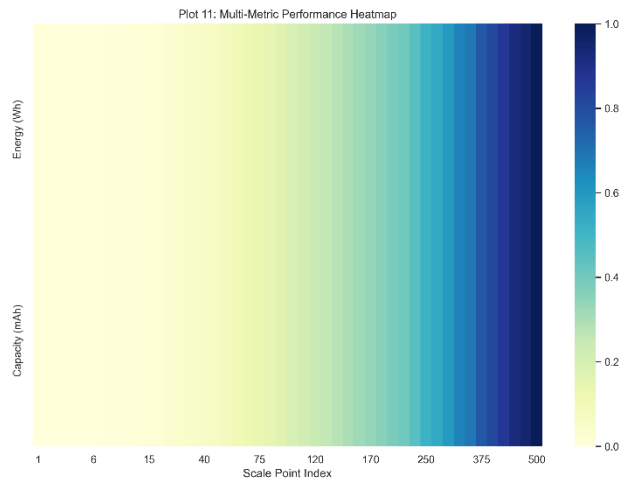
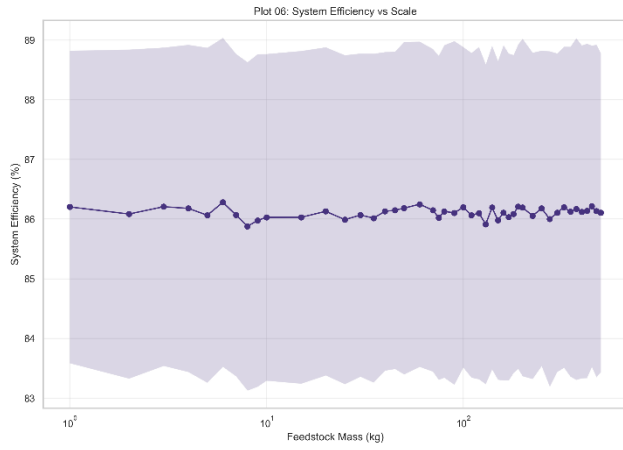


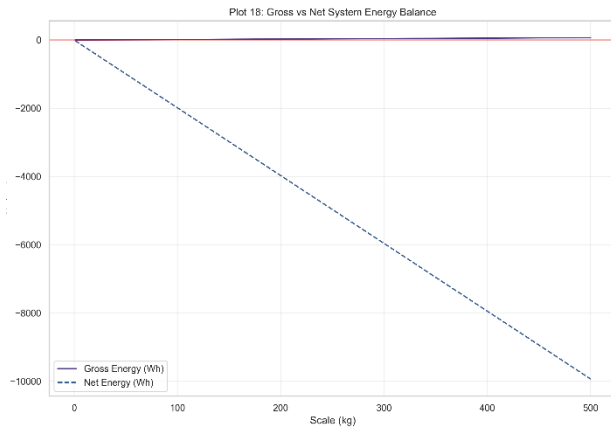


Grup 3: Aliran Energi dan Efisiensi



Grup 4: Analisis Skala (1kg - 500kg)





Grup 5: Faktor Penentu dan Prediksi Tahunan

