

Nomor Urut : 074 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025  
: 075 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**PERENCANAAN FASILITAS PENGOLAHAN**  
**LIMBAH BONGGOL JAGUNG DI KABUPATEN**  
**GROBOGAN**



**DISUSUN OLEH:**

**HELMINA AYUNDA**                      **21080122140144**  
**MUHAMMAD WILDAN DZAKI**   **21080122140155**

**DEPARTEMEN TEKNIK**  
**LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS DIPONEGORO**  
**SEMARANG**

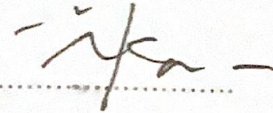
**2026**

## HALAMAN PENGESAHAN

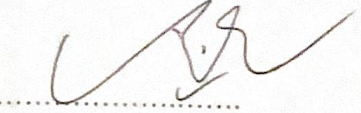
Skripsi ini diajukan oleh :  
NAMA : Helmina Ayunda  
NIM : 21080122140144  
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip  
Judul Skripsi : Perencanaan Fasilitas Pengolahan Limbah Bonggol Jagung di Kabupaten Grobogan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:  
Dr. Ir. Ika Bagus Priyambada, S.T., M.Eng.  
197103011998031001



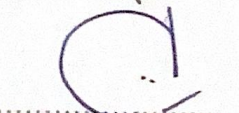
Pembimbing II:  
Ir. Titik Istirokhatun, S.T., M.Sc., Ph.D. IPU  
197803032010122001



Ketua Penguji:  
Ir. Ganjar Samudro, S.T., M.T., Ph.D., IPM  
198201202008011005

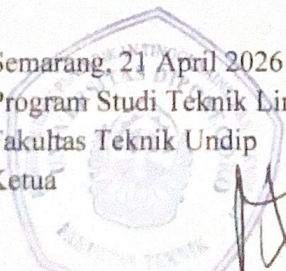


Anggota Penguji:  
Dr. Ir. Winardi Dwi Nugraha, M.Si  
196709191999031003



Semarang, 21 April 2026  
Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Undip  
Ketua

Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.  
NIP. 197208302000031001



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
 NAMA : Muhamad Wildan Dzaki  
 NIM : 21080122140155  
 Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip  
 Judul Skripsi : Perencanaan Fasilitas Pengolahan Limbah Bonggol Jagung di Kabupaten Grobogan


Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:  
 Ir. Titik Istirokhatun, S.T., M.Sc., Ph.D. IPU  
 197803032010122001

Pembimbing II:  
 Dr. Ir. Ika Bagus Priyambada, S.T., M.Eng.  
 197103011998031001

Ketua Penguji:  
 Dr. Ir. Winardi Dwi Nugraha, M.Si  
 196709191999031003

Anggota Penguji:  
 Ir. Ganjar Samudro, S.T., M.T., Ph.D., IPM  
 198201202008011005






Semarang, 21 April 2026  
 Program Studi Teknik Lingkungan  
 Fakultas Teknik Undip  
 Ketua

Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.  
 NIP. 197208302000031001

## ABSTRAK

Kabupaten Grobogan merupakan salah satu sentra produksi jagung di Provinsi Jawa Tengah yang menghasilkan limbah pertanian berupa bonggol jagung dalam jumlah besar. Berdasarkan hasil perhitungan timbulan, bonggol jagung yang dihasilkan dari 18 kecamatan di Kabupaten Grobogan mencapai sekitar 588 ton per hari, yang pada kondisi eksisting belum dikelola secara optimal dan sebagian besar masih dibakar dan dibiarkan di lahan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun perencanaan fasilitas pengelolaan limbah bonggol jagung yang terintegrasi dan berkelanjutan melalui pendekatan neraca massa, penyusunan neraca massa ideal, serta merencanakan pengolahan dengan teknologi yang aplikatif. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data produksi jagung Kabupaten Grobogan tahun 2019–2024, perhitungan timbulan bonggol jagung berdasarkan faktor residu, penyusunan neraca massa setiap tahapan proses, serta perencanaan teknis fasilitas yang terdiri dari gudang terpusat, Unit Pengolahan Biomassa (UPB), dan sistem logistik pengumpulan di tingkat kecamatan. Hasil analisis neraca massa menunjukkan bahwa dari total timbulan bonggol jagung sebesar 588 ton per hari, setelah melalui proses pencacahan, karbonisasi, dan pengolahan lanjutan, diperoleh produk akhir berupa briket bioarang dengan berat sekitar 243 ton per hari. Selain itu, hasil pengujian karakteristik briket menunjukkan bahwa nilai kalor briket bioarang yang dihasilkan berada pada kisaran  $\pm 5.655$  kkal/kg, sehingga telah memenuhi standar mutu briket biomassa berdasarkan SNI 01-6235-2000 yang mensyaratkan nilai kalor minimum sekitar 5.000 kkal/kg. Proses karbonisasi menyebabkan penyusutan massa hingga 66%, sedangkan proses pengeringan lanjutan menurunkan kadar air briket hingga memenuhi standar produk energi biomassa. Neraca massa ini menjadi dasar dalam penentuan kapasitas unit proses, jumlah peralatan, serta luas area yang dibutuhkan dalam perencanaan fasilitas. Sistem pengumpulan limbah dirancang menggunakan skema drop point pada masing-masing kecamatan untuk meningkatkan efisiensi logistik dan menghindari pembangunan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) yang tidak efektif. Pengangkutan dari lahan pertanian ke drop point dilakukan menggunakan kendaraan roda tiga (tossa) dengan kapasitas 1 ton per trip dan ritasi hingga 12 trip per hari, sedangkan pengangkutan dari drop point menuju gudang terpusat menggunakan truk berkapasitas 20 m<sup>3</sup> per trip dengan ritasi hingga 10 trip per hari. Skema ini dirancang agar seluruh timbulan bonggol jagung dapat sampai ke gudang terpusat dalam waktu kurang dari satu hari. Gudang terpusat direncanakan memiliki luas total sekitar 7.861 m<sup>2</sup>, yang mencakup area penerimaan, pewadahan, penyimpanan maksimal tiga hari, serta area operasional pendukung. Pembatasan waktu penyimpanan dilakukan untuk mencegah penumpukan material, menekan kebutuhan lahan, dan menjaga kontinuitas pasokan bahan baku ke unit pengolahan. Sementara itu, Unit Pengolahan Biomassa (UPB) direncanakan dengan luas sekitar  $\pm 3.000$  m<sup>2</sup>, yang mencakup unit shredding, karbonisasi, *diskmill*, *mixing*, *molding*, oven, pengemasan, dan penyimpanan produk. Perencanaan fasilitas pengolahan limbah bonggol jagung ini diharapkan mampu mengelola seluruh timbulan harian secara efektif dan berkelanjutan, sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah pertanian menjadi produk energi alternatif berupa briket bioarang. Implementasi sistem ini berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan, serta memberikan manfaat ekonomi dan sosial bagi masyarakat dan pemerintah daerah Kabupaten Grobogan.

**Kata Kunci:** Bonggol Jagung, Neraca Massa, Unit Pengolahan Biomassa, Briket Bioarang, Perencanaan Fasilitas Pengolahan.

## ABSTRACT

Grobogan Regency is one of the major corn production centers in Central Java Province that generates large quantities of agricultural residue in the form of corn cobs. Based on waste generation calculations, corn cobs produced from 18 districts in Grobogan Regency reach approximately 588 tons per day. Under existing conditions, this waste has not been optimally managed and is mostly burned or left on agricultural land. This study aims to develop a plan for an integrated and sustainable corn cob waste management facility through a mass balance approach, the development of an ideal mass balance, and the planning of applicable processing technologies. The methods used include collecting corn production data for Grobogan Regency from 2019–2024, calculating corn cob waste generation based on residue factors, preparing mass balances for each processing stage, and designing technical facilities consisting of a centralized warehouse, a Biomass Processing Unit (UPB), and a logistics collection system at the district level. The results of the mass balance analysis show that from a total corn cob generation of 588 tons per day, after undergoing shredding, carbonization, and further processing, the final product in the form of biochar briquettes reaches approximately 243 tons per day. In addition, the results of briquette characterization tests indicate that the calorific value of the produced biochar briquettes is around  $\pm 5,655$  kcal/kg, which meets the biomass briquette quality standard based on SNI 01-6235-2000 requiring a minimum calorific value of approximately 5,000 kcal/kg. The carbonization process causes a mass reduction of up to 66%, while the subsequent drying process reduces the briquette moisture content to comply with biomass energy product standards. This mass balance serves as the basis for determining the capacity of processing units, the number of equipment required, and the land area needed in facility planning. The waste collection system is designed using a drop point scheme in each district to improve logistics efficiency and avoid the construction of ineffective temporary storage facilities. Transportation from agricultural land to drop points is carried out using three-wheeled vehicles (*tossa*) with a capacity of 1 ton per trip and up to 12 trips per day, while transportation from drop points to the centralized warehouse uses trucks with a capacity of 20 m<sup>3</sup> per trip and up to 10 trips per day. This scheme is designed so that all generated corn cob waste can reach the centralized warehouse within less than one day. The centralized warehouse is planned to have a total area of approximately 7,861 m<sup>2</sup>, which includes receiving areas, storage containers, a maximum three-day storage area, and supporting operational spaces. Storage time is limited to prevent material accumulation, reduce land requirements, and maintain the continuity of raw material supply to the processing unit. Meanwhile, the Biomass Processing Unit (UPB) is planned to cover an area of approximately  $\pm 3,000$  m<sup>2</sup>, consisting of shredding, carbonization, diskmill, mixing, molding, oven, packaging, and product storage units. The planning of this corn cob waste processing facility is expected to effectively and sustainably manage all daily waste generation while increasing the added value of agricultural waste into alternative energy products in the form of biochar briquettes. The implementation of this system has the potential to reduce environmental pollution while providing economic and social benefits for the community and the local government of Grobogan Regency.

**Key Words:** Corn Cob Waste, Agricultural Residue, Mass Balance, Biomass Processing Unit, Biochar Briquettes, Processing Facility Planning

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Limbah pertanian merupakan salah satu isu penting yang hingga kini masih menjadi tantangan dalam pembangunan berkelanjutan di Indonesia, setiap musim panen, berbagai jenis residu pertanian seperti jerami padi, tongkol jagung, dan batang tebu dihasilkan dalam jumlah besar, namun sebagian besar masih ditangani secara tradisional melalui pembakaran terbuka atau dibiarkan menumpuk di lahan (Pratiwi dan Suryani, 2019). Praktik tersebut tidak hanya menyebabkan hilangnya potensi pemanfaatan limbah, tetapi juga menimbulkan pencemaran udara, meningkatkan emisi gas rumah kaca, dan memperburuk kualitas lingkungan sekitar (Haryanto dkk., 2020). Data Kementerian Pertanian menunjukkan bahwa jagung merupakan salah satu komoditas pertanian strategis di Indonesia yang produksinya terus meningkat setiap tahun, sehingga menghasilkan limbah bonggol dalam jumlah besar (Kementan, 2022). Secara khusus, Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa sektor tanaman pangan, termasuk jagung, menjadi salah satu penyumbang utama timbulan biomassa pertanian di berbagai daerah, terutama di Jawa Tengah (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2024). Kabupaten Grobogan merupakan salah satu sentra produksi jagung terbesar di provinsi ini dengan kontribusi signifikan terhadap total produksi nasional (BPS Kabupaten Grobogan, 2024).

Limbah bonggol jagung merupakan residu utama pascapanen jagung yang berasal dari bagian tengah tongkol setelah biji dipipil, dan biasanya hanya dibiarkan menumpuk di lahan tanpa pengolahan lebih lanjut. Kondisi ini umum dijumpai di berbagai daerah sentra produksi jagung di Indonesia, termasuk Kabupaten Grobogan, di mana petani cenderung membakar atau membiarkannya membusuk begitu saja di lahan (Yuliasari dkk., 2021). Padahal, bonggol jagung memiliki kandungan lignoselulosa tinggi yang menjadikannya berpotensi besar untuk diolah menjadi energi alternatif maupun produk bernilai tambah lainnya (Iskandar dkk., 2022). Besarnya produksi jagung di Grobogan secara langsung berbanding lurus dengan tingginya timbulan limbah bonggol jagung setiap musim panen (Harmoko, 2024). Kondisi tersebut menjadikan Grobogan relevan untuk dijadikan lokasi kajian dalam pengelolaan limbah bonggol jagung sebagai sumber energi alternatif berbasis biomassa (Iskandar dkk., 2022).

Kabupaten Grobogan terletak di Provinsi Jawa Tengah dengan luas wilayah sekitar

2.023,85 km<sup>2</sup> dan tersusun atas 19 kecamatan serta 273 desa dengan jumlah penduduk mencapai 1,5 juta jiwa pada tahun 2024 (BPS Kabupaten Grobogan, 2024). Kabupaten Grobogan merupakan salah satu wilayah agraris di Provinsi Jawa Tengah yang identitas sosial-ekonominya sangat erat dengan sektor pertanian. Karakteristik ini tercermin dari struktur mata pencaharian masyarakatnya yang sebagian besar bekerja sebagai petani, sehingga ketergantungan terhadap lahan pertanian cukup tinggi (BPS Kabupaten Grobogan, 2024). Menurut BPS, dominasi pekerjaan di sektor primer ini menunjukkan bahwa pola kehidupan masyarakat Grobogan masih banyak dipengaruhi oleh dinamika produksi pertanian, khususnya jagung sebagai komoditas utama. Menurut teori struktural agraris, masyarakat pedesaan di daerah dengan basis ekonomi pertanian cenderung membangun identitas dan kebudayaan yang selaras dengan aktivitas bertani (Todaro dan Smith, 2015). Kondisi ini memperkuat peran Grobogan tidak hanya sebagai produsen pangan, tetapi juga sebagai representasi komunitas agraris yang keberlangsungannya sangat dipengaruhi oleh hasil produksi sektor pertanian (Haryanto dkk., 2020).

Kabupaten Grobogan merupakan salah satu sentra produksi jagung terbesar di Jawa Tengah dengan volume panen yang tinggi setiap tahunnya (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2024). Pada tahun 2024, Kabupaten ini memiliki luas tanam perkebunan jagung sekitar 142.199 ha dengan luas panen sekitar 136.518 ha yang tersebar di 19 kecamatan, dengan rata-rata produksi jagung yaitu sekitar 62.68 kwintal per hektar (Dispertan Kabupaten Grobogan, 2025). Beberapa kecamatan seperti Toroh dan Geyer tercatat memiliki lahan perkebunan jagung yang luas sehingga menyumbang produksi padi dalam skala besar, sedangkan kecamatan seperti Penawangan memiliki luasan yang relatif lebih kecil dibandingkan kecamatan lain (Dispertan Kabupaten Grobogan, 2025). Dari total lahan tersebut produksi jagung mencapai 855.665 ton per tahun, dari produksi tersebut, menurut Dinas Pertanian Kabupaten Grobogan diperkirakan timbunan bonggol jagung mencapai 20–25% dari total berat pipilan, sehingga berkisar antara 171.133 ton hingga 213.916 ton per tahun (Dispertan Kabupaten Grobogan, 2025; Harmoko, 2024). Jika dibandingkan dengan limbah pertanian lain seperti jerami padi yaitu sekitar 1.103.967 ton jerami, ketersediaan bonggol jagung memang lebih sedikit, tetapi distribusinya lebih terfokus pada daerah sentra jagung sehingga relatif lebih mudah untuk dikumpulkan (Harmoko, 2024; Iskandar dkk., 2022).

Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap tingginya produktivitas jagung di Jawa

Tengah, termasuk Kabupaten Grobogan, adalah penerapan metode tanam tradisional yang dikenal dengan sebutan *Methuk*, yaitu teknik menanam beberapa biji jagung dalam satu lubang dengan jarak tertentu sehingga membentuk rumpun tanaman yang rapat (Dispartan Kabupaten Grobogan, 2025). Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan lahan, tetapi juga memperkuat daya hasil pada lahan kering yang mendominasi Grobogan, sehingga rata-rata produktivitas dapat mencapai lebih dari 6 ton per hektar (Setyawan dkk., 2021). Selain itu, metode *Methuk* memungkinkan kombinasi dengan pola tanam tumpangsari sehingga memperbesar peluang panen biomassa dalam satu musim (Yuliasari dkk., 2021). Tingginya hasil panen dari sistem ini secara langsung meningkatkan ketersediaan bonggol jagung sebagai limbah pertanian yang sebelumnya kurang dimanfaatkan, padahal memiliki potensi besar sebagai bahan baku energi alternatif (Rahman dkk., 2022). Dengan demikian, praktik *Methuk* bukan hanya mendukung ketahanan pangan, tetapi juga memperkuat keberlanjutan pasokan biomassa bonggol jagung untuk energi terbarukan di Grobogan (Dispartan Kabupaten Grobogan, 2025).

Saat ini, kondisi eksisting menunjukkan bahwa sebagian besar bonggol jagung di Indonesia, termasuk di Kabupaten Grobogan, masih dikelola secara tradisional dengan cara dibakar di lahan atau dibiarkan menumpuk setelah panen (Yuliasari dkk., 2021). Setiap satu ton jagung pipilan kering yang dihasilkan dapat menghasilkan bonggol jagung sekitar 200 - 250 kg, sehingga tingginya produksi jagung secara langsung meningkatkan jumlah limbah bonggol yang harus ditangani (Harmoko, 2024). Dari total timbunan tersebut, lebih dari 60% biasanya hanya dibuang atau dibakar di lapangan, sekitar 25–30% dimanfaatkan terbatas sebagai bahan bakar sederhana oleh masyarakat, dan sisanya kurang dari 10% dialokasikan untuk kebutuhan industri seperti bahan baku pakan atau briket arang tradisional (Rahman dkk., 2022). Praktik ini menyebabkan hilangnya potensi pemanfaatan limbah serta menimbulkan pencemaran udara akibat emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan partikulat dari pembakaran terbuka (Iskandar dkk., 2022). Dengan demikian, bonggol jagung memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku energi terbarukan, sekaligus mengurangi beban lingkungan yang ditimbulkan oleh praktik pengelolaan tradisional dengan mengalihkan ke dalam sistem pembakaran tertutup yang terkontrol yaitu metode pembakaran karbonisasi yang dapat mengonversi limbah bonggol jagung menjadi produk dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi, contohnya briket biochar yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Kementan, 2021; Nofiyanto dan Nugraha, 2019).

Teknologi karbonisasi atau *slow pyrolysis* merupakan proses dekomposisi termal bahan organik, termasuk bonggol jagung, yang dilakukan pada suhu 300–600 °C dalam kondisi oksigen terbatas agar tidak terjadi pembakaran sempurna (Wulandari dkk., 2023). Dalam pengolahan bonggol jagung untuk menjadikan briket, tahap awal yang dilakukan adalah pengeringan untuk menurunkan kadar air hingga di bawah 15%, diikuti dengan pengecilan ukuran partikel agar luas permukaan lebih besar dan reaksi pirolisis lebih efisien (Rahman dkk., 2022). Proses karbonisasi dilakukan dengan memanaskan bonggol jagung dalam reaktor tertutup sehingga menghasilkan produk utama yaitu biochar dengan komposisi yang bervariasi tergantung pada suhu operasi (Iskandar dkk., 2022). Biochar hasil karbonisasi dapat dipadatkan menjadi briket yang bernilai kalor tinggi yaitu sekitar 4.500 kkal/kg hingga 6000 kkal/kg. (Wahyudi, 2022; Yuliasari dkk., 2021). Selain memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, kualitas briket biomassa juga perlu memenuhi standar tertentu agar dapat digunakan secara luas sebagai bahan bakar alternatif. Dengan keunggulan tersebut, Karbonisasi berbasis karbonisasi dipandang relevan untuk pengolahan limbah bonggol jagung karena tidak hanya menekan emisi dari pembakaran terbuka, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi sekaligus manfaat lingkungan dalam mendukung energi terbarukan (Masrida dan Kartika, 2023).

Di Indonesia, standar mutu briket biomassa diatur dalam SNI 01-6235-2000 tentang briket arang, yang menetapkan bahwa nilai kalor minimum briket arang biomassa berkisar  $\geq 5.000$  kkal/kg, dengan kadar air maksimum sekitar 8% serta kadar abu maksimal sekitar 8% (Rahman et al., 2022). Standar ini digunakan sebagai acuan dalam menilai kelayakan briket biomassa sebagai bahan bakar padat yang stabil dan efisien. Sejumlah penelitian juga menunjukkan bahwa briket biomassa dari limbah pertanian seperti bonggol jagung umumnya memiliki nilai kalor pada kisaran 4.500–6.500 kkal/kg, sehingga berpotensi memenuhi standar bahan bakar alternatif untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri kecil yang membutuhkan sumber energi panas stabil seperti industri pengolahan makanan, pengeringan hasil pertanian, dan usaha mikro berbasis produksi pangan (Rahman dkk., 2022). Oleh karena itu, perencanaan fasilitas pengolahan bonggol jagung dalam penelitian ini tidak hanya bertujuan mengurangi limbah pertanian, tetapi juga menargetkan produksi briket biomassa yang memenuhi standar mutu energi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif bagi sektor industri kecil di Kabupaten Grobogan.

Metode karbonisasi untuk mengolah limbah bonggol jagung memiliki keunggulan

dibanding metode pengolahan biomassa non-termal, karena mampu menghasilkan energi padat berupa briket biochar yang dapat dimanfaatkan kembali dalam sistem proses (Nurhidayati dkk., 2021). Efisiensi energi meningkat karena sebagian gas hasil Karbonisasi digunakan untuk mempertahankan suhu reaktor, sehingga kebutuhan energi tambahan menjadi lebih rendah (Nofiyanto dan Nugraha, 2019). Briket biochar dari bonggol jagung memiliki densitas tinggi dan kandungan karbon tetap yang membuatnya lebih stabil serta mudah disimpan dan didistribusikan (Isnainiyah dkk., 2023). Penelitian di Kelurahan Sindangrasa, Kota Bogor, juga menunjukkan bahwa penerapan karbonisasi skala komunitas mampu menurunkan emisi gas rumah kaca sekaligus menyediakan biochar yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maupun amandemen tanah, briket biochar ini dapat diaplikasikan langsung oleh rumah tangga maupun industri kecil sebagai substitusi parsial batubara, tanpa memerlukan teknologi lanjutan seperti halnya bio-oil atau syngas cair (Allysa dan Wijayanti, 2021; Sahlan dkk., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan Karbonisasi bonggol jagung tidak hanya menjawab persoalan lingkungan akibat pembakaran terbuka, tetapi juga menghadirkan solusi energi terbarukan yang praktis, ekonomis, dan berkelanjutan (Masrida dan Kartika, 2023).

Produk briket biochar dari bonggol jagung memiliki potensi pasar yang luas karena dapat dimanfaatkan oleh rumah tangga sebagai pengganti kayu bakar maupun arang tradisional dengan harga yang lebih terjangkau dan emisi yang lebih rendah (Isnainiyah dkk., 2023). Pada sektor UMKM, terutama industri pengolahan makanan, briket biochar dapat digunakan untuk mendukung proses produksi yang membutuhkan energi panas stabil dengan biaya operasional yang lebih efisien (Susilowati dkk., 2022). Di tingkat industri besar, briket biochar dapat berfungsi sebagai substitusi parsial batubara dalam boiler maupun pabrik semen karena nilai kalor yang tinggi dan residu abu yang lebih sedikit (Masrida dan Kartika, 2023). Diversifikasi pasar ini memperlihatkan bahwa briket biochar bukan hanya produk energi alternatif, tetapi juga instrumen ekonomi sirkular yang memperkuat ketahanan energi lokal (Saharudin dkk., 2024). Dengan dukungan regulasi energi terbarukan dan tren pengurangan emisi karbon, prospek pasar briket biochar dari bonggol jagung semakin menjanjikan dan mampu menarik minat investor untuk menjadikannya bagian dari portofolio bisnis hijau (Severy dkk., 2018).

Urgensi pembangunan Unit Pengolahan Biomassa (UPB) berbasis karbonisasi di Kabupaten Grobogan sangat tinggi, mengingat selama ini sekitar 60% limbah bonggol

jagung hanya dibiarkan menumpuk di lahan tanpa pemanfaatan yang jelas, sehingga menimbulkan masalah lingkungan sekaligus kehilangan potensi energi terbarukan (Dispertan Kabupaten Grobogan, 2025). Keberadaan UPB memungkinkan aliran limbah pertanian yang sebelumnya bersifat linear dapat dialihkan ke sistem ekonomi sirkular dengan mengubah bonggol jagung menjadi energi padat berupa briket biochar dan produk samping bernilai guna (Masrida dan Kartika, 2023). Dalam perencanaannya, fasilitas ini memerlukan gudang penyimpanan bahan baku yang mampu menampung setidaknya 30–40% dari total timbulan bonggol jagung per musim panen, sehingga kontinuitas pasokan ke reaktor Karbonisasi dapat terjamin (Iskandar dkk., 2022). Berdasarkan estimasi limbah bonggol jagung tahun 2024 sebesar 171.133–213.916 ton, potensi limbah bonggol jagung yang dapat dialihkan ke fasilitas Karbonisasi mencapai sekitar 102.000–128.000 ton per tahun, bila diasumsikan 60% limbah yang biasanya dibiarkan di lahan dialihkan ke gudang penyimpanan (Dispertan Kabupaten Grobogan, 2025). Dengan demikian, UPB tidak hanya berfungsi sebagai fasilitas teknis, tetapi juga sebagai instrumen pengelolaan lingkungan dan strategi ketahanan energi lokal yang memperkuat keberlanjutan sektor pertanian di Grobogan (Saharudin dkk., 2024).

Pengelolaan UPB tidak dapat dilakukan oleh individu petani karena keterbatasan modal, kapasitas teknologi, serta akses pasar yang dimiliki, sehingga dibutuhkan kelembagaan yang kuat seperti koperasi, BUMDes, atau kemitraan dengan sektor swasta untuk memastikan kontinuitas bahan baku dan keberlanjutan operasi (Susilowati dkk., 2022). Model pengelolaan kolektif ini memungkinkan adanya konsolidasi pasokan limbah bonggol jagung dari berbagai kelompok tani sehingga volume yang diolah tetap stabil sepanjang musim (Iskandar dkk., 2022). Dari sisi efisiensi, sistem kelembagaan juga memudahkan dalam manajemen logistik, penyimpanan gudang, serta distribusi produk briket biochar ke pasar lokal maupun industri (Masrida dan Kartika, 2023). Selain itu, keterlibatan kelembagaan memperkuat aspek bisnis karena membuka peluang kemitraan dengan pihak swasta yang dapat menambah dukungan modal dan memperluas jangkauan distribusi (Saharudin dkk., 2024). Dengan adanya jaminan pasokan bahan baku dan potensi pasar yang jelas, UPB bonggol jagung berbasis karbonisasi memiliki daya tarik yang tinggi bagi investor karena dinilai layak secara teknis, ekonomis, sekaligus berkontribusi pada agenda energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon (Severy dkk., 2018).

Dalam penelitian ini, perencanaan fasilitas pengolahan biomassa bertujuan mengubah

aliran limbah pertanian yang berskala besar menjadi rantai nilai yang produktif dan berkelanjutan sehingga limbah tidak lagi menjadi beban lingkungan tetapi menjadi sumber energi dan pendapatan. Secara operasional, UPB yang didesain untuk bonggol jagung akan mengintegrasikan proses penerimaan bahan baku, pra-perlakuan (pengeringan dan reduksi ukuran), konversi termokimia (karbonisasi), hingga pengemasan produk akhir (briket biochar) sehingga tercapai efisiensi energi dan kesinambungan pasokan bahan baku (Miles dan Cahn, 2021). Selain aspek teknis dan ekonomi, tujuan UPB juga meliputi pengurangan pembakaran terbuka, pemberdayaan rantai pasok lokal (petani, gapoktan, pelaku usaha), serta membuat produk akhir yang dapat digunakan oleh industri maupun masyarakat (Saharudin dkk., 2024). Semua itu menjadikan UPB sebagai instrumen kebijakan lingkungan-ekonomi yang komprehensif. Bukti dari proyek dan studi kasus di berbagai zona menunjukkan bahwa fasilitas terpusat dengan desain pemanfaatan produk gas internal dan densifikasi (pembuatan briket) meningkatkan utilisasi energi, dan memperbaiki kelayakan ekonomi proyek skala menengah hingga besar (Severy dkk., 2018).

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Identifikasi masalah yang dapat dijadikan bahan perencanaan berdasarkan latar belakang sebagai berikut:

1. Kabupaten Grobogan sebagai salah satu penghasil jagung terbesar di Jawa Tengah menghasilkan bonggol jagung dalam jumlah signifikan setiap tahun. Sebagian besar bonggol jagung masih dibiarkan di lahan atau dibakar terbuka, sehingga potensi biomassa sebagai energi terbarukan belum optimal dimanfaatkan.
2. Praktik pembakaran bonggol jagung di lahan pertanian memicu polusi udara berupa asap, partikulat halus, serta emisi gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Selain menurunkan kualitas udara, pembakaran bonggol jagung juga merusak struktur tanah karena hilangnya unsur hara organik. Hal ini menimbulkan permasalahan lingkungan jangka panjang dan berdampak negatif pada kesehatan masyarakat.
3. Meskipun bonggol jagung memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif, hingga kini belum tersedia fasilitas pengolahan yang terintegrasi di Grobogan. Minimnya teknologi yang diterapkan membuat nilai tambah bonggol jagung rendah, padahal pengolahan menggunakan teknologi Karbonisasi dapat menghasilkan produk energi (briket) dan produk samping (biochar) yang bermanfaat.

### **1.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah, maka dapat ditentukan batasan masalah, yaitu:

1. Ruang lingkup perencanaan dalam tugas akhir ini difokuskan pada sektor pertanian di Kabupaten Grobogan, dengan penekanan pada wilayah yang menghasilkan timbulan bonggol jagung tinggi.
2. Jenis limbah padat pertanian yang dikaji hanya bonggol jagung; limbah lain seperti jerami padi atau kotoran ternak tidak menjadi fokus kajian ini.
3. Proyeksi timbulan bonggol jagung dihitung hingga tahun 2034, menggunakan data produktivitas jagung (produksi jagung pipilan) sebagai dasar perhitungan proyeksi.
4. Pengambilan data primer mencakup observasi langsung jumlah timbulan jagung di lokasi studi untuk: (a) mengukur timbulan bonggol jagung aktual per satuan area/panen, (b) mengidentifikasi proporsi bonggol jagung yang saat ini dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau keperluan lain, dan (c) menaksir fraksi bonggol jagung yang realistis tersedia untuk diolah melalui proses Karbonisasi. Semua data primer dan sekunder dibatasi pada sumber di Kabupaten Grobogan.
5. Teknologi pengolahan limbah bonggol jagung yang dikaji hanya metode Karbonisasi, dengan menggunakan alat karbonisasi untuk menghasilkan produk utama berupa briket biochar.

### **1.4 Perumusan Masalah, Tujuan, dan Manfaat**

#### **1.4.1 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah dalam perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana kondisi eksisting, timbulan, serta pemanfaatan limbah pertanian khususnya bonggol jagung di Kabupaten Grobogan?
2. Bagaimana penyusunan neraca massa timbulan dan pemanfaatan bonggol jagung di Kabupaten Grobogan secara akurat?
3. Bagaimana perencanaan teknologi pengelolaan limbah pertanian yang tepat, berkelanjutan, dan aplikatif untuk diterapkan di Kabupaten Grobogan?

#### **1.4.2 Tujuan**

Tujuan dari perencanaan fasilitas pengelolaan limbah di Kabupaten Grobogan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis timbulan serta kondisi eksisting limbah pertanian dan

- pemanfaatannya, khususnya limbah bonggol jagung, di Kabupaten Grobogan.
2. Mengkaji neraca massa pada pengolahan limbah bonggol jagung dengan pendekatan *Material Flow Analysis* (MFA), menilai potensi dampak lingkungannya melalui metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan metode karbonisasi.
  3. Merencanakan teknologi pengelolaan limbah pertanian yang tepat, berkelanjutan, dan aplikatif untuk diterapkan di Kabupaten Grobogan.

### **1.4.3 Manfaat**

Dari perencanaan yang akan dilakukan penulis, diperoleh beberapa manfaat sebagai berikut:

#### **1.4.3.1 Bagi Penulis**

Manfaat penelitian ini bagi penulis adalah menambah pengetahuan, wawasan, dan pengalaman dalam merencanakan fasilitas pengolahan limbah pertanian menjadi energi alternatif yang ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga menjadi sarana penerapan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan, khususnya dalam bidang teknik lingkungan dan pengelolaan limbah.

#### **1.4.3.2 Bagi Pemerintah**

Perencanaan ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pengelolaan limbah bonggol jagung (biomassa) yang berkelanjutan. Selain itu, hasil perencanaan dapat mendukung program pengembangan energi terbarukan dan pengurangan pencemaran lingkungan di Kabupaten Grobogan.

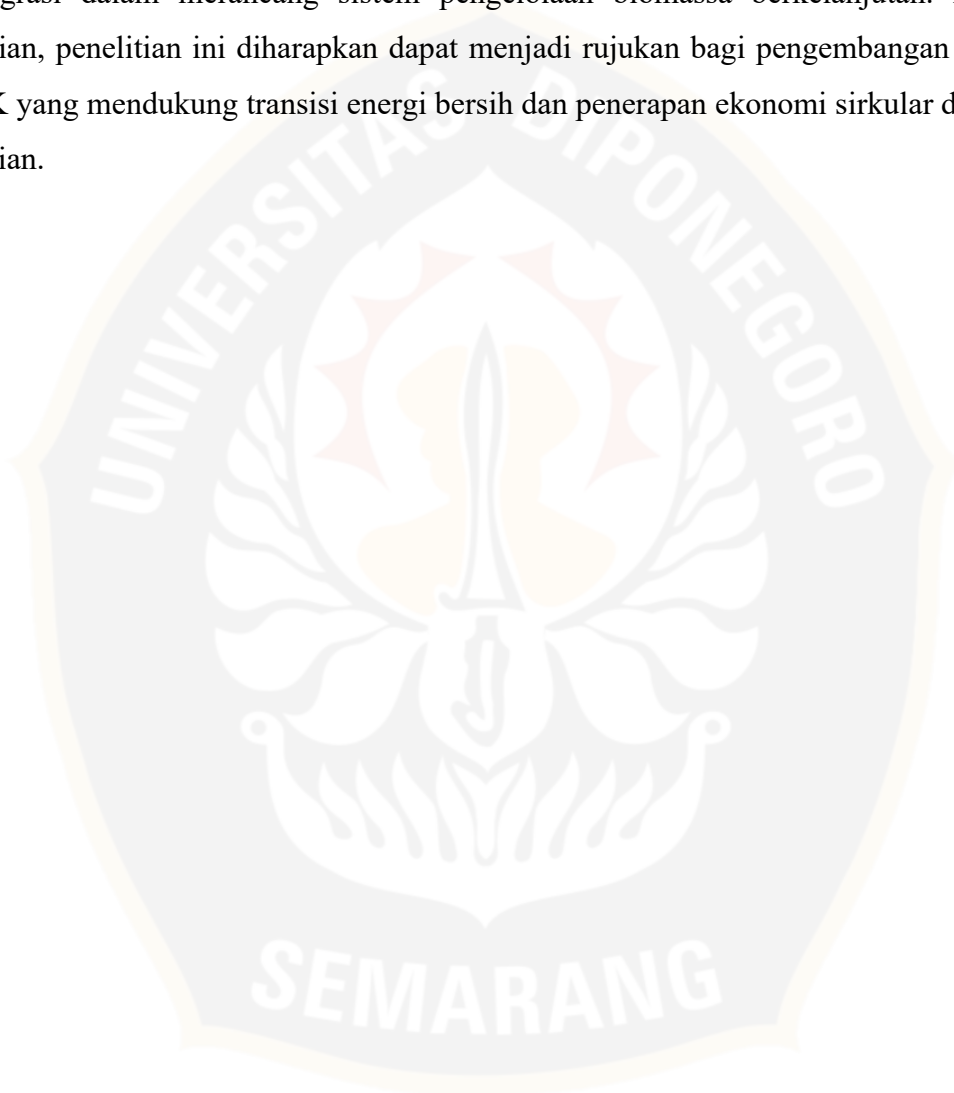
#### **1.4.3.3 Bagi Masyarakat**

Bagi masyarakat, penelitian ini memberikan manfaat berupa solusi dalam pemanfaatan limbah pertanian yang sebelumnya belum dikelola secara optimal. Dengan adanya pengolahan limbah menjadi briket biomassa, masyarakat dapat memperoleh nilai tambah ekonomi, mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat pembakaran terbuka, serta memperoleh alternatif sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

#### **1.4.3.4 Bagi IPTEK**

Bagi ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang pengelolaan limbah pertanian dan energi terbarukan. Kajian mengenai neraca massa bonggol jagung di Kabupaten Grobogan memperkaya basis data ilmiah terkait potensi

biomassa di tingkat daerah, yang sebelumnya masih terbatas. Dari sisi teknologi, penerapan metode Karbonisasi dalam pengolahan bonggol jagung menghasilkan pengetahuan baru mengenai efisiensi proses konversi limbah pertanian menjadi produk energi alternatif berupa briket biochar. Penelitian ini juga memperkuat pemahaman akademik terkait pemanfaatan pendekatan *Material Flow Analysis* (MFA), *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sebagai alat analisis terintegrasi dalam merancang sistem pengelolaan biomassa berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi pengembangan inovasi IPTEK yang mendukung transisi energi bersih dan penerapan ekonomi sirkular di sektor pertanian.



### 1.5 Kerangka Perencanaan



## DAFTAR PUSTAKA

- Acquaye, A., Barrett, J., & McCormick, K. (2021). Simplified LCA Approaches in Energy Planning. *Applied Energy*, 282, 116087.
- Allysa, S. N., & Wijayanti, P. (2021). *Potensi Reduksi Gas Rumah Kaca melalui Teknologi Pirolisis Skala Komunitas (Studi Kasus: Kelurahan Sindangrasa, Kota Bogor)*.
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The Art, Science, and Technology of Charcoal Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619–1640.
- Antwi-Boasiako, C., & Acheampong, B. B. (2016). Strength properties and calorific values of sawdust–charcoal briquettes. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 32–37.
- Arikunto, S. (2019). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta.
- Arikunto, S. (2021). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta.
- Asif, M., Khan, M., & Zhang, H. (2022). Physical and Thermal Characteristics of Corn Residues for Bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130633.
- Azkha, N. (2006). Analisis timbulan, komposisi dan karakteristik sampah di Kota Padang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan. (2024). *Kabupaten Grobogan dalam Angka 2024*. BPS Kabupaten Grobogan. <https://grobogankab.bps.go.id>
- Basri, F., Hidayat, N., & Sari, R. (2021). Physical and chemical properties of rice husk as biomass fuel. *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(2), 102–110.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press.
- BPS Kabupaten Grobogan. (2024a). *Kabupaten Grobogan dalam Angka 2024*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Grobogan.
- BPS Kabupaten Grobogan. (2024b). *Statistik Daerah Kabupaten Grobogan 2024*. Badan Pusat Statistik.
- BPS Provinsi Jawa Tengah. (2024). *Statistik Pertanian Provinsi Jawa Tengah 2024*. Badan Pusat Statistik.
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68–94.

- Cahyono, R. (2013). Pirolisis Biomassa: Prinsip Teori dan Aplikasi pada Limbah Pertanian. *Jurnal Teknologi Energi*, 8(1), 25–36.
- Chen, W., & Buratti, C. (2021). Pellet and Briquette Technology from Biomass: A Review. *Renewable Energy*, 170, 340–353.
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Pengelolaan Sampah*. Diktat Kuliah TL-3104, ITB.
- Das, S., Banerjee, A., & Gupta, R. (2022). Energy Potential of Biomass Pyrolysis Residues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112132>
- Demirbas, A. (2004a). Effect of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(2), 243–248.
- Demirbas, A. (2004b). Effect of Temperature on Pyrolysis Products from Biomass. *Energy Sources*, 26, 921–931.
- Demirbas, A. (2009). Biofuels securing the planet's future energy needs. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2239–2249.
- Desjardins, C., Abella, M., & Ramos, F. (2024). Emission reduction potential of biochar systems compared to open burning of agricultural residues. *Clean Energy*, 8(6), 1–13. <https://doi.org/10.1093/ce/ceae024>
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Grobogan. (2025). *Potret kondisi jalan di Kabupaten Grobogan tahun 2024*.
- Dinas Pertanian Kabupaten Grobogan. (2025). *Laporan Statistik Produksi Jagung dan Pemanfaatan Lahan Kabupaten Grobogan Tahun 2025*. Dispartan Kabupaten Grobogan.
- FAO. (2019). *Biomass potential and utilization in Asia*. <https://www.fao.org/>
- Firmansyah, D. D., Pratama, R., & Sari, N. (2024). Analisis Nilai Kalor Biopellet Bonggol Jagung dengan Penambahan Zeolit. *Jurnal Energi Terbarukan*, 8(2), 75–82.
- Food and Agriculture Organization. (2017). *The Charcoal Transition: Greening the Charcoal Value Chain to Mitigate Climate Change*. FAO.
- Food, & of the United Nations, A. O. (2016). *The State of Food and Agriculture 2016: Climate Change, Agriculture and Food Security*. FAO.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular

- Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Grobogan, D. P. K. (2025). *Laporan Tahunan Dinas Pertanian Kabupaten Grobogan 2025*.
- Grover, P. D., & Mishra, S. K. (1996). Biomass Briquetting: Technology and Practices. *FAO Regional Wood Energy Development Programme, Bangkok*.
- Gupta, A., & Kua, H. W. (2017). Agricultural waste as a potential resource of bioenergy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 590–602.
- Guzmán-Bello, H., López-Díaz, I., Aybar-Mejía, M., Domínguez-Garabitos, M., & de Frias, J. A. (2023). Biomass Energy Potential of Agricultural Residues in the Dominican Republic. *Sustainability*, 15(22), 15847.  
<https://doi.org/10.3390/su152215847>
- Hadi, A., & Suryana, M. (2024). Kebijakan Energi Hijau dan Strategi Pengembangan Biomassa di Tingkat Daerah: Studi Kasus Jawa Tengah. *Jurnal Kebijakan Energi Indonesia*, 8(1), 47–61.
- Harmoko. (2024). *Meraih Cuan dari Limbah Tongkol Jagung: Potensi dan Pemanfaatan di Kabupaten Grobogan*.  
<https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/btip/article/download/3892/3881/7724>
- Haryanto, A., Suharyatun, S., & Rahmawati, R. (2020). Energi Terbarukan dari Jerami Padi: Review Potensi dan Tantangan bagi Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(2), 123–135.
- Haryanto, B., Sudaryono, A., & Wibowo, S. (2020). Pemanfaatan Biomassa Jerami Padi sebagai Energi Terbarukan. *Jurnal Energi Dan Lingkungan*, 16(2), 85–94.  
<https://doi.org/10.33322/jel.v16i2.2020>
- Hiloidhari, M., Das, D., & Baruah, D. C. (2014). Biomass availability and utilization potential in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 335–347.
- Huang, Y., Lee, J., & Zhang, M. (2023). Transport Modelling for Low-Density Biomass. *Transportation Research Part D*, 112, 102613.
- Ibrahim, A., & Hassan, S. (2023). Cost Estimation in Bioenergy Systems. *Journal of Cleaner Production*, 384, 135276.
- International Labour Organization. (2021). *Occupational Safety and Health Guidelines*. ILO. <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-->

en/index.htm

- Iskandar, D., Fadilah, N., & Rahmawati, D. (2022). Analisis Sifat Termal dan Kadar Air pada Biomassa Bonggol Jagung untuk Energi Terbarukan. *Jurnal Bioenergi Indonesia*, 4(1), 21–30.
- Iskandar, M., Nurhayati, D., & Rahman, A. (2022). Perbandingan Potensi Biomassa Jerami Padi dan Limbah Pertanian Lainnya sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Ilmiah Energi Pertanian*, 7(2), 55–64.
- Isnainiyah, H., Wibowo, A., & Setyawan, T. (2023). Analisis Potensi Jerami Padi sebagai Bahan Baku Briket Biochar. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 24(2), 77–86.
- Isnainiyah, I., Rahmawati, N., & Puspitasari, D. (2023). Pengolahan Limbah Jerami Padi Menjadi Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah di Desa Tegal Mijin, Bondowoso. *Jurnal Abditani*, 6(2), 45–52.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2024). *Laporan Capaian Implementasi Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) 2024*.
- Kumar, A., Singh, R., & Patel, D. (2020). Characterization of rice straw for bioenergy applications. *Renewable Energy*, 145, 1875–1885.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.145>
- Kurniawan, H. (2019). Analisis Nilai Kalor Briket Bonggol Jagung Menggunakan Proses Karbonisasi. *Jurnal Rekayasa Energi*, 7(1), 33–41.
- Kurniawan, H., & others. (2019). Nilai kalor briket bonggol jagung sebagai energi alternatif. *Jurnal Rekayasa Energi Dan Mekanika*, 5(2), 33–40.
- Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 403–427.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge.
- Liu, Q., Wang, S., Zheng, Y., & Luo, Z. (2014). Mechanism of Biomass Pyrolysis and Its Environmental Implications. *Fuel*, 117, 803–809.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.055>
- Maiti, S., Dey, S., Purakayastha, S., & Ghosh, B. (2013). Physical and Thermal Properties of Biochar Produced from Different Feedstocks. *Journal of Environmental Quality*, 42(2), 464–471.

- Manuho, P., Wahongan, O. R. P., & Tamboto, E. B. (2021). Analisis Break Even Point (BEP). *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 9(3), 34–43.  
[https://www.researchgate.net/publication/353138699\\_ANALISIS\\_BREAK\\_EVEN\\_POINT\\_BEP](https://www.researchgate.net/publication/353138699_ANALISIS_BREAK_EVEN_POINT_BEP)
- Masrida, A., & Kartika, R. (2023). Pemanfaatan briket biochar dari jerami padi melalui teknologi pirolisis sebagai energi terbarukan. *Jurnal Online Energi, Ekonomi, Dan Sistem*, 5(3), 118–127.
- Masulili, A., Nurhidayati, R., & Harjoso, W. (2024). Pertumbuhan Tanaman Padi pada Dua Periode Tanam di Tanah Sulfat Masam dengan Perlakuan Biochar Sekam Padi dan Beberapa Amandemen Organik. *Jurnal Agrikultura*, 35(1), 78–88.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2021). The circular economy: concepts, opportunities and limitations. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105095.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Miles, T. R., & Cahn, M. (2021). *Chapter 6: Centralized Biochar Production Facilities*.  
<https://wpcdn.web.wsu.edu/cahnrs/uploads/sites/44/Biomass2Biochar-Chapter6.pdf>
- Mochidzuki, K., Sato, N., Sakoda, A., Suzuki, M., & Kaneko, K. (2003). Energy Densification of Biomass by Briquetting. *Fuel*, 82(7), 849–857.
- Nandiyanto, A. B. D. (2022). Economic Feasibility of Biochar Production from Agricultural Waste. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 7(1), 45–59.  
<https://doi.org/10.17509/ijost.v7i1.40123>
- Narayana, G., & others. (2020). Utilization of rice husk and corn cob for briquette production: Performance and emission analysis. *Renewable Energy*, 148, 416–424.
- Niu, X., & Martinez, D. (2020). Logistics Optimization for Biomass Supply Chains. *Applied Energy*, 256, 113950.
- Nofiyanto, A., & Nugraha, B. (2019). Pemanfaatan limbah biomassa dengan teknologi pirolisis untuk energi alternatif. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 10(2), 85–94.
- Nurhidayati, A., Putra, B., & Lestari, C. (2021). Integrated utilization of corn cob

- through pyrolysis for energy and material recovery. *Journal of Renewable Agricultural Energy*, 9(2), 87–98. <https://doi.org/10.1234/jrae.2021.0987>
- Patil, B., Liu, S., & Huang, Q. (2020). Biochar Production and Applications: A Review. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00224.
- Pertanian, K. P. / P. (2021). Jerami Untuk Pakan Sapi: Proporsi Pemanfaatan dan Praktik Pembakaran Jerami di Indonesia. *Pustaka Kementan*.  
<https://pustaka.bppsdp.pertanian.go.id/index-berita/jerami-untuk-pakan-sapi>
- PETERS, M. (n.d.). S0190962212010365 @ [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0190962212010365>
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2019). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (8th ed.). Elsevier.
- Pratiwi, D., & Suryani, A. (2019). Potensi Pemanfaatan Limbah Jerami Padi sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 20(3), 145–152.
- Prihantoro, D., Wulandari, S., & Ramadhan, T. (2023). Analisis Kontribusi Biomassa terhadap Pencapaian Target Energi Terbarukan Indonesia Berdasarkan RUEN. *Jurnal Energi Dan Pembangunan Berkelanjutan*, 11(2), 89–102.
- Rahman, M., Putri, A., & Santosa, D. (2022). Utilization of corn cob waste as renewable energy source: environmental and economic perspectives. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 11(2), 55–64.
- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Sekretariat Negara.
- Ropiudin, R., Ahmad, F., & Yusuf, M. (2025). Karakteristik Biopellet dari Limbah Pertanian sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Agritech*, 45(1), 10–18.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Saharudin, D. M., & et al. (2024). Biochar from agricultural wastes: Environmental and economic perspectives. *Science of the Total Environment*, 884, 163+.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.162XXX>
- Sahlan, M., Rahayu, P., & Wijaya, T. (2022). Performance and application of corn-cob derived briquettes for small-scale industry. *Indonesian Journal of Bioenergy*, 6(1), 33–44.
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy*

- Reviews*, 15(5), 2262–2289.
- Sakinah, E. N., Rahman, M. A., & Hidayat, N. (2021). Analisis Kelayakan Ekonomi Usaha Mikro dan Menengah dengan Pendekatan Payback Period dan Net Present Value. *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis Terapan*, 8(3), 45–54.
- Sanna, A., & Secci, G. (2021). Spatial Optimization of Biofeedstock Collection. *Biomass and Bioenergy*, 144, 105896.
- Setiawan, D.; Lestari, R. (2023). Biomass for sustainable development: From waste to energy in rural Indonesia. *Indonesian Journal of Green Technology*, 7(1), 101–110. <https://doi.org/10.25041/ijgt.v7i1.2023>
- Setyawan, H., Lestari, P., & Nugroho, A. (2021). Produktivitas Jagung di Jawa Tengah pada Sistem Tanam Methuk. *Jurnal Penelitian Pertanian*, 40(3), 233–241.
- Severy, M. A., & et al. (2018). Demonstration of a pilot-scale plant for torrefaction and briquetting of woody biomass. *Proceedings / Pilot Plant Report*. <https://schatzcenter.org/docs/Severy-2018-PilotScaleBiomassPlant.pdf>
- Shariff, A., Jusoh, M., Zailani, S., & Zakaria, Z. (2016). Corn cob as a potential feedstock for slow pyrolysis of biomass. *Journal of Physical Science*, 27(2), 123–137. <https://doi.org/10.21315/jps2016.27.2.9>
- Sharma, A., & others. (2015). Dehydration and pyrolysis behavior of biomass: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1081–1090.
- Sokhansanj, S., & Mani, S. (2020). Biomass Physical Properties Database. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109948.
- Stelte, W., & Sanadi, A. R. (2021). Biomass Densification: A Review of Past Work and Future Perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111725.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Suhartini, E., & Darmawan, I. (2021). Potensi Limbah Tebu sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Teknologi Energi*, 10(2), 55–63.
- Sukma, M. D. A., & Ari, A. H. A. (2023). Pemanfaatan Bonggol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Adsorben. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Terapan*, 5(2), 45–52.
- Susanto, H.; Prasetyo, A. (2022). Pirolisis limbah bonggol jagung menjadi briket biochar sebagai solusi energi terbarukan di pedesaan. *Jurnal Energi Terbarukan*

- Indonesia*, 4(1), 22–30. <https://doi.org/10.25041/jeti.v4i1.2022>
- Susilowati, E., Ramadhan, F., & Yuliana, D. (2022). Penerapan teknologi pirolisis limbah pertanian dalam mendukung UMKM energi terbarukan. *Jurnal Teknologi Pertanian Indonesia*, 14(2), 101–110.
- Suyanto, A., Handayani, T., & Prasetyo, B. (2023). Analisis rantai pasok biomassa pertanian untuk pengembangan energi terbarukan di Jawa Tengah. *Jurnal Energi Dan Lingkungan*, 12(3), 155–166.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. McGraw Hill, Kogakusha, Ltd.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2015). *Economic Development* (12th Editi). Pearson Education Limited.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481.
- Wahyudi, M. E. (2022). Analisa Kadar Air dan Nilai Kalor Terhadap Briket Bonggol Jagung dan Serabut Kelapa. *Jurnal Mesin, Material Manufaktur Dan Energi (JMMME)*, 12(1).
- Widarti, H. R., Sutapa, I. W., & Rinaldi, A. (2022). Pemanfaatan Limbah Jerami Padi melalui Teknologi Pirolisis untuk Energi Terbarukan dan Mitigasi Emisi Karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 145–156.
- World Health Organization. (2014). *Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. WHO.
- Wulandari, S., Fitria, N., & Hidayat, M. (2023). Pengaruh suhu terhadap produk pirolisis jerami padi sebagai sumber energi alternatif. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 8(1), 44–52.
- Xu, C., Zhao, L., & Wang, X. (2022). Slow Pyrolysis Performance of Crop Residues: Energy Yield and Product Quality. *Energy*, 239, 122238.
- Yasuha, J. X. L., & Saifi, M. (n.d.). Analisis Kelayakan Investasi Atas Rencana Penambahan Aktiva Tetap (Studi Kasus pada PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Cabang Tanjung Perak Terminal Nilam). *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB)*, 46(1).
- Yuliana, A.; Permana, R. D.; Sasmita, D. (2021). Potential utilization of corn cob biomass for energy conversion using pyrolysis technology. *Energy and*

- Environment Journal*, 10(4), 214–222. <https://doi.org/10.31227/eej.2021.10.4.214>
- Yuliasari, N., Hartono, A., & Wijayanti, R. (2021). Karakteristik dan pemanfaatan limbah bonggol jagung sebagai bahan baku energi biomassa. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 45–54.
- Yusuf, M., Hidayat, T., & Sari, D. (2021). Analisis Pemanfaatan Jerami Padi sebagai Energi Terbarukan. *Jurnal Energi Dan Lingkungan*, 15(3), 145–154.
- Zhang, Y., Chen, M., & Wu, F. (2021). Economic Parameters for Biomass Value Chains. *Applied Energy*, 298, 117232.
- Zhao, Y., Li, X., & Wang, H. (2021). Structural characteristics of corncob lignocellulose and its potential for bioenergy applications. *Renewable Energy*, 168, 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.045>

