TA/TL/2025/2096

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

TUGAS AKHIR

Potensi dan Ketersediaan Limbah Pertanian Padi Sebagai Sumber Bioenergi di Pulau Jawa

Nisa Risqilla Rahma
21513079

Dosen Pembimbing I: Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Potential and Availability of Paddy Agricultural Waste as a Bioenergy Source in Java Island

Nisa Risqilla Rahma
21513079

Supervisor I : Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D
Supervisor II : Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia
2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

POTENSI DAN KETERSEDIAAN LIMBAH PERTANIAN PADI SEBAGAI SUMBER BIOENERGI DI PULAU JAWA

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Nisa Risqilla Rahma

21513079

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 04 Desember 2025 dan disetujui oleh:

08/01/2026

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D (Pembimbing 1)

Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T (Pembimbing 2)

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng (Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan *(artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
   a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
   b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

   Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 04 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,

Nisa Risqilla Rahma

21513079

PRAKATA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Potensi dan Ketersediaan Limbah Pertanian Padi Sebagai Sumber Bioenergi di Pulau Jawa**. Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Banyak hambatan dan rintangan yang penulis hadapi selama proses penyusunan laporan tugas akhir ini, namun pada akhirnya dapat dilalui berkat adanya doa yang dilangitkan, bimbingan yang menuntun, serta dukungan yang menguatkan dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Maka dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada.

1. Allah SWT yang telah memberikan kelimpahan rahmat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan lancar.
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Sardoyo dan Ibu Rosmaini. Terima kasih sebesar-besarnya atas segala bentuk kepercayaan, bantuan, dukungan, semangat, dan milyaran rapalan doa yang tidak pernah terputus untuk kelancaran dan kesuksesan penulis hingga saat ini.
3. Kakak dan adik penulis, Rosa Pratiwi dan Hamka Akhmad azzam. Untuk kakak yang selalu menjadi inspirasi untuk terus melangkah maju, menjadi teman bertukar fikiran, tempat berkeluh kesah, dan menjadi sumber dukungan terbaik bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Untuk adik yang selalu menjadi semangat penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik. Terimakasih atas waktu, materi, doa yang senantiasa dilangitkan, dan seluruh hal baik yang diberikan pada penulis hingga saat ini.

4. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia
5. Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D dan Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah berkenan mencurahkan waktu, motivasi, saran, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng. Selaku dosen penguji yang telah berkenan memberikan saran, bimbingan, dan arahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Seluruh dosen, staff, dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
8. Fathyah Salsabila Az-Zalfa, Zhafira Putri Ramadhani, Divanda Zlatan Azizi, dan Muhammad Galung Al Samoud. Sahabat penulis yang sudah menjadi penyemangat dalam proses penyelesaian Tugas Akhir. Terimakasih sudah membersamai, memberikan rasa optimis, serta dorongan agar penulis tetap bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Selamat berkelana pada lautan yang lebih luas nantinya. Selamat meniti mimpi dan segala hal yang sedang diusahakan.
9. Salsabila Septiani, sahabat yang membersamai penulis sejak bangku SMP hingga saat ini. Terimakasih atas segala dukungan dan rapalan doa yang selalu dilangitkan.
10. Nadila Aulia, sahabat yang selalu menjadi tempat bertukar cerita dan fikiran sejak bangku SMA hingga sekarang. Terimakasih atas segala dukungan, doa, serta semangat dan rasa yakin yang selalu diberikan bahkan saat titik terendah penulis.
11. Teman-teman program studi teknik lingkungan angkatan 2021 yang namanya belum tertulis satu-persatu. Terimakasih sudah membersamai penulis dalam bertumbuh di bangku perkuliahan.

Demikian prakata yang dapat penulis sampaikan, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan tugas akhir ini serta tidak luput dari kesalahan dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dari penulis. Dengan berbesar hati, penulis mengharapkan masukan, kritik, maupun saran yang membangun demi kemajuan penulis dan kelayakan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Billahi taufiq wal hidayah,

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 November 2025
Nisa Risqilla Rahma

POTENSI DAN KETERSEDIAAN LIMBAH PERTANIAN PADI SEBAGAI SUMBER BIOENERGI DI PULAU JAWA

Mahasiswa	: Nisa Risqilla Rahma
NIM	: 21513079
Program Studi	: Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I	: Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D
Pembimbing II	: Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T

Abstrak

Fokus penelitian ini adalah menghitung dan memetakan potensi limbah pertanian padi di Pulau Jawa sebagai biomassa untuk dikonversi atau diolah menjadi bioenergi yaitu bioetanol. Perhitungan dan pemetaan potensi biomassa dilakukan dengan analisis deskriptif serta bantuan *Quantum Geographic Information System* (QGIS) untuk menggambarkan daerah dengan potensi terkecil hingga terbesar dari enam Provinsi di Pulau Jawa. Hasil menunjukkan bahwa daerah dengan potensi biomassa tertinggi adalah Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat, sementara daerah dengan potensi biomassa paling rendah adalah Kota Tangerang Selatan Provinsi Banten. Pemetaan potensi biomassa ditentukan dari besaran potensi biomassa tiap kabupaten dan kota yang sudah dihitung sekaligus dengan mempertimbangkan keterkaitan atau korelasinya dengan kerapatan sungai sebagai sumber irigasi dan kerapatan jalan atau aksesibilitas. Sehingga didapat hasil yaitu nilai besaran potensi biomassa yang dapat dimanfaatkan serta peta sebaran potensi biomassa pada QGIS untuk mempermudah melihat area dengan potensi biomassa terendah hingga tertinggi. Lima daerah dengan potensi biomassa terendah adalah Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Kepulauan Seribu, Kota Jakarta Pusat, Kota Jakarta Selatan, dan Kota Depok. Sementara daerah dengan potensi biomassa tertinggi adalah Kabupaten Ngawi, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Subang, Kabupaten Karawang, dan yang paling tinggi adalah Kabupaten Indramayu.

Kata kunci: Bioetanol, Biomassa, Limbah padi, Potensi biomassa.

POTENTIAL AND AVAILABILITY OF PADDY AGRICULTURAL WASTE AS A BIOENERGY SOURCE IN JAVA ISLAND

Student : Nisa Risqilla Rahma
Student Number : 21513079
Study Program : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Supervisor I : Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D
Supervisor II : Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T

Abstract

The focus of this research is to calculate and map the potential of rice agricultural waste on Java Island as biomass for conversion or processing into bioenergy, specifically bioethanol. The calculation and mapping of the biomass potential were carried out using descriptive analysis and the assistance of a Quantum Geographic Information System (GIS) to illustrate areas with the smallest to the largest potential across the six Provinces on Java Island. The results show that the area with the highest biomass potential is Indramayu Regency in West Java Province, while the area with the lowest biomass potential is South Tangerang City in Banten Province. The mapping of potential areas was determined by the calculated magnitude of the biomass potential, simultaneously considering its correlation with river density as an irrigation source and road density or accessibility. The result obtained is the value of the usable biomass potential and a map of the biomass potential distribution in QGIS to make it easier to view areas with the lowest to the highest biomass potential. The five areas with the lowest biomass potential are South Tangerang City, Thousand Islands Regency, Central Jakarta City, South Jakarta City, and Depok City. Meanwhile, the areas with the highest biomass potential are Ngawi Regency, Lamongan Regency, Subang Regency, Karawang Regency, and the highest is Indramayu Regency.

Key words: Bioethanol, Biomass, Rice waste, Biomass potential.

DAFTAR ISI

PRAKATA i
Abstrak iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR LAMPIRAN x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Ruang Lingkup 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Limbah Pertanian 6
2.2 Komoditas Pertanian 7
2.3 Proses Pengolahan Limbah 9
2.4 Energi Terbarukan 10
2.5 Penelitian Terdahulu 12
BAB III METODE PENELITIAN 17
3.1 Kerangka Studi 17
3.2 Pengumpulan Data 18
3.3 Analisis Data 19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 28
4.1 Daerah Penelitian 28
4.2 Limbah Pertanain Padi 28
4.3 Konversi Perkiraan Besaran Energi dari Limbah Padi 29
4.4 Perbandingan Perhitungan 31

4.4 Potensi Biomassa 31
4.3 Provinsi Banten 33
4.4 Provinsi DKI Jakarta 38
4.5 Provinsi Jawa Barat 43
4.6 Provinsi Jawa Tengah 46
4.7 Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) 51
4.8 Provinsi Jawa Timur 55
4.9 Kerapatan Sungai dan Kerapatan Jalan 60
4.10 Pemetaan Potensi Biomassa di Pulau Jawa 62
4.11 Teknologi Pengolahan Potensi Biomassa 63
BAB V PENUTUP 70
5.1 Kesimpulan 70
5.2 Saran 70
DAFTAR PUSTAKA 72
LAMPIRAN 74
RIWAYAT HIDUP 111

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 13

Tabel 3. 1 jurnal utama yang menjadi dasar acuan 19

Tabel 4. 1 korelasi potensi biomassa dengan kerapatan sungai dan jalan 61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian 17

Gambar 4. 1 Total Limbah Padi Provinsi Banten 34
Gambar 4. 2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami 35
Gambar 4. 3 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam 35
Gambar 4. 4 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam 36
Gambar 4. 5 Potensi Biomassa Provinsi Banten 37
Gambar 4. 6 Total Limbah Padi Provinsi DKI Jakarta 39
Gambar 4. 7 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami 40
Gambar 4. 8 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam 41
Gambar 4. 9 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam 41
Gambar 4. 10 Potensi Biomassa Provinsi DKI Jakarta 42
Gambar 4. 11 Total Limbah Padi Provinsi Jawa Barat 43
Gambar 4. 12 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami 44
Gambar 4. 13 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam 45
Gambar 4. 14 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam 45
Gambar 4. 15 Potensi Biomassa Provinsi Jawa Barat 46
Gambar 4. 16 Total Limbah Padi Provinsi Jawa Tengah 47
Gambar 4. 17 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami 48
Gambar 4. 18 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam 49
Gambar 4. 19 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam 50
Gambar 4. 20 Potensi Biomassa Provinsi Jawa Tengah 51
Gambar 4. 21 Total Limbah Padi Provinsi DIY 52
Gambar 4. 22 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami 53
Gambar 4. 23 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam 54
Gambar 4. 24 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam 54
Gambar 4. 25 Potensi Biomassa Provinsi DIY 55
Gambar 4. 26 Total Limbah Padi Provinsi Jawa Timur 56
Gambar 4. 27 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami 57
Gambar 4. 28 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam 58
Gambar 4. 29 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam 58
Gambar 4. 30 Potensi Biomassa Provinsi Jawa Timur 60
Gambar 4. 31 Peta Sebaran Potensi Biomassa di Pulau Jawa 63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Total Limbah 74
Lampiran 2. Total Konversi Total Limbah Menjadi Energi 81
Lampiran 3. Total Potensi Biomassa Tiap Kabupaten dan kota di Pulau Jawa 89
Lampiran 4. Perhitungan Kerapatan sungai Dan Kerapatan jalan 97
Lampiran 5 Peta Sebaran Potensi Biomassa 109

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi fosil yaitu minyak, gas, dan batu bara hingga saat ini masih mendominasi kebutuhan energi secara global. Hal ini menyebabkan ketergantungan sekaligus meningkatkan produktivitas pada kehidupan Masyarakat secara signifikan. Namun dibalik kekuatan dan manfaatnya, sumber energi fosil dapat menimbulkan dampak yang serius bagi lingkungan, hasil pembakaran energi fosil dapat menghasilkan gas rumah kaca yang dapat meningkatkan suhu global, perubahan pola cuaca ekstrem, hingga mempengaruhi perubahan iklim. Kondisi ini memerlukan adanya perubahan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan segala dampak negatifnya. Salah satunya yaitu dengan membuat sumber energi alternatif seperti energi angin, surya, hidroelektrik, dan biomassa. Sumber energi alternatif khususnya biomassa memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia, namun disamping manfaat dan keunggulannya, penelitian dan transisi dari sumber energi fosil ke sumber energi biomassa tentunya memiliki banyak tantangan dari segi biaya dan ketergantungan energi. Maka dari itu perlu adanya inovasi teknologi dan peningkatan kesadaran Masyarakat akan pentingnya energi alternatif sehingga dapat mendorong berkembangnya energi alternatif dari biomassa (Tjiwidjaja & Salima, 2023).

Indonesia merupakan negara dengan potensi pertanian yang sangat besar, namun disamping itu potensi pertanian yang besar juga berisiko menimbulkan limbah pertanian yang besar pasca masa panen. Salah satu jenis tanaman yang paling banyak ditanam di Indonesia khususnya Pulau Jawa adalah tanaman padi, sementara itu yang banyak ditanam di Pulau Sumatera dan Kalimantan adalah sawit. Berdasarkan data tersebut, diperlukan adanya klasifikasi limbah organik untuk memilah limbah berdasarkan jenis dan karakteristik untuk menemukan langkah pengelolaan yang tepat (Massarelli et al., 2021).

Limbah pertanian umumnya memiliki karakteristik mengandung protein, karbohidrat, serta pati, namun rendah protein, dan sedikit serat, sehingga dapat diketahui bahwa limbah hasil pertanian memiliki karakteristrik yang khas, maka selain berisiko mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik, limbah pertanian juga memiliki potensi untuk dikelola menjadi produk baru (Isnaeni & Arista, 2024).

Salah satu cara pengelolaan limbah pertanian yang dapat dilakukan di Indonesia adalah dengan melihat potensi limbah untuk dijadikan produk baru. Mengingat tingginya kebutuhan energi nasional seiringan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah, maka akan semakin meningkat pula kebutuhan energi yang dibutuhkan dimasa depan, contohnya bahan bakar minyak (BBM), listrik, gas, dan batubara. Karena sumber energi fosil yang selama ini dimanfaatkan tidak dapat diperbaharui, dibutuhkan sumber energi alternatif lain yang dapat menggantikan bahan bakar fosil, salah satunya adalah biomassa. Limbah pertanian menjadi salah satu potensi sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif (Yanti, 2023).

Limbah pertanian dalam jumlah banyak dapat diolah dengan teknologi pirolisis. Teknologi pirolisis merupakan pengolahan dengan cara dekomposisi termal senyawa organik dalam waktu singkat tanpa oksigen pada suhu tinggi berkisar antara 400-600℃ Celcius yang dapat menghasilkan cairan, gas, dan arang. Biomassa hasil pirolisis merupakan bio oil yang mengandung berbagai macam komponen bahan utama dan bahan organik lainnya yang dapat digunakan sebagai bahan pengawet, bahan kimia, dan bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak dari limbah biomassa inilah yang memiliki potensi untuk menjadi sumber energi alternatif terbarukan (Yanti, 2023).

Selain metode pirolisis, ada beberapa teknologi lain untuk mengolah limbah pertanian menjadi sumber energi, yaitu metode *anaerobik digestion*, karbonisasi dan pembriketan, *solid state fermentation*, dan teknologi *waste to energy.* Selain menjadi sumber potensial untuk diolah menjadi energi, pengolahan limbah juga harus dikelola dengan benar serta

mempertimbangkan teknologi yang digunakan, skala produksi, tata Kelola limbah, produk sampingan, serta keterlibatan masyarakat. Pemanfaatan limbah pertanian menjadi energi diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat digunakan di Indonesia (Edwin et al., 2024).

Dalam perencanaan pemanfaatan limbah pertanian diperlukan adanya pemetaan yang dapat memperkirakan potensi bioenergi, salah satunya dengan geographic information system (GIS). Campur tangan GIS diperlukan karena GIS menawarkan manfaat yang nantinya dapat diakses untuk pengumpulan dan pengelolaan bahan baku yang efisien dan analisis biaya manfaat untuk produksi bioenergi, mengkonfirmasi pasokan bahan baku yang berkelanjutan, penggunaan lahan sipil dan fasilitas logistik industri juga dapat dievaluasi dengan GIS, serta persiapan strategis yang efektif untuk pemilihan dan penyimpanan residu yang hemat waktu dan hemat biaya (Bharti et al., 2021).

Bahan baku bioenergi yang direncanakan bersumber dari limbah pertanian padi. Indonesia sebagai negara agraris memiliki banyak persawahan dan perkebunan, khususnya perkebunan sawit yang hingga saat ini memiliki potensi ekonomi yang tinggi baik dari buah maupun limbahnya. Pada penelitian terdahulu dilakukan pemanfaatan limbah perkebunan sawit, namun sejatinya tanaman padi, jagung, dan tebu juga masih kurang pengelolaan dilihat dari adanya sisa-sisa sekam bakar tiap pasca panen. Sehingga menjadi potensi lain untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku bioenergy (Kasmaniar et al., 2023). Penelitian lain menyatakan bahwa telah dilakukan pengelolaan limbah pertanian skala Kabupaten menjadi briket yang dapat menjadi peluang ekonomi baru bagi Masyarakat dan daerah (Rahayu, 2021). Berdasarkan penelitian lainnya diketahui bahwa limbah pertanian juga berpotensi sebagai sumber energi sederhana yaitu biogas, namun dalam skala besar berpotensi sebagai energi pembangkit listrik (Aulia Wulansari Agustin et al., 2023). Dari penelitian-penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa limbah pertanian memiliki potensi

besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan yang dapat terus diperbaharui.

Pengolahan limbah pertanian menjadi energi merupakan salah satu solusi yang relevan dalam upaya pengurangan limbah di lingkungan dan mengatasi krisis energi fosil yang tidak dapat diperbarui (Aulia Wulansari Agustin et al., 2023). Di sisi lain, pemanfaatan limbah menjadi energi dapat menjadi pintu ekonomi baru bagi petani dan dapat meningkatkan kesejahteraan serta menjadi pendukung pengembangan energi berkelanjutan dan kemandirian daerah tingkat lokal (Seminar et al., 2025). Sehingga diperlukan adanya penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi, menganalisis dan mempelajari lebih lanjut terkait pemanfaatan dan distribusi limbah pertanian padi di Indonesia melihat dari potensi yang ada sebagai sumber energi melalui tinjauan literatur dengan pendekatan pemetaan GIS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hubungan antara distribusi limbah biomassa dan potensi biomassa di Pulau Jawa?
2. Bagaimana dampak limbah pertanian padi yang tidak dikelola terhadap manusia dan lingkungan?
3. Berapa besaran potensi biomassa tertinggi dan terendah di Pulau Jawa dan bagaimana cara pemanfaatannya?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis hasil distribusi limbah biomassa pertanian di Pulau Jawa
2. Menganalisis dampak limbah pertanian yang tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan baik bagi manusia lingkungan.
3. Menghitung potensi pemanfaatan limbah pertanian menjadi bahan baku energi alternatif terbarukan serta cara pemanfaatannya

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi terkait dampak limbah pertanian bagi manusia maupun lingkungan.

2. Memberikan informasi terkait potensi dan cara pemanfaatan limbah pertanian menjadi produk baru yang bisa dimanfaatkan dalam jangka waktu Panjang.

1.5 Ruang Lingkup

1. Penelitian dilakukan dengan mengkaji berdasarkan literatur, data sekunder komoditas pertanian di Indonesia dari pemerintah Indonesia, dan penelitian terdahulu.
2. Penelitian mempertimbangkan beberapa teknologi pengolahan limbah yaitu, pirolisis, gasifikasi, anaerobik digestion, karbonisasi dan pembriketan, solid state fermentation, serta teknologi waste to energy.
3. Penelitian dilakukan dengan pendekatan faktual dan spasial.
4. Perhitungan jerami kering dan jerami basah tidak dilakukan secara terpisah
5. Data yang digunakan diambil dari beberapa sumber yang berbeda sehingga terdapat kemungkinan bias.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Pertanian

Limbah pertanian terdiri dari banyak jenis berdasarkan beberapa aspek yaitu sumber, waktu, dan wujudnya. Berbagai jenis limbah yang berbeda-beda di lingkungan contohnya limbah tanaman yaitu sisa panen seperti Batang, daun, kulit, biji, maupun bagiannya yang tidak bisa dimanfaatkan setelah panen, kemudian limbah sisa pengolahan seperti ampas kopi, kelapa, tebu, maupun sisa industry pengolahan makanan. Selain limbah pasca panen, ada pula limbah sebelum panen seperti sisa pemangkasan tanaman, selain itu limbah pertanian juga memiliki banyak bentuk mulai dari padat seperti Jerami, ranting, dan lainnya, limbah cair seperti air limbah irigasi dan proses pengolahan hasil panen, kemudian limbah gas contohnya hasil proses penguraian sampah organik yang menghasilkan gas metana. (Wislim et al., 2025)

Penelitian terdahulu mengevaluasi dampak lingkungan dari pembakaran terbuka jerami padi dan diketahui dapat menyebabkan sejumlah besar polutan udara yang berkontribusi pada penurunan kualitas udara ambien, perubahan iklim, dan kerusakan kesehatan populasi umum secara serius. Kandungan rasio karbon terhadap nitrogen yang tinggi pada jerami padi menyebabkan tingkat biodegradabilitasnya sangat rendah dibandingkan dengan residu pertanian lainnya. Pembakaran Sekam Padi dan Jerami Padi memiliki kandungan silika yang tinggi, dan dapat menghasilkan silika biogenik tingkat tinggi yang terbukti dapat menyebabkan penyakit paru-paru menyerupai asbestosis, yaitu fibrosis pleura dan kemungkinan karsinoma bronkogenik (Safty, 2020).

Pengelolaan limbah padi yang tidak tepat, seperti praktik pembakaran terbuka, tidak hanya menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia, tetapi juga menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan, seperti degradasi tanah yang parah, hilangnya nutrisi penting, dan polusi udara yang cukup besar. Sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui cara pengelolaan dan pengolahan limbah khususnya padi yang paling efisien

dan meminimalisir dampak buruk terhadap lingkungan maupun manusia. (Mondal et al., 2025).

Dari berbagai jenis limbah pertanian ini seringkali dianggap sebagai masalah yang disepelekan sehingga banyak daerah yang membiarkan limbah dan menumpuknya disuatu tempat tanpa dimanfaatkan, namun sebenarnya limbah pertanian dapat menjadi potensi besar untuk diubah menjadi produk baru dengan menggunakan teknologi yang tepat dan pemantauan yang tepat. Contohnya sebagai bahan baku pupuk organik, pakan ternak, dan penghasil biogas maupun bioetanol untuk kemudian dimanfaatkan menjadi energi terbarukan.

Sejauh ini pengelolaan limbah pertanian di Indonesia masih belum merata dikarenakan beberapa faktor seperti kurangnya pengetahuan dan perhatian Masyarakat terhadap pengolahan limbah pertanian, fasilitas pengolahan limbah yang terbatas di berbagai daerah sehingga menyebabkan penumpukan limbah pertanian, dan kurangnya minat pada produk olahan limbah karena dianggap kurang berkualitas. Faktor-faktor inilah yang harus diatasi agar pemanfaatan limbah pertanian menjadi produk baru dan sumber energi dapat berjalan optimal.

2.2 Komoditas Pertanian

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, dengan lahan pertanian yang luas, didiukung dengan iklim tropis mendukung pertumbuhan berbagai tanaman terutama tanaman serealia seperti padi, jagung, kedelai, tak hanya itu Indonesia juga memiliki perkebunan sawit yang luas menyebar di beberapa kepulauan di Indonesia, maka dari itu Indonesia disebut sebagai negara agraris dimana Sebagian besar penduduk Indonesia bekerja disektor pertanian, pertanian di Indonesia merupakan penopang penting dalam pertumbuhan ekonomi nasional. Hal ini ditunjukkan oleh kegiatan ekspor yang dilakukan Indonesia ke beberapa negara, jenis pertanian yang diekspor yaitu kelapa sawit, kopi, kakao, dan karet.

Salah satu komoditas pertanian terbesar di Indonesia adalah padi atau beras, berdasarkan pengukuran di tahun 2019-2022 diketahui bahwa luasan

perkebunan padi di Indonesia mencapai 4.766,108 ha, sementara itu luasan perkebunan kelapa organik yaitu 21.542 ha dengan hasil panen mencapai 23.296 ton, luasan perkebunan pisang organik menurun dari 65,9 ha menjadi 57,7 ha dengan jumlah produksi sebesar 265,25 ton, sementara itu luasan perkebunan kopi organik mencapai 31.772,96 ha, luasan perkebunan jeruk organik yaitu 7,2 ha, luasan perkebunan teh organik yaitu 178,51 ha dengan jumlah produksi mencapai 104,6 ton, kemudian luasan perkebunan kakao organik yaitu 563,92 ha dengan jumlah produksi 4,77 ton, luasan perkebunan aren organik yaitu 507,03 ha, luasan perkebunan rempah-rempah organik yaitu 4.860,397 ha, luasan perkebunan buah tropis organik yaitu 1.092,419 ha, luas perkebunan sayuran organik yaitu 3.043,58 ha. (Andhini, 2019)

Pulau Jawa merupakan salah satu pulau yang ada di Indonesia dan memiliki peran penting dalam pertanian dan tumpuan sumber pangan nasional karena lahan nya yang subur dan iklim tropis yang semakin mendukung potensi sumber daya alam nya yang melimpah. Besarnya potensi pertanian atau komoditas pangan suatu daerah, maka besar pula produk sampingan atau limbah yang dihasilkan dari pertanian tersebut. Salah satu Provinsi dengan potensi pertanian padi yang tinggi adalah Provinsi Jawa Tengah dengan rata-rata *static location quotient* (SLQ) lebih dari satu dan *dynamic location quotient* (DLQ) lebih dari nol. Hal ini menandakan bahwa padi di jawa tengah merupakan komoditas yang dapat memenuhi kebutuhan di Provinsi tersebut atau bahkan daerah sekitarnya. Selain padi, komoditas kedelai di Provinsi jawa timur juga memiliki rata-rata yang cukup tinggi, disusul dengan komoditas kacang tanah di Provinsi DIY, serta komoditas ubi kayu di Provinsi jawa barat. (Achsa et al., 2022).

Berdasarkan banyaknya jenis tanaman yang dikembangkan di Indonesia menjadikan limbah pertanian meningkat seiring meningkatnya luasan dan hasil panen Perkebunan yang ada di Indonesia. Jika limbah pertanian dalam jumlah banyak dibiarkan dan tidak dikelola dengan baik, maka akan timbul dampak bagi lingkungan disekitarnya, baik air, tanah, maupun udara. Maka dari itu diperlukan adanya inovasi pemanfaatan limbah pertanian sebagai bentuk perlindungan lingkungan dan pengoptimalam potensi yang dimiliki limbah

pertanian sehingga dapat menjadi produk baru yang selalu dapat diperbarui dalam jangka Panjang dan dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Pada penelitian kali ini, akan dilakukan perhitungan potensi energi yang dapat dihasilkan dari limbah komoditas pertanian padi dan pemetaan potensi dengan QGIS di Pulau Jawa.

2.3 Proses Pengolahan Limbah

Limbah pertanian memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif bahan bakar minyak (BBM) dan Batubara. Pemanfaatan yang sudah sering dilakukan yaitu mengolah limbah sisa pertanian menjadi arang atau briobriket. Namun berbagai penelitian telah dilakukan untuk mempelajari cara pengolahan limbah pertanian menjadi bioethanol, biodiesel, maupun biogas. Diketahui bahwa tiap tahun residu tanaman pertanian terus meningkat mencapai rata-rata 998 juta ton. Sekitar 100-120 juta ton sekam padi, 200-230 juta ton bonggol jagung, 279-300 juta ton ampas tebu, dan 400-529 juta ton limbah Jerami gandum. Hal ini terjadi karena para petani tidak memanfaatkan limbah, atau justru membakar limbah dilahan terbuka sehingga dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Selain itu juga dipengaruhi oleh kurangnya teknologi pengelolaan limbah sehingga menjadi penyebab masalah ini terjadi. Limbah pertanian merupakan komponen penting dari limbah yang dihasilkan diseluruh dunia, sehingga pengelolaan limbah yang tidak baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan potensi bahaya bagi Kesehatan.

Komposisi limbah merupakan faktor penting dalam memilih bahan baku dan menentukan metode pengolahan limbah pertanian untuk menjadi sumber energi baru. Selain itu komposisi juga mempengaruhi perilaku, sifat, karakteristik, kualitas, biaya, dan cara pemanfaatannya. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode pirolisis, yaitu penguraian bahan organik melalui pemanasan tanpa oksigen atau anaerobik pada suhu tinggi yang mengarah pada dekomposisi termal. Kemudian menggunakan metode gasifikasi, yaitu teknologi termokimia yang mengonversi panas dari bahan berkarbon dengan bahan gasifikasi seperti udara, oksigen, atau uap di lingkungan atau pada tekanan tinggi dengan suhu diatas 750 derajat celcius.

Metode torefaksi yaitu jenis pirolisis pada suhu sedang yang memerlukan pemanasan bahan secara bertahap hingga mencapai suhu antara 300-300 derajat Celcius dengan adanya udara pada tekanan atmosfer. Proses torefaksi mengubah sifat-sifat biomassa seperti ukuran partikel, kadar air, luas permukaan, laju pemanasan, kepadatan energi, dan lain-lain. Metode karbonisasi ionotermal yaitu proses yang melibatkan karbonisasi precursor melalui priolisis cairan ionik yaitu garam ditambah dengan anion yang berbentuk cair dibawah 100 derajat celcius atau pada suhu kamar. Proses ini ditemukan padat menghasilkan biochar lebih tinggi dan memiliki pori-pori hirarki yang signifikan karena efek porogenik yang disebabkan oleh besi pada cairan ionik (Kusuma et al., 2024).

Selain metode pengolahan gasifikasi dan pirolisis, terdapat teknologi pengolahan lainnya yaitu pengolahan secara biologi atau mengubah selulosa dan hemiselulosa sebagai sumber karbon untuk produksi etanol dengan melakukan proses hidrolisis. Terdapat dua jenis sakarifikasi yang dapat dilakukan yaitu sakarifikasi bertahap dan sakarifikasi serentak. Dari proses pengolahannya, keduanya menghasilkan hasil fermentasi yang sudah mengandung bioetanol, namun bioetanol masih bercampur dengan air akibat hidrolisis sehingga perlu dilakukan distilasi atau pemurnian untuk mendapatkan bioetanol murni yang dapat dimanfaatkan. (Baharuddin & Fitriyani, 2016)

2.4 Energi Terbarukan

Sumber energi terbesar yang digunakan hingga saat ini masih berasal dari sumber daya fosil, yang mana menjadi kekhawatiran karena semakin terbatasnya jumlah sumber energi sebab tidak bisa diperbaharui sementara sumber energi fosil merupakan sumber energi yang digunakan diseluruh dunia. Maka dari itu bioenergy menjadi salah satu Solusi untuk memenuhi kebutuhan energi. Bioenergy berasal dari biomassa dimana bahan-bahan organik yang berumur relatif lebih muda bisa didapat dari tumbuhan atau hewan, contohnya dari limbah pertanian, perkebunan, hutan, peternakan, dan perikanan. Pemanfaatan limbah pertanian dapat menjadi salah satu peluang penghasil

sumber energi biomassa untuk menghasilkan bioenergi, hal ini dapat menunjukkan manfaat yang signifikan, diantaranya dapat membantu mengatasi masalah pencemaran lingkungan yang berasal dari limbah pertanian itu sendiri.

Pengolahan limbah pertanian menjadi bioenergi salah satunya yaitu mengolah limbah menjadi biodiesel dari biochar. Secara umum, biochar bersifat inert secara kimiawi, sangat fungsional, dan stabil secara structural, mekanis, dan termal. Biochar juga memiliki porositas yang tinggi, mudah didapatkan, dan ramah lingkungan. Potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai biochar dalam produksi biodiesel berkelanjutan menjanjikan peluang yang besar. Kemajuan teknologi dalam bidanng produksi biodiesel berpotensi meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan, sehingga menghasilkan proses yang jauh lebih ramah lingkungan. Hal ini dapat membuat produksi biodiesel berkontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, dampak negative perubahan iklim, jejak karbon, dan meningkatkan keberlanjutan energi. Selain itu, pemanfaatan biochar dari limbah pertanian dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil yang terbatas sekaligus mengelola limbah pertanian secara efektif yang sebelumnya dipandang sebagai tantangan lingkungan. (Kusuma et al., 2024)

Selain pengolahan limbah menjadi biochar, limbah pertanian juga dapat diolah menjadi bioetanol yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar ramah lingkungan, selain itu asam laktat hasil pengolahan limbah juga dapat digunakan menjadi bahan pembuatan plastic ramah lingkungan yang mudah terurai. Bioetanol merupakan alternatif energi terbarukan yang mengandung 35% o2 dan memiliki angka oktan yang tinggi sekitar 112,5-114 sehingga hasil pembakarannya stabil yakni berupa CO2 dan H2O, hal ini membuat bioetanol memiliki predikat *clean energy*. Namun penelitian dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan proses dan memaksimalkan potensi sumber daya terbarukan ini. (Seminar et al., 2025)

Peluang pengembangan energi terbarukan dari limbah pertanian khususnya limbah padi dapat menjadi jalan keluar dari permasalahan ketergantungan masyarakat pada sumber energi fosil yang tidak dapat diperbaharui dan mengurangi dampak negatif dari proses pengolahannya.

Selain memperhatikan proses pengolahan, hal lain yang menjadi pertimbangan dari penelitian terkait peralihan sumber energi fosil ke sumber energi biomassa adalah keterkaitan atau korelasi antara biomassa dengan kerapatan sungai sebagai irigasi dan kerapatan jalan sebagai aksesibilitas. Perlu dilihat adanya keterkaitan atau tidak antara ketiga hal ini untuk melihat hasil akhir pemetaan biomassa.

Berdasarkan *Renewable Fuels Association* (RFA), yaitu organisasi dagang terbesar di Amerika yang mewakili industri etanol yang berfokus pada pengembangan pasar biofuel, pada tahun 2024 total produksi dan konsumsi bioetanol secara global diperkirakan mencapai 93 juta ton per tahun. Negara dengan produksi dan konsumsi bioetanol terbesar adalah Amerika Serikat yang menggunakan campuran bioetanol 10% hingga 15% secara nasional, dan Brazil yang mewajibkan campuran bioetanol hingga 27% pada bensin.

2.5 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu dijelaskan bahwa terdapat beberapa metode pengolahan limbah menjadi energi, seperti landfill, gasifikasi, dan pirolisis. Metode gasifikasi memeliki keunggulan yaitu mampu mengurangi volume sampah hingga 70% dari total limbah yang diolah sehingga mengurangi permasalahan pengelolaan sampah yang mendesak dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Hal ini membuat metode gasifikasi menjadi salah satu solusi yang efisien untuk mengelola limbah. Sementara keunggulan metode pirolisis adalah gas yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat diubah menjadi biofuel, sehingga pirolisis tidak hanya menjadi metode pengelolaan limbah namun juga menjadi solusi sumber energi alternatif ramah lingkungan.

Pengaplikasian *Waste to Energy* di Indonesia pada saat ini masih tergolong sedikit bahkan terbatas. Berbanding terbalik dengan potensi bahan baku yaitu limbah biomassa dan potensi pengembangannya yang sangat tinggi. Salah satu cara mengolah limbah biomassa menjadi energi adalah dengan mengubah limbah menjadi bioetanol. Pemgolahan limbah khususnya padi sudah dilakukan pada penelitian terdahulu, dibuktikan dengan limbah padi yang diolah dapat menghidupkan api pada percobaan atau penelitian

yang dilakukan di laboratorium. Hal ini menandakan bahwa limbah padi merupakan salah satu bahan baku yang berpotensi besar untuk dimanfaatkan untuk diolah menjadi energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. Namun pengolahan limbah menjadi energi di Indonesia masih memiliki tantangan, yaitu kurangnya dukungan pemerintah maupun swasta dalam proses pengembangan teknologi maupun infrastruktur, minimnya kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pengolahan sampah yang ramah lingkungan, minimnya kapasitas dan kemampuan dalam pengelolaan dan mengolah limbah menjadi energi, serta tingginya biaya inverstasi dalam pengembangan infrastruktur pengolahan limbah menjadi energi. Sehingga diperlukan adnaya kerja sama atau kolaborasi antara ketiga pihak yaitu pemerintah, swasta, dan masyarakat (Apriyanti et al., 2024).

Pengolahan limbah khususnya limbah padi menjadi energi belum dilakukan secara merata di Pulau Jawa, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan dan pengelolaan limbah padi menjadi energi. Penelitian terdahulu mengenai pengolahan limbah menjadi energi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Referensi	Jenis teknologi pengolahan	Jenis limbah pertanian	Ringkasan Penelitian
Bioetanol dari Limbah Sekam Padi sebagai Sumber Energi Terbarukan (Farhani et al., 2025)	Sakarifikasi hidrolisis dan fermentasi (SHF)	Limbah padi (sekam)	Mengubah limbah sekam padi menjadi bioetanol dengan melakukan sakarifikasi bertahap dari hidrolisis lalu fermentasi dan hasil fermentasi di distilasi untuk mendapatkan bioetanol murni.

Biomass potential from agricultural residues for energy utilization in west nusa tenggara (WNT), Indonesia. (Fitri et al., 2023)	Konversi energi	Limbah pertanian di NTB	• Menggunakan metode perhitungan dari hasil produksi pertanian, jumlah ketersediaan limbah, dan rasio residu produk. • Persentase residu limbah pertanian terbesar di NTB yaitu Jerami padi, Jerami jagung, dan biji jagung dengan persentase diatas 70%. • NTB kaya akan komoditas pertanian dengan nilai kalor total (THV) hingga 42,4 PJ.
PRODUKSI BIOETANOL DARI JERAMI PADI (Oryza	Sakarifikasi dan fermentasi serentak (SFS)	Limbah padi dan kulit pohon dao	Mengolah limbah padi dan kulit pohon dao menjadi bioetanol dengan sakarifikasi

sativa L.) dan KULIT POHON DAO (Dracontamelon) MELALUI PROSES SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI SERENTAK (SFS) (Baharuddin & Fitriyani, 2016).			hidrolisis dan fermentasi secara serentak, dan hasil fermentasi di distilasi untuk mendapatkan bioetanol murni.
ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF RICE STRAW GASIFICATION (Dalmis et al., 2022)	Gasifikasi	Limbah jerami padi di Turki	Mengolah jerami padi menjadi energi dengan metode gasifikasi pada beberapa sampel untuk melihat perbandingan efisiensi energi yang dihasilkan.

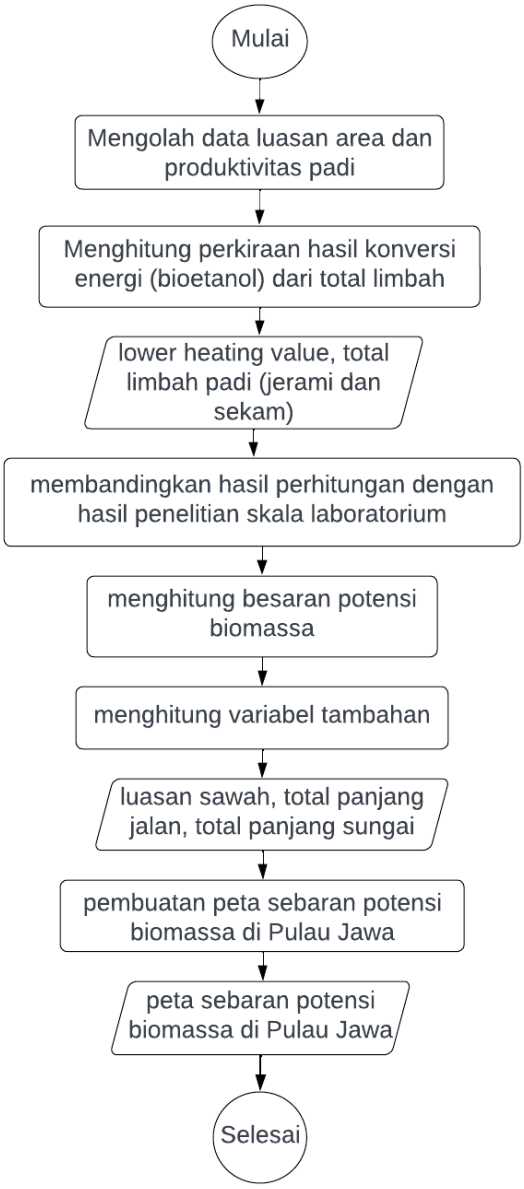
Beberapa penelitian terdahulu sudah membahas terkait cara pengolahan limbah padi, seperti penelitian mengenai teknologi sakarifikasi dan fermentasi serentak (SFS), sakarifikasi hidrolisis dan fermentasi (SHF), maupun teknologi lainnya seperti gasifikasi dan pirolisis. Limbah pertanian khususnya limbah padi diolah bersama dengan campuran limbah pertanian lain seperti kulit pohon dao, hanya diolah sebagian yaitu sekam saja, atau limbah padi dicampur dengan plastik pada proses gasifikasi dan pirolisis. Penelitian lain menunjukkan hasil pengolahan limbah padi dinegara lain yaitu Turki dengan metode gasifikasi untuk memperoleh perbedaan efisiensi energi yang dihasilkan dari beberapa sampel. Belum ada penelitian yang menjelaskan potensi biomassa dari limbah pertanian khususnya padi beserta rekomendasi cara pengolahan, pengelolaan, dan perhitungan potensi

biomassa menjadi bioenergi yaitu bioetanol dengan skala Pulau Jawa di Indonesia, sehingga penelitian ini dapat menjadi terobosan baru dalam penelitian potensi biomassa beserta pengolahannya yang dapat diterapkan dalam skala besar. Penelitian ini berfokus pada pengolahan limbah pertanian yaitu limbah padi menjadi bioenergi berupa bioetanol dengan rekomendasi teknologi yang dinilai paling efisien untuk diterapkan yaitu sakarifikasi dan fermentasi serentak (SFS). Hasil akhir dari penelitian ini adalah adanya rekomendasi teknologi dalam pengolahan limbah padi dan peta sebaran potensi biomassa di Pulau Jawa dari yang paling kecil hingga yang paling besar.

BAB III
METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian non laboratorium dengan data penelitian berdasarkan data sekunder yang bersumber dari Badan Pusat Statistik, jurnal penelitian terdahulu, dan Indonesia Geospasial menggunakan analisis deskriptif.

3.1 Kerangka Studi



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data luasan area dan produktivitas sawah untuk menghitung total limbah padi tiap kabupaten dan kota. Kemudian dilanjut dengan menghitung konversi perkiraan energi yang dapat dihasilkan dari total limbah. Tahapan selanjutnya yaitu melakukan perbandingan hasil perhitungan yang sudah dilakukan dengan hasil perhitungan berdasarkan penelitian skala laboratorium untuk memastikan hasil perhitungan tidak berselisih jauh. Setelah dilakukan perbandingan dan hasil yang didapatkan dari keduanya tidak berbeda jauh, maka diasumsikan bahwa perhitungan yang sudah dilakukan bisa dilanjutkan dengan menghitung total potensi biomassa yang dapat dihasilkan dari total limbah yang sebelumnya sudah dihitung. Setelah ditemukan total potensi biomassa, dilakukan perhitungan variabel tambahan yaitu kerapatan sungai (*drainage density*) dan kerapatan jalan (*road density*) yang menjadi pertimbangan dalam penentuan kesimpulan akhir sebaran potensi biomassa tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa. Hasil akhir yang didapatkan dari penelitian ini adalah peta sebaran potensi biomassa Pulau Jawa untuk mempermudah penentuan daerah yang difokuskan untuk pengembangan pemanfaatan potensi biomassa menjadi energi secara optimal.

3.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yaitu data yang didapatkan tidak secara langsung. Didapatkan melalui data instansi pemerintah dan jurnal penelitian terdahulu.

1. Data komoditas pertanian Indonesia dari Badan Pusat Statistik tahun 2024 dan Satu Data Pertanian Indonesia.
2. Data lokasi dan distribusi geografis pertanian-perkebunan tiap kabupaten dan kota, batas geografis kabupaten dan kota, panjang sungai tiap kabupaten dan kota, panjang jalan tiap kabupaten dan kota dari Indonesia geospasial tahun 2019.
3. Data jenis dan potensi limbah pertanian dari Badan Pusat Statistik tahun 2024 dan jurnal penelitian terdahulu.
4. Jurnal dan penelitian lima tahun terakhir terkait pemanfaatan limbah pertanian dan teknologi pengolahan limbah pertanian.

Berikut beberapa jurnal utama yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir.

Tabel 3. 1 jurnal utama yang menjadi dasar acuan

No.	Jurnal	Keterangan
1.	Dampak Energi Fosil Terhadap Perubahan Iklim Dan Solusi Berbasis Energi Hijau	menjadi acuan dalam menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian dan menjelaskan mengapa pengolahan limbah menjadi bioenergi penting dan berpotensi untuk diterapkan.
2.	Karakteristik limbah pertanian dan dampaknya: Mengapa pengelolaan ramah lingkungan penting?	menjadi acuan dalam menjelaskan potensi dan kandungan dari limbah padi sehingga dapat dimanfaatkan menjadi produk baru.
3	Optimalisasi Metode Waste to Energy Dalam Pengelolaan Limbah Sebagai Sumber Energi Terbarukan	menjadi acuan dalam perbandingan metode pengolahan limbah dalam upaya optimalisasi metode waste to energy

3.3 Analisis Data

Penelitian dilakukan bertujuan untuk memberikan gambaran pemanfaatan limbah pertanian yang selama ini menjadi permasalahan dan menjadi pencemar bagi lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi secara efisien. dibutuhkan adanya solusi atau alternatif untuk menjadi pengganti sumber daya fosil yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui, maka dari itu perlu adanya penelitian dan pengkajian terkait potensi limbah pertanian ini. Sejauh ini limbah pertanian dalam skala kecil sudah dimanfaatkan dibeberapa daerah untuk dijadikan pupuk organik maupun briket, namun penelitian lebih lanjut tetap diperlukan agar nantinya limbah pertanian di Indonesia dapat diolah dan dimanfaatkan dengan efisien secara merata untuk menjadi sumber energi terbarukan, sehingga Indonesia tidak hanya bergantung pada sumber energi fosil, namun juga sudah memiliki Solusi jika sewaktu-waktu sumber energi fosil habis dan dapat menggunakan sumber energi terbarukan dari limbah pertanian. Hal ini menjadi mungkin melihat Indonesia merupakan negara agraris sehingga menjadikan limbah pertanian menjadi sebuah potensi besar untuk dikelola dan dimanfaatkan.

Penelitian ini dimulai dari mengumpukan data sekunder seperti jurnal pemanfaatan limbah pertanian dari 5 tahun terakhir atau yang terbaru, data komoditas pertanian terbesar di Indonesia beserta luasannya dan data jenis potensi limbah pertanian dari Badan Pusat Statistik (BPS). Setelah semua data dan sumber dikumpulkan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menghitung total residu atau limbah jerami maupun sekam, kemudian dilakukan perhitungan konversi limbah untuk memperkirakan besaran energi yang dapat dihasilkan dari limbah yang ada, selanjutnya dilakukan uji validasi dengan penelitian skala laboratorium terdahulu, setelah didapat hasil uji validasi dilakukan perhitungan potensi biomassa berdasarkan limbah jerami dan sekam, lalu dilakukan perhitungan faktor pendukung atau variabel yang mempengaruhi sebaran atau mapping potensi biomassa, setelah dilakukan perhitungan variabel pendukung yaitu kepadatan drainase dan aksesibilitas jalan, dilakukan perhitungan korelasi berdasarkan tiga variabel yang ada.

Hasil dari perhitungan korelasi ketiga variabel digunakan sebagai tolak ukur keterkaitan atau hubungan yang paling mempengaruhi besaran potensi biomassa. Dilakukan korelasi antara potensi biomassa dengan kerapatan sungai, dan korelasi antara biomassa dengan kerapatan jalan. Dengan perhitungan korelasi maka dapat diketahui variabel mana yang paling berhubungan dengan besaran potensi yang dihasilkan dari pertanian padi.

Jenis limbah yang dipilih berasal tanaman pangan yaitu padi. Berdasarkan data pada kementrian pertanian Republik Indonesia, hasil produksi padi di Indonesia mencapai 44.830.553,17 ton pada tahun 2024, dan 24.346.296,6 ton terkhusus pada Pulau Jawa. Dari banyaknya hasil produksi tersebut dapat diketahui bahwa terdapat produk sampingan atau limbah yang cukup banyak pula, biasanya limbah ini hanya dimanfaatkan sebagai campuran pupuk, diolah menjadi arang briket, atau dibakar dan dibiarkan tanpa dimanfaatkan lebih lanjut. Limbah pertanian mengandung lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) yang dapat menghasilkan biomassa. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa limbah pertanian

memiliki potensi yang sangat tinggi untuk menghasilkan bioenergy melalui berbagai macam metode konversi baik secara fisik, kimiawi, dan biologis. Kurangnya pengelolaan limbah dapat menimbulkan dampak serius bagi lingkungan sebagai polutan yang potensial. Selain itu, kebijakan pemerintah dan hambatan teknologi turut menjadi faktor utama dalam pengelolaan limbah terkhusus untuk diseminasi energi, terutama untuk biogas.

Pulau Jawa menjadi sentra pertanian padi di Indonesia menyebabkan melimpahnya limbah padi yang dihasilkan, semakin tinggi konsumsi akan padi untuk beras, maka smeakin melimpah pula produk sampingan atau limbah yang dihasilkan. Limbah padi terdiri dari tiga jenis, yaitu limbah jerami, limbah sekam, dan limbah dedak. Diantara ketiganya, limbah jerami menjadi penyumbang limbah tertinggi kemudian diikuti oleh limbah sekam. Limbah jerami dan sekam memiliki potensi yang selama ini sering diabaikan. Secara umum, limbah pertanian termasuk limbah padi mengandung protein, tinggi karbohidrat, rendah protein, tinggi kandungan Pati, sedikit serat, dan lignin dengan selulosa dan mehiselulosa. Dilihat dari kandungan yang terdapat pada limbah padi, mengindikasikan bahwa limbah padi memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan kembali menjadi produk baru atau bahan baku produk baru, dan jika dibiarkan menumpuk di lingkungan akan menjadi salah satu sumber efek negatif atau sumber pencemar. Limbah padi berpotensi untuk diolah menjadi sumber bahan baku biomassa untuk bioenergi sebagai alternatif energi terbarukan jika diolah dan dikelola dengan baik. Diperlukan adanya kajian dan penelitian lebih lanjut terkait pengembangan alternatif ini dari berbagai sektor mulai dari swasta, pemerintah, bismis, ilmuwan, bahkan publik. (Isnaeni & Arista, 2024)

Penelitian ini berfokus pada potensi yang dimiliki oleh limbah padi yaitu jerami dan sekam dan perkiraan besaran konversi energi yang dihasilkan dari limbah padi yang ada di tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa, serta memetakan sebaran potensinya berdasarkan besaran potensi biomassa dengan mempertimbangkan faktor tambahan yang mempengaruhi

yaitu kerapatan sungai dan kerapatan jalan beserta korelasi dari ketiganya, kemudian dipetakan sebaran potensi biomassa dengan bantuan QGIS.

A. Total limbah padi

Analisis data dilakukan dimulai dari menghitung total ketersediaan residu atau limbah pertanian padi yang ada di tiap kabupaten dan kota yang ada di Pulau Jawa. Untuk menghitung rincian jenis limbah yaitu jerami dan sekam, digunakan satu persamaan yaitu:

$$(AAR) = (AAP) \times (RPR) \times (A)$$

Dimana (AAR) adalah jumlah residu pertanian yang tersedia dari tanaman, (AAP) adalah jumlah produk pertanian, (RPR) adalah rasio residu terhadap produk tanaman, dan (A) adalah ketersediaan residu. Merujuk pada (Karaca et al., 2017), rasio residu tanaman dalam jenis jerami yang digunakan adalah 0,8 dan ketersediaan residu 0,8591. Sementara untuk sekam rasio residu yang digunakan adalah 0,41 dan ketersediaan residu 0,16. Dan jumlah produk pertanian atau hasil produksi pertanian padi menyesuaikan berdasarkan hasil produksi masing-masing kabupaten dan kota di seluruh Pulau Jawa. Setelah ditemukan jumlah limbah jerami dan sekam masing-masing kabupaten dan kota, dilakukan penjumlahan kedua jenis limbah padi tersebut untuk mengetahui total limbah.

B. Total konversi limbah padi menjadi energi

Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah menghitung total konversi dari ketersediaan residu atau total limbah yang sudah diketahui dengan perhitungan sebelumnya. Perhitungan konversi dilakukan untuk ketersediaan residu dari tiap kabupaten dan kota yang ada di Pulau Jawa. Untuk menghitung konversi limbah rumus yang digunakan adalah:

$$THV = AAR \times LHV$$

Dimana THV merupakan nilai kalor total residu pertanian, (AAR) adalah jumlah residu pertanian, dan LHV adalah nilai

pemanasan atau nilai klor yang lebih rendah dari residu kering udara tanaman dalam MJ/kg. AAR atau jumlah residu yang digunakan dalam perhitungan ini sama dengan perhitungan total limbah yang sudah dihitung sebelumnya berdasarkan kabupaten dan kota yang ada di Pulau Jawa. Sementara nilai LHV merujuk pada penelitian terdahulu, untuk limbah jerami nilai LHV yang digunakan adalah 16,7 MJ/kg sementara untuk limbah sekam menggunakan nilai LHV 13,0 MJ/kg. Setelah melakukan perhitungan sesuai rumus yang sudah dijelaskan, maka didapat hasil konversi limbah padi berdasarkan jenisnya yaitu jerami dan sekam.

C. Perbandingan perhitungan

Berdasarkan (Farhani et al., 2025), diketahui bahwa dilakukan percobaan di laboratorium pada 100 gram sampel limbah sekam untuk menguji kadar bioetanol yang terkandung pada sampel, dan didapatkan hasil bahwa 100 gram sampel limbah sekam dapat menghasilkan bioetanol sebanyak 56,75 mL, massa jenis bioetanol sebesar 0,8818 g/mL, dan viskositas bioetanol sebesar 0,7408 cP.

Langkah selanjutnya adalah menghitung konversi besaran bioetanol dari mL menjadi kg untuk dibandingkan hasil akhir atau potensi bioetanol dengan konversi energi yang sudah dihitung sebelumnya. Untuk mengkonversi energi, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung volume bioetanol dengan rumus:

$$volume\ bioetanol = rasio\ konversi \times jumlah\ limbah$$

$$\text{Yaitu volume bioetanol} = \frac{56{,}75}{100} \times \frac{X}{1000}$$

Perhitungan ini dilakukan untuk masing-masing jenis limbah yaitu jerami dan sekam pada seluruh kabupaten dan kota di Pulau Jawa. Keduanya dihitung secara terpisah sesuai dengan perhitungan yang sebelumnya sudah dilakukan.

Langkah selanjutnya adalah mengkonversi volume bioetanol menjadi massa bioetanol. Rumus yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

$$massa\ bioetanol = \frac{volume\ limbah \times densitas}{1000}$$

$$\text{Yaitu massa bioetanol} = \frac{X \times 0{,}8818}{1000}$$

sama dengan menghitung volume bioetanol, perhitungan massa bioetanol juga dilakukan untuk masing-masing jenis limbah padi secara terpisah yaitu limbah jerami dan sekam untuk seluruh kabupaten dan kota di Pulau Jawa.

Setelah melakukan seluruh perhitungan, langkah terakhir adalah menghitung total energi dalam MJ/kg untuk mengetahui besaran energi atau bioetanol yang dapat dihasilkan berdasarkan besaran limbah produksi padi yang tiap kabupaten dan kota. Rumus yang digunakan adalah:

$$total\ energi(MJ) = massa\ bioetanol(kg) \times nilai\ kalor\ bakar\ bioetanol(\frac{MJ}{kg})$$

pada rumus ini diperlukan nilai kalor bakar bioetanol, yaitu 27,5 MJ/kg. Maka menjadi:

$$total\ energi(MJ) = X(kg) \times 27{,}5\ MJ/kg$$

Perhitungan ini dilakukan pada masing-masing jenis limbah padi yaitu jerami dan sekam di seluruh Kabupaten dan kota di Pulau Jawa.

Setelah mendapatkan hasil akhir perhitungan berdasarkan persamaan percobaan berskala laboratorium, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil perhitungan skala laboratorium dengan perhitungan berdasarkan penelitian terdahulu. Berdasarkan salah satu sampel yang diambil, yaitu Kota Tangerang yang ada di Provinsi Banten, ditemukan hasil konversi energi berdasarkan penelitian terhadulu sebesar 2.309.382 MJ/kg dan hasil konversi berdasarkan penelitian berskala laboratorium sebesar 2.444.675 MJ/kg. Ditemukan sedikit perbedaan sebesar 135.293 MJ/kg yang berarti perhitungan yang sudah dilakukan valid dan bisa digunakan untuk melihat potensi biomassa serta dasar pemetaan potensi biomassa di Pulau Jawa

D. Total potensi biomassa

Untuk menghitung besaran potensi biomassa, diperlukan beberapa data yaitu luas area sawah(Ha), produksi/Ha (ton), dan koefisien limbah. Luas area sawah yang digunakan adalah luas area yang sudha dihitung berdasarkan peta agrisawah tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa pada QGIS. Sementara untuk hasil produksi/Ha didapat dari total hasil produksi (ton) sawah dibagi luas area sawah(Ha) masing-masing tiap kabupaten dan kota. Koefisien limbah dihitung dari limbah padi tiap jenis baik jerami maupun sekam (kg) dibagi hasil produksi/Ha (kg). Setelah data-data ini diperoleh, dilakukan perhitungan potensi limbah untuk biomassa dengan rumus:

$$= luas\ area\ sawah \times produksi\ perHa \times koefisien\ limbah$$

Dengan rumus ini maka diperoleh hasil perhitungan potensi limbah untuk biomassa dalam satuan ton untuk tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa. Angka-angka ini merupakan hasil akhir besaran potensi pemanfaatan produk sampingan atau limbah padi yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber atau bahan baku bioenergi sebagai energi alternatif terbarukan.

E. Faktor pendukung

Sebelum melakukan perhitungan korelasi variabel, perlu dilakukan perbandingan perhitungan biomassa dengan hasil penelitian skala laboratorium. Perbandingan ini dilakukan untuk uji validasi besaran potensi antara perhitungan data sekunder dan skala laboratorium tidak jauh berbeda. Penelitian skala laboratorium yang digunakan sebagai pembanding adalah pengolahan limbah sekam menjadi bioetanol. Berdasarkan penelitian terdahulu, 100 gram sekam padi dapat menghasilkan energi sebesar 56,75 mL. Besaran energi ini yang kemudian dikonversi menggunakan data besaran potensi atau ketersediaan residu yang sudah dihitung sebelumnya. Untuk melakukan perhitungan perbandingan konversi potensi, diperlukan beberapa data pendukung seperti rasio konversi sebesar

56,75 mL bioetanol/100 gr sekam, densitas bioetanol sebesar 0,8818 g/mL, dan nilai kalor bakar bioetanol sebesar 27,5 MJ/kg.

(i) Menghitung volume bioetanol

$$volume\ bioetanol = (\frac{rasio\ konversi}{100}) \times (limbah \times 1000)$$

(ii) Konversi volume ke massa bioetanol

$$konversi\ volume = (\frac{volume\ bioetanol \times densitas\ bioetanol}{1000})$$

(iii) Total energi (MJ) limbah

$$total\ energi = volume\ konversi \times nilai\ kalor\ bakar\ bioetanol$$

Perhitungan dengan rumus ini digunakan untuk menghitung kedua jenis limbah baik jerami maupun sekam.

F. Korelasi Variabel Tambahan Dengan Besaran Potensi Biomassa

Variabel tambahan yang digunakan sebagai pendukung penentuan sebaran biomassa adalah kerapatan sungai dan kerapatan jalan atau aksesibilitas jalan. Langkah awal yang harus dilakukan adalah menghitung kerapatan sungai atau *drainage density* dengan rumus:

$$dd = \frac{total\ panjang\ sungai\ tiap\ kabupaten}{total\ luas\ area\ kabupaten}$$

Setelah didapat hasil dari kerapatan sungai tiap Kabupaten, selanjutnya adalah menghitung kerapatan jalan atau *road density* dengan rumus :

$$rd = \frac{total\ panjang\ jalan\ tiap\ kabupaten}{total\ luas\ area\ kabupaten}$$

setelah ditemukan hasil kerapatan sungai dan kerapatan jalan, dilakukan perhitungan korelasi dengan potensi biomassa untuk melihat faktor mana yang paling berkontribusi terhadap potensi biomassa dengan metode korelasi pearson yaitu menghitung korelasi dari 3 variabel yang sudah dihitung sebelumnya, ketiga variabel tersebut adalah potensi biomassa (X), kerapatan sungai (Y), dan kerapatan jalan (Z). Setelah menghitung korelasi, dilihat apakah hasil mendekati nirai positif atau negatif. Arah nilai positif

menandakan adanya hubungan searah atau berhubungan kuat, smeentara arah nilai negatif menandakan adanya hubungan berlawanan arah.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Daerah Penelitian

Penelitian dilakukan di Pulau Jawa dengan bersumber dari data-data sekunder yang dikaji ulang dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian, yaitu data ketersediaan limbah padi yang bisa didapat dari besaran produksi pertanian padi pada Badan Pusat Statistik (BPS), peta sebaran pertanian padi di Pulau Jawa yang bisa diakses melalui Indonesia geospasial, serta jurnal atau penelitian terdahulu. Kemudian didapat data-data yang dapat diolah dan dikaji ulang untuk mengetahui potensi biomassa atau energi dari limbah pertanian padi di Pulau Jawa. Data utama yang diperlukan untuk mengetahui potensi energi dari komoditas pertanian padi adalah produk sampingan yaitu limbah.

4.2 Limbah Pertanain Padi

Limbah pertanian padi merupakan produk sampingan atau produk sisa dari total hasil produksi padi di suatu daerah. Semakin tinggi total produksi padi di suatu daerah, maka makin tinggi pula total limbah yang dihasilkan daerah tersebut. Tinggi dan rendahnya hasil produksi disebabkan oleh berbagai macam faktor mulai dari luasan sawah, akses irigasi, kepadatan penduduk, dan lain-lain. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan total jumlah limbah pertanian padi pada tiap kabupaten dan kota di tiap provinsi di Pulau Jawa sebagai langkah awal menentukan sebaran potensi biomassa.

Untuk mengetahui total limbah padi, diperlukan beberapa data yaitu luas area sawah (Ha) yang terbagi menjadi luas sawah tadah hujan dan luas sawah irigasi, hasil produksi padi/Ha (ton). Setelah semua data ini didapat, maka langkah selanjutnya adalah menghitung produk sampingan atau limbah yang dihasilkan dari produksi padi yang terbagi menjadi limbah jerami dan limbah sekam. Kemudian dilanjut dengan menghitung total limbah secara keseluruhan.

Luas area sawah (Ha) bisa diperoleh dari peta agrisawah yang bersumber dari Indonesia geospasial yang kemudian diinput kedalam QGIS untuk penggambaran peta secara lebih rinci. Pada QGIS kemudian dapat dihitung total luas area sawah secara keseluruhan maupun pembagian antara sawah tadah hujan dan sawah irigasi. Sementara itu untuk data hasil produksi dapat diperoleh dari Badan Pusat Statistik(BPS) dari masing-masing Provinsi di Pulau Jawa.

Berdasarkan data yang sudah diperoleh, daerah dengan pertanian sawah terkecil adalah Provinsi DKI Jakarta, karena Jakarta merupakan daerah perkantoran, dan pusat urbanisasi, dan luas total daerah jauh lebih kecil dibanding Provinsi lainnya. Hal ini mempengaurhi besaran produksi padi yang dapat dihasilkan. Sementaa itu daerah dengan pertanian sawah terluas didominasi oleh Provinsi Jawa Barat, jawa tengah, dan jawa timur. Ketiga Provinsi ini merupakan Provinsi terbesar dengan total kabupaten dan kota sebanyak 27, 34, dan 38. Berdasarkan luasan sawah dan hasil produksi padi yang dihasilkan pada tiap kabupaten dan kota, Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat merupakan daerah dengan hasil produksi padi terbesar di Pulau Jawa dengan total produksi sebesar 1.399.352 ton padi.

Berdasarkan hasil perhitungan dari total produksi padi, didapat besaran limbah jerami dan sekam yang kemudian dihitung menjadi limbah total padi. Limbah inilah yang nantinya dapat dimanfaatkan menjadi sumber bahan baku biomassa untuk sumber bioenergi. Hal ini menjadi penting untuk menjadi solusi dan salah satu opsi alternatif energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan secara kontinyu dalam jangka panjang sehingga masyarakat tidak perlu bergantung pada energi dari fosil maupun sumberdaya lain yang tidak dapat diperbaharui.

4.3 Konversi Perkiraan Besaran Energi dari Limbah Padi

Limbah padi merupakan salah satu komponen organik yang berpotensi untuk dimanfaatkan kembali menjadi produk baru atau pendukung produk baru. Salah satunya adalah menjadi bahan baku biomassa untuk dirubah atau diolah menjadi energi. Perkiraan energi yang dapat dihasilkan dari limbah padi dapat dihitung berdasarkan total limbah yang sudah dihitung. Pada penelitian kali ini, jenis limbah padi yang

dihitung dibagi menjadi limbah jerami dan limbah sekam. Berdasarkan limbah padi yang tersedia di Pulau Jawa, terdapat beberapa pilihan teknologi pengolahan yang berpotensi digunakan dalam pengolahan limbah. Diantaranya yaitu metode gasifikasi yang berfokus untuk menghasilkan gas sebagai produk utama, pirolisis yaitu mengolah limbah dengan proses pembakaran tanpa oksigen sehingga memecah limbah padat melalui pemanasan, sakrifikasi hidrolisis dan fermentasi (SHF) yaitu pengolahan limbah bertahap dengan hasil fermentasi yang perlu di distilasi, dan sakarifikasi fermentasi serentak (SFS) yaitu pengolahan limbah dengan hasil akhir setelah proses distilasi berupa bioetanol murni. Perlu dilakukan pemilihan teknologi pengolahan yang paling efisien untuk mengatasi penumpukan limbah di lingkungan dan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan dalam jangka panjang. Maka dibutuhkan perhitungan untuk mengetahui perkiraan besaran energi yang dapat dihasilkan dari limbah padi.

Setelah mengetahui besaran total limbah padi di tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa, langkah selanjutnya adalah menghitung konversi limbah menjadi bioenergi untuk memperkirakan besaran energi yang dapat dihasilkan dari masing-masing limbah pertanian padi di kabupaten dan kota seluruh Pulau Jawa. Tahapan ini menjadi penting karena penelitian ini berfokus pada ketersediaan dan potensi limbah komoditas padi sebagai sumber atau bahan baku biomassa untuk menjadi bioenergi.

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, didapat hasil perkiraan besaran energi yang bisa dihasilkan dari total limbah padi. Dari 119 kabupaten dan kota di Pulau Jawa, daerah dengan perkiraan energi terkecil adalah Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Kepulauan Seribu, Kota Jakarta Pusat, Kota Jakarta Selatan, dan Kota Depok, sementara daerah dengan perkiraan energi terbesar adalah Kabupaten Ngawi, Kbupaten Lamongan, Kabupaten Subang, Kabupaten Karawang, dan yang tertinggi adalah Kabupaten Indramayu.

Berdasarkan besaran perkiraan energi yang dihasilkan dari limbah padi ini, kita dapat memperkirakan pemanfaatan limbah padi untuk

digunakan kembali guna mengurangi limbah organik yang menumpuk sekaligus mendapatkan alternatif bahan baku bioenergi baru

4.4 Perbandingan Perhitungan

Setelah menghitung konversi limbah padi, langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan perhitungan dengan hasil penelitian laboratorium. Hal ini diperlukan sebagai uji validitas perhitungan dari data sekunder agar sesuai dan tidak meleset jauh dari penelitian yang dilakukan di laboratorium secara nyata. Perbadningan dilakukan dengan penelitian perubahan energi limbah sekam menjadi bioetanol. Berdasarkan perhitungan konversi yang dilakukan, hanya ditemukan sedikit perbedaan antara uji laboratorium dengan perhitungan data sekunder. Hal ini menyatakan bahwa perhitungan berdasarkan data sekunder layak digunakan untuk memperhitungkan biomassa pada tiap kabupaten dan kota yang ada di Pulau Jawa

4.4 Potensi Biomassa

Potensi limbah untuk biomassa dapat diketahui dari perhitungan luasan sawah, total produksi, dan koefisien limbah tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa. Berdasarkan potensi inilah nantinya dapat diketahui besaran potensi biomassa yang dapat dimanfaatkan menjadi produk baru maupun bahan baku produk baru. Potensi biomassa yang sangat banyak di Pulau Jawa semestinya dapat diolah dan dimanfaatkan untuk keperluan masyarakat. Berdasarkan potensi biomassa yang ada, pemerintah bersama-sama dengan pihak swasta dan masyarakat harus saling bekerja sama dalam perkembangan proses pengolahan dan pengelolaan limbah agar bisa dimanfaatkan secara merata. Pemanfaatan limbah padi menjadi energi di Indonesia khususnya di Pulau Jawa merupakan potensi besar untuk dimanfaatkan dan dikelola agar memberikan manfaat lebih bagi masyarakat dan mengurangi tingkat limbah atau pencemar pada lingkungan. Meskipun hingga saat ini masih banyak tantangan dan kekurangan dalam proses pengolahan dan pengelolaan nya, biomassa dari limbah padi merupakan potensi yang sangat baik untuk dimanfaatkan yang dapat menjadi jalan keluar bagi permasalahan lingkungan hingga sumber energi baru yang dapat menjadi pengganti sumber energi seperti minyak

dari fosil menjadi biofuel dari limbah yang lebih ramah lingkungan. Sehingga diperlukan adanya penelitian dan studi lebih lanjut terkait pengolahan limbah padi menjadi energi.

Hasil perhitungan potensi biomassa tiap kabupaten dan kota di Pulau Jawa mengindikasikan adanya ketersediaan bahan baku yang besar namun tidak terdistribusi secara merata. Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur merupakan wilayah dengan potensi biomassa limbah padi tertinggi secara kuantitatif. Potensi biomassa tertinggi ada pada Provinsi Jawa Barat dengan nilai potensi tertinggi mencapai 900.000 ton, kemudian diikuti daerah jawa tengah dan jawa timur dengan total potensi lebih dari 100.00 ton, ketiga Provinsi ini merupakan sentra produksi padi utama di Indonesia. Limbah padi adalah komponen dominan dari total biomassa, dengan besaran potensi yang teridentifikasi, menjadikan ketersediaan bahan baku biomassa sebagai sektor yang layak untuk diperhatikan untuk memulai dan mengembangkan konversi bioenergi dalam skala lebih besar.

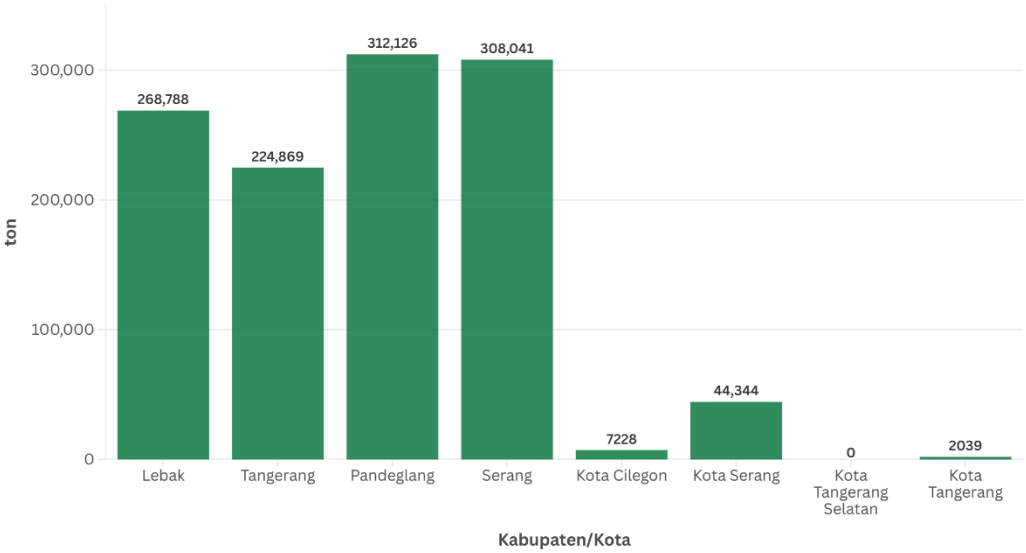
Potensi biomassa yang melimpah di Provinsi-Provinsi pertanian ini secara langsung mempengaruhi keberlanjutan pasokan bahan bakar untuk bioenergi, di mana volume limbah yang tersedia berpotensi mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil sambil meningkatkan pengelolaan limbah pertanian agar lebih efektif dan ramah lingkungan. Namun, perbedaan yang mencolok dalam potensi antara daerah pertanian dan non-pertanian seperti DKI Jakarta yang hampir tidak memiliki cadangan, dan DIY yang menunjukkan potensi yang lebih rendah dan tidak merata menekankan pentingnya strategi logistik yang dirancang khusus untuk mengatasi ketidakseimbangan ini. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan limbah padi, perhatian tidak hanya harus difokuskan pada volume total, tetapi juga pada kepadatan spasial di pusat-pusat produksi padi dan efisiensi keseluruhan rantai pasokan. Tanpa dukungan sistem pengumpulan, pra-pengolahan, dan transportasi yang efisien dan hemat biaya, potensi besar ini mungkin tidak terwujud dalam mengangkut biomassa yang tersebar ke lokasi konversi energi.

Berdasarkan hasil analisis potensi, Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur harus diprioritaskan dalam pelaksanaan studi kelayakan yang lebih mendalam dan pengembangan proyek bioenergi. Tahap selanjutnya dari penelitian ini melibatkan analisis data rinci untuk memisahkan sekam padi dan jerami padi dari total biomassa yang disajikan. Komponen limbah ini memiliki karakteristik fisik dan kimia yang unik, yang pada gilirannya mempengaruhi desain teknologi konversi seperti gasifikasi, pirolisis, atau pembakaran langsung. Selain itu, analisis perlu dikembangkan untuk memasukkan perkiraan ketersediaan bersih dengan mempertimbangkan aspek seperti kebutuhan pakan ternak dan pengembalian nutrisi ke lahan pertanian, yang merupakan penggunaan konvensional jerami padi. Pendekatan ini akan menghasilkan perkiraan yang lebih akurat mengenai ketersediaan teknis dan ekonomi limbah pertanian padi yang dapat dimanfaatkan secara efektif untuk tujuan bioenergi.

4.3 Provinsi Banten

4.3.1 Limbah Padi

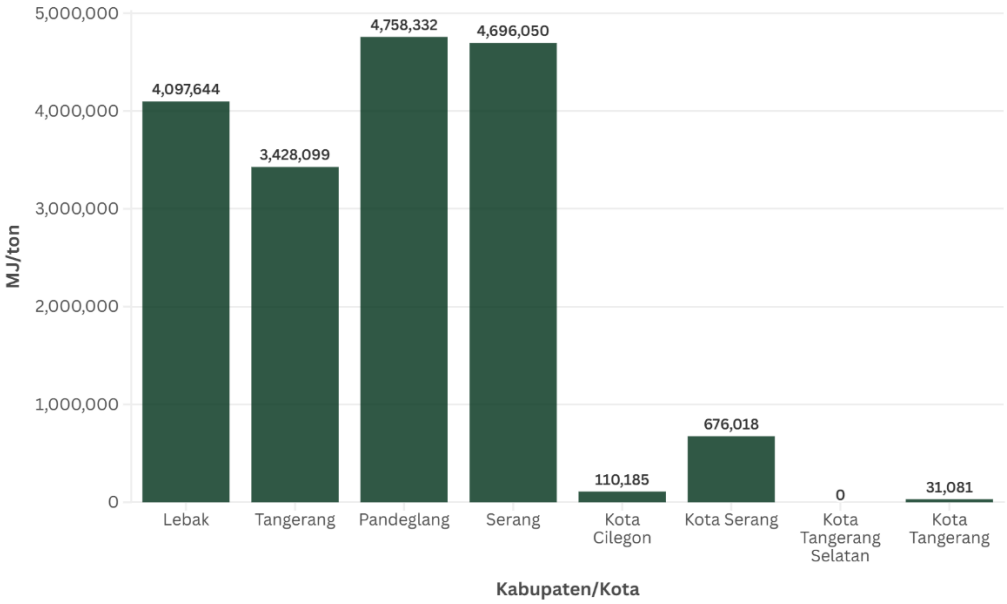
Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS), Kabupaten Pandeglang menjadi daerah dengan hasil produksi padi terbesar yaitu mencapai 416.671,1 ton, angka ini mengalami kenaikan dari tahun sebelumnya yaitu sebesar 87.533,03 ton, sementara daerah dengan produksi padi terkecil adalah Kota Tangerang Selatan dengan total produksi 0 ton, hal ini dikarenakan tidak adanya aktivitas pertanian padi yang aktif dan minimnya lahan pertanian. Tinggi dan rendahnya hasil produksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah cuaca ekstrim yang menyebabkan bergesernya musim tanam dan berkurangnya curah hujan, serta banyaknya Serangan hama maupun penyakit tanaman. Dari keseluruhan kabupaten dan kota di Provinsi Banten, Kabupaten Pandeglang menjadi daerah dengan penghasil limbah pertanian padi terbesar di Provinsi Banten dengan angka mencapai 313,703 ton. Total limbah padi secara keseluruhan untuk tiap kabupaten dan kota di Provinsi Banten dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 1 Total Limbah Padi Provinsi Banten

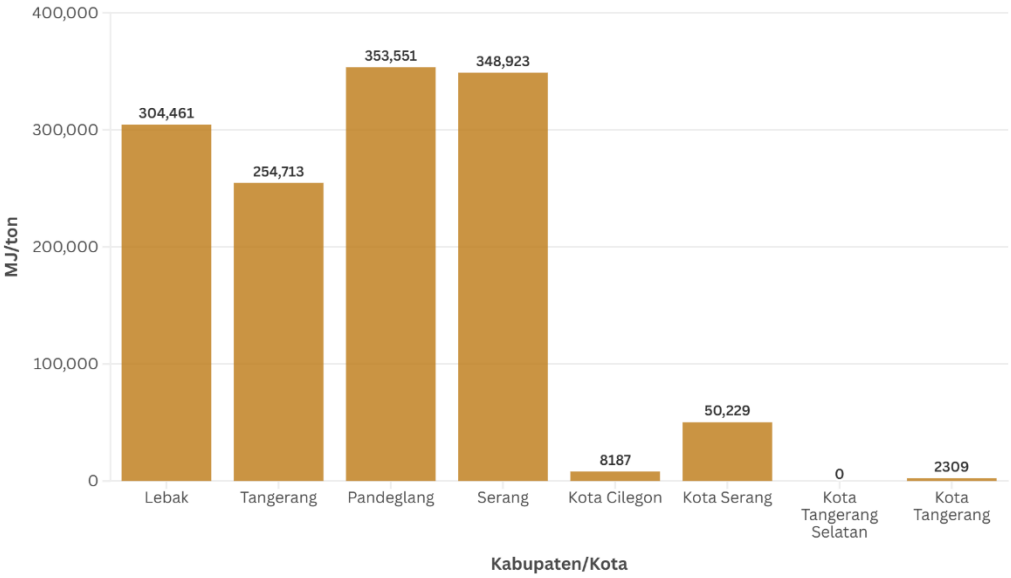
4.3.2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Padi

Total limbah pertanian padi memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi sumber energi. Potensi energi terbesar di Provinsi Banten adalah Kabupaten Pandeglang dengan total limbah jerami sebesar 284.930 ton. Setelah dilakukan konversi, limbah jerami ini berpotensi menghasilkan energi sebesar 4.758.332 ton. Sementara itu Kota Tangerang Selatan menjadi daerah dengan total limbah jerami terkecil yaitu 0 ton. Total konversi limbah di Provinsi Banten dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



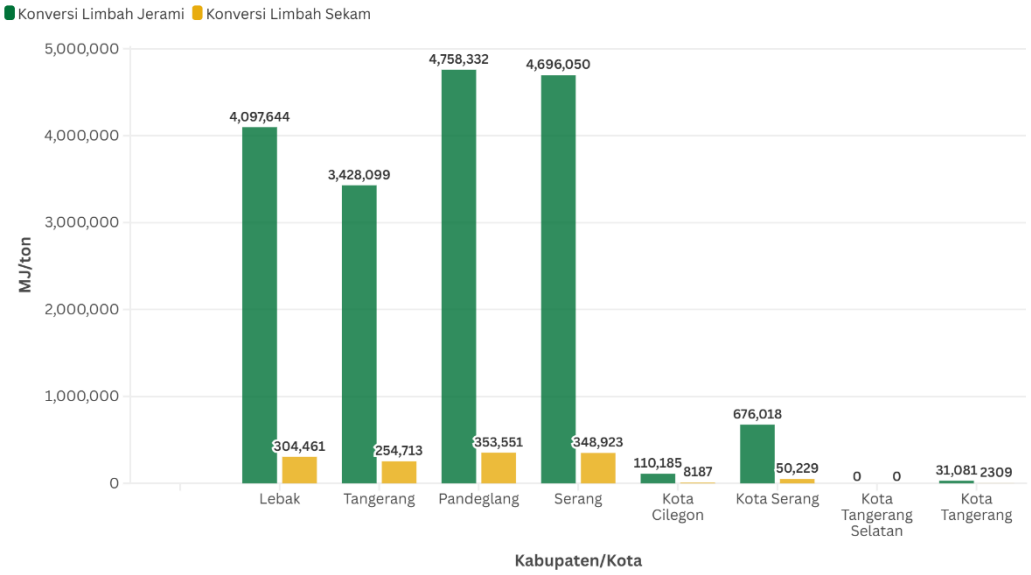
Gambar 4. 2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami

Selaras dengan total besaran limbah jerami, daerah dengan limbah sekam tertinggi adalah Kabupaten Pandeglang dengan total limbah sekam sebesar 27.196 ton yang dapat menghasilkan energi sebesar 353.551 MJ/ton. Sementara daerah dengan total limbah sekam terkecil yaitu Kota Tangerang Selatan yaitu 0 ton. Total konversi limbah sekam di Provinsi Banten dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 3 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam

Pada limbah padi, ummnya produksi limbah padi bisa mencapai 50%-60% dari total limbah, sementara sekam hanya sekitar 17%-22% dari total produksi limbah padi. Hal ini menyebabkan terdapat perbedaan total energi yang dapat dihasilkan dari masing-masing jenis limbah. Selaras dengan konversi energi yang sudah dihitung sebelumnya, Kabupaten Pandeglang menjadi daerah dengan konversi energi tertinggi di Provinsi Banten, sementara itu Kota Tangerang Selatan merupakan daerah dengan total konversi terkecil di Provinsi Banten. Hal ini dipengaruhi oleh total besaran limbah padi yang dihasilkan dari tiap daerah. Semakin besar limbah yang dihasilkan, maka semakin besar pula energi yang bisa dihasilkan. Perbandingan total energi yang dihasilkan dari jerami maupun sekam di Provinsi Banten dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

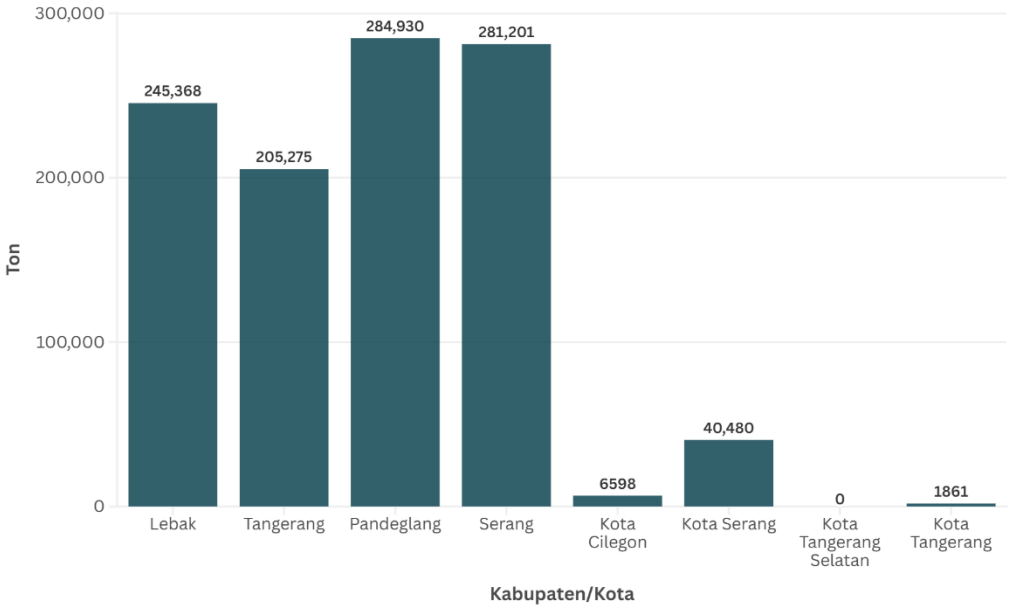


Gambar 4. 4 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam

4.3.3 Besaran Potensi Biomassa

Potensi limbah padi terbanyak yang dapat diolah menjadi biomassa di Provinsi Banten berada di Kabupaten Pandeglang dengan total potensi limbah sebanyak 284.930 ton, dan yang paling sedikit dari Kota Tangerang dengan potensi limbah sebanyak 1861 ton, sementara di Kota Tangerang Selatan tidak ada potensi sama sekali dikarenakan tidak ada pertanian padi didaerah tersebut. Luas lahan

pertanian padi di Provinsi Banten termasuk lahan kecil ditengah daerah urbanisasi. Provinsi Banten juga termasuk daerah padat penduduk dengan total penduduk sebanyak 12,43 jiwa yang memenuhi 9.352 km2. Hal ini menyatakan bahwa Provinsi Banten merupakan daerah padat penduduk. Semakin banyak penduduk semakin besar pula energi yang dibutuhkan. Maka dari itu diperlukan adanya terobosan atau alternatif energi baru yang dapat digunakan. Besaran potensi yang dihasilkan dari pertanian padi Provinsi Banten juga dipengaruhi oleh sumberdaya manusia yang ada pada daerah tersebut. Dikarenakan Provinsi Banten bukan daerah agraris, menyatakan bahwa pertanian bukan merupakan prioritas atau kegiatan utama masyarakat Provinsi Banten, kebanyakan masyarakat lebih memilih bekerja pada bidang perkantoran, bisnis, atau yang lainnya. Hal-hal ini lah yang mempengaruhi Hal-hal ini lah yang mempengaruhi besaran potensi yang dihasilkan oleh pertanian padi Provinsi Banten. Total potensi tiap kabupaten dan kota di Provinsi Banten dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

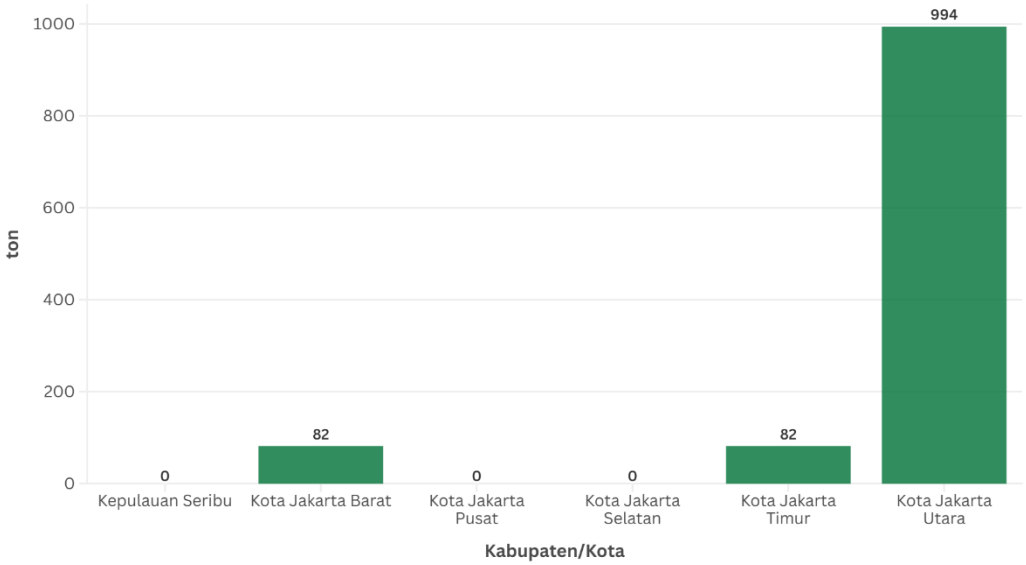


Gambar 4. 5 Potensi Biomassa Provinsi Banten

4.4 Provinsi DKI Jakarta

4.4.1 Limbah Padi

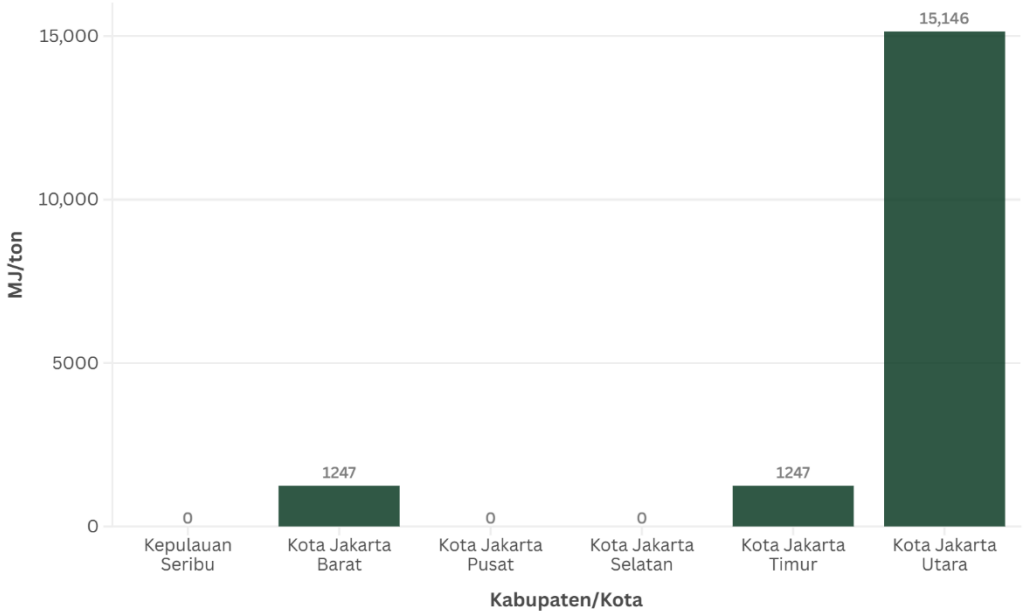
Provinsi DKI Jakarta sebagai ibu Kota Indonesia didominasi dengan bangunan perkantoran serta industri, sehingga pertanian padi di daerah ini menjadi yang terkecil dibanding Provinsi lainnya di Pulau Jawa. Daerah dengan pertanian padi terluas di Provinsi DKI Jakarta adalah Kota Jakarta Utara dengan total produksi padi sebesar 1320 ton dan menghasilkan limbah padi sebesar 994 ton. Sementara itu 3 daerah dengan hasil produksi padi terkecil adalah Kota Jakarta Pusat, Kota Jakarta Selatan, dan Kepulauan Seribu. Kota Jakarta Pusat merupakan pusat dari kegiatan perkantoran dan pusat ibu Kota Indonesia, maka dari itu di daerah ini tidak ada aktifitas pertanian yang berlangsung, sama halnya dengan Kota Jakarta Selatan yang didominasi perkantoran, gedung, dan industri. Sementara Kabupaten Kepulauan Seribu tidak memiliki pertanian padi dikarenakan beberapa faktor, yaitu minimnya tanah karena Kabupaten Kepulauan Seribu didominasi oleh pasir hasil endapan karang maupun koral, serta minimnya akses sumber air tawar sebagai irigasi atau pengairan yang dibutuhkan dalam berlangsungnya pertanian padi. Total limbah padi di keseluruhan Provinsi DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 6 Total Limbah Padi Provinsi DKI Jakarta

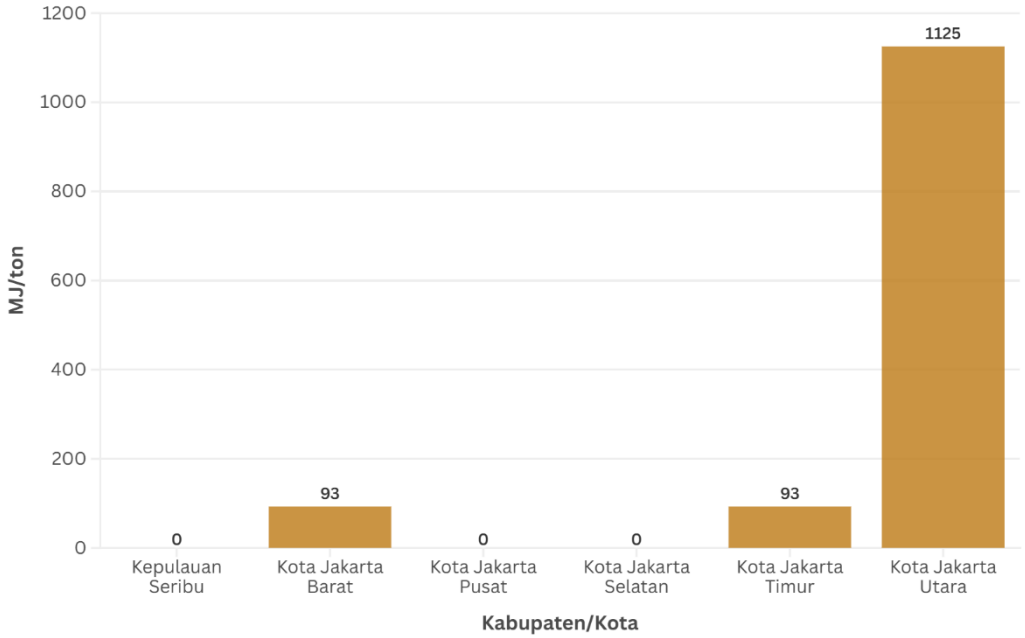
4.4.2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Padi

Potensi energi terbesar di Provinsi DKI Jakarta berada di Kota Jakarta Utara dengan produksi limbah jerami sebesar 907 ton, setelah dilakukan konversi, total energi yang dapat dihasilkan sebesar 15.146 MJ/ton. Sementara daerah dengan produksi limbah jerami terkecil terdiri dari Kota Jakarta Pusat, Kota Jakarta Selatan, dan Kepulauan Seribu yaitu 0 ton, maka konversi energinya 0 MJ/ton. Tingginya konversi energi di Kota Jakarta Utara dipengaruhi oleh tingginya total limbah jerami yang dihitung dari total limbah padi. Total konversi limbah jerami di Provinsi DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



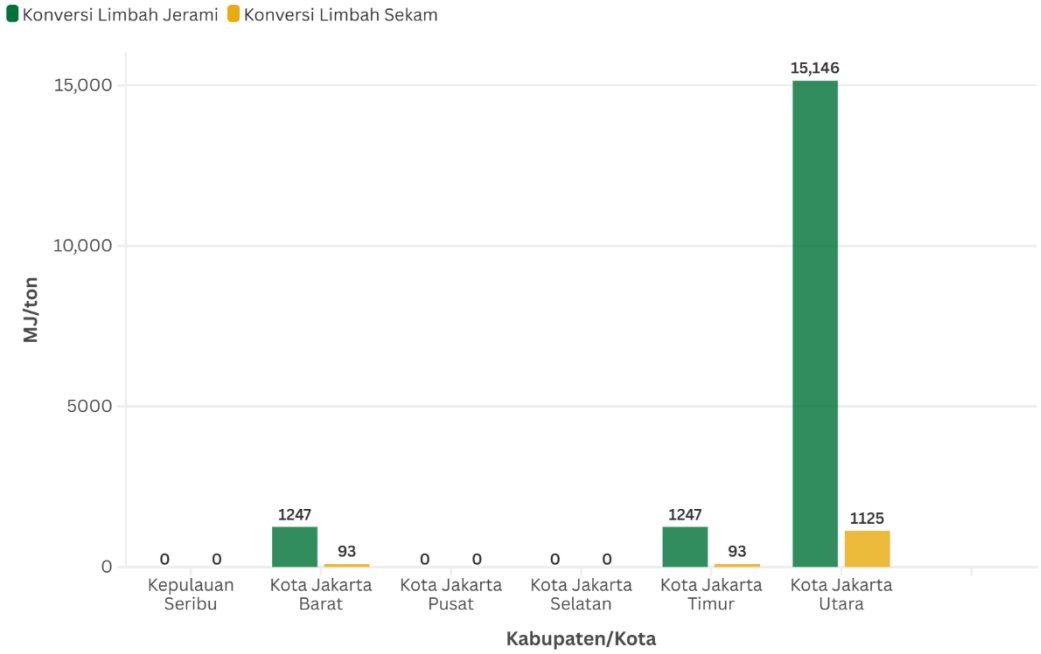
Gambar 4. 7 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami

Seiringan dengan konversi limbah jerami, daerah dengan konversi limbah sekam tertinggi adalah Kota Jakarta Utara dengan total produksi limbah sekam sebesar 87 ton dan total konversi limbah sekam sebesar 1125 MJ/ton. Dan daerah dengan konversi limbah sekam terendah terdiri Kota Jakarta Selatan, Kota Jakarta Pusat, dan Kabupaten Kepulauan Seribu dengan total produksi limbah sekam 0 ton dan konversi limbah sekam 0 MJ/ton. Total konversi limbah sekam di Provinsi DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 8 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam

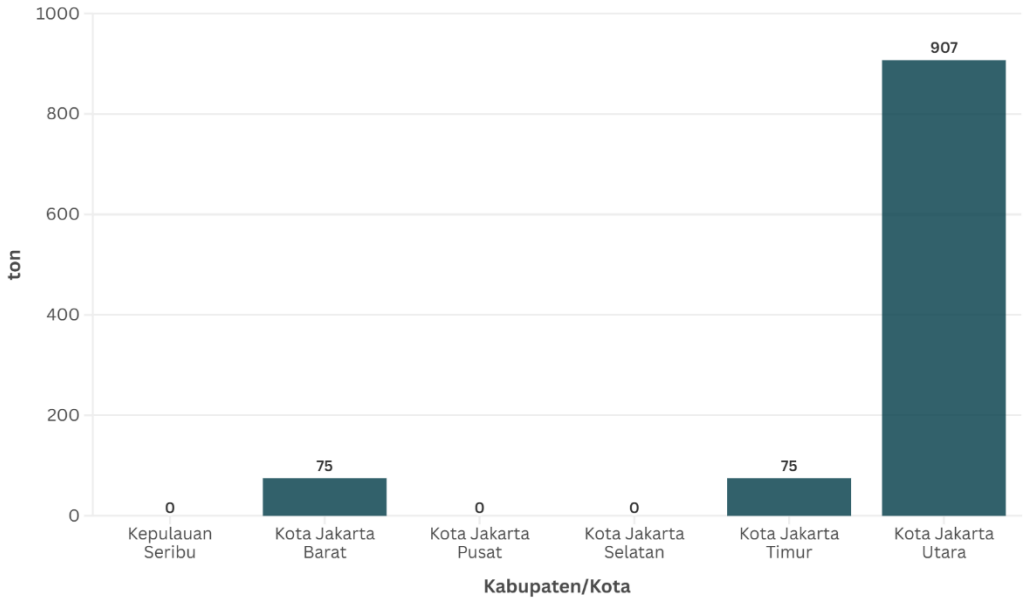
Berdasarkan total produksi limbah padi yang terdiri dari limbah sekam dan limbah jerami, daerah dengan konversi energi tertinggi di Provinsi DKI Jakarta adalah Kabupaten Pandeglang. Perbandingan total konversi limbah jerami dan sekam Provinsi DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 9 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam

4.4.3 Besaran Potensi Biomassa

Kota Jakarta Utara menjadi daerah dengan penghasil potensi biomassa terbesar di Provinsi DKI Jakarta dengan total potensi sebesar 907 ton, dan potensi terkecil adalah 75 ton di Kota Jakarta Timur dan Kota Jakarta Barat. Sementara 3 daerah lainnya seperti Kabupaten Kepulauan Seribu, Kota Jakarta Pusat, dan Kota Jakarta Selatan tidak memiliki potensi limbah padi yang bisa dimanfaatkan. Provinsi DKI Jakarta adalah daerah penghasil potensi biomassa terkecil di Pulau Jawa. Hal ini dipengaruhi oleh kecilnya lahan pertanian padi karena Provinsi DKI Jakarta merupakan pusat ibuKota Indonesia dan bukan daerah agraris, sehingga pertanian bukan sektor prioritas yang dikelola dan dikembangkan di daerah ini. Sumberdaya manusia di Provinsi DKI Jakarta juga lebih mengutamakan pekerjaan dibidang perkantoran, bisnis, dan sejenisnya dibanding bertani. Hal inilah yang menjadi faktor-faktor utama yang mempengaruhi besaran potensi biomassa yang dapat dihasilkan oleh Provinsi DKI Jakarta. Total potensi tiap kabupaten dan kota di Provinsi DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar dibawah ini

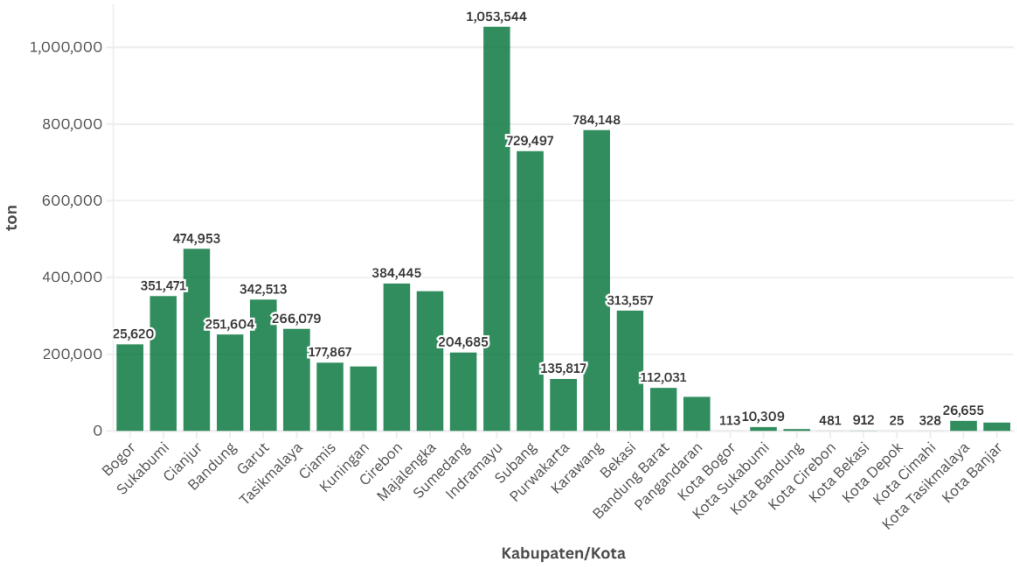


Gambar 4. 10 Potensi Biomassa Provinsi DKI Jakarta

4.5 Provinsi Jawa Barat

4.5.1 Limbah Padi

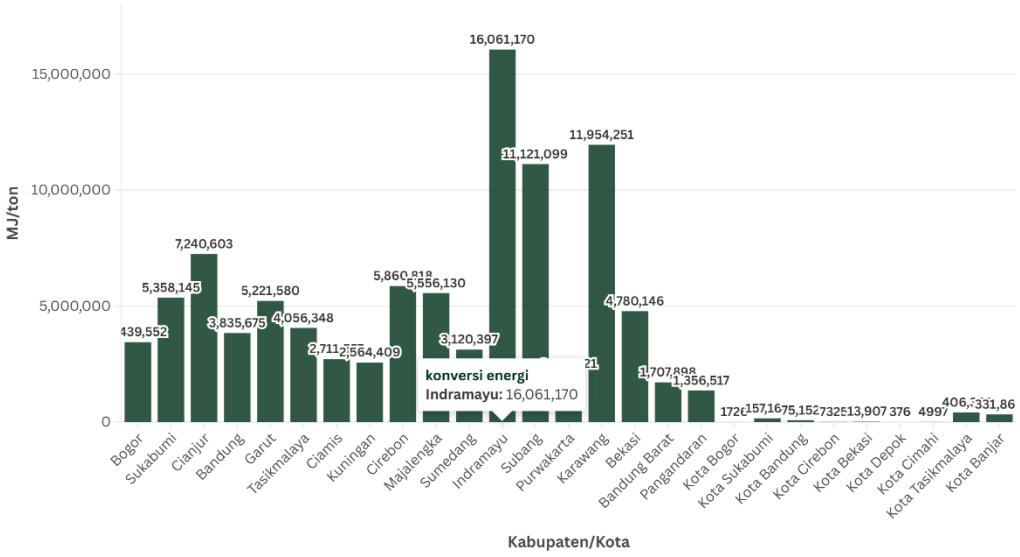
Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu Provinsi yang luas dengan 27 kabupaten dan kota. Daerah produksi pertanian padi terbesar adalah Kabupaten Indramayu dengan total produksi padi sebesar 1.399.352,12 ton dan menghasilkan limbah sebesar 1.053.544 ton. Sementara itu Kota Depok menjadi daerah penghasil padi paling kecil di Provinsi Jawa Barat dengan total produksi 33 ton/Ha dan limbah sebesar 25 ton/Ha. Kabupaten Indramayu menjadi daerah penghasil padi tertinggi didukung oleh luas lahan sawah yang dominan dengan skala yang besar dan konsisten, akses dan sumber irigasi yang memadai dan mencukupi, serta kondisi geografis dan tanah yang mendukung. Faktor-faktor inilah yang membuat Kabupaten Indramayu menjadi daerah penghasil padi tertinggi di Provinsi Jawa Barat, sementara itu Kota Depok menjadi daerah penghasil padi terendah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu minimnya lahan pertanian akibat alih lahan menjadi pusat Kota dan industri, serta padatnya penduduk. Total limbah keseluruhan tiap kabupaten dan kota dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 11 Total Limbah Padi Provinsi Jawa Barat

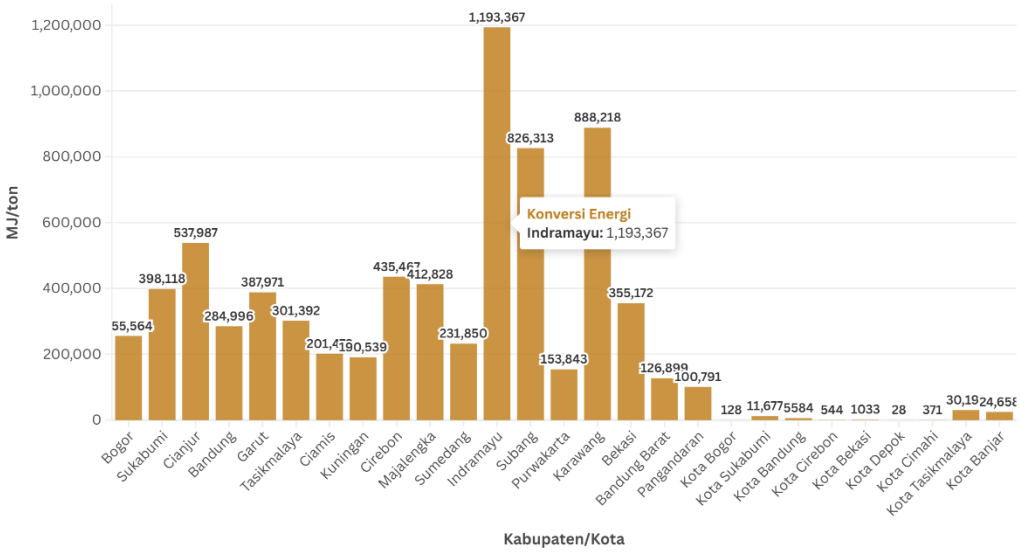
4.5.2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Padi

Konversi energi dari limbah pertanian padi di Provinsi Jawa Barat menjadi salah satu yang terbesar di Pulau Jawa karena Provinsi Jawa Barat merupakan salah satu Provinsi terbesar dengan masyarakat yang masih aktif dalam bertani khususnya komoditas padi. Daerah dengan konversi energi tertinggi di Provinsi Jawa Barat adalah Kabupaten Indramayu dengan total produksi limbah jerami sebesar 961.747 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 16.061.170 MJ/ton, sementara daerah dengan produksi limbah jerami terkecil adalah Kota Depok dengan total produksi limbah jerami sebesar 22 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 375.661 MJ/ton. Total konversi limbah tiap kabupaten dan kota Provinsi Jawa Barat dapat dilihat pada gambar berikut.



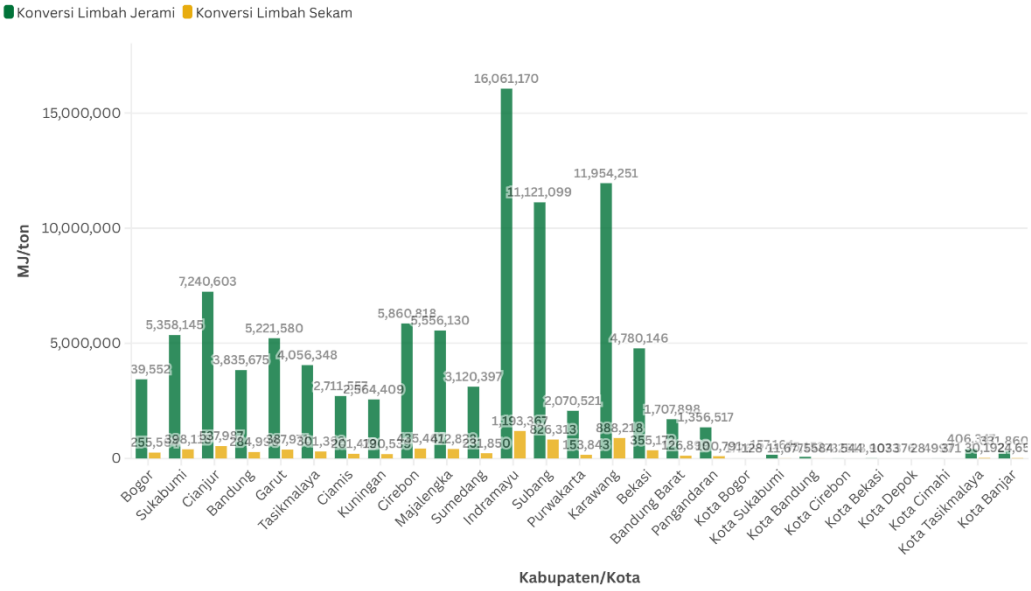
Gambar 4. 12 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami

Selaras dengan konversi limbah jerami, daerah konversi limbah sekam terbesar adalah Kabupaten Indramayu dengan total produksi limbah sekam sebesar 91.797 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 1.193.367 MJ/ton. Sementara daerah dengan produksi limbah sekam terkecil adalah Kota Depok dengan total limbah sekam sebesar 2 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 28 MJ/ton.



Gambar 4. 13 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam

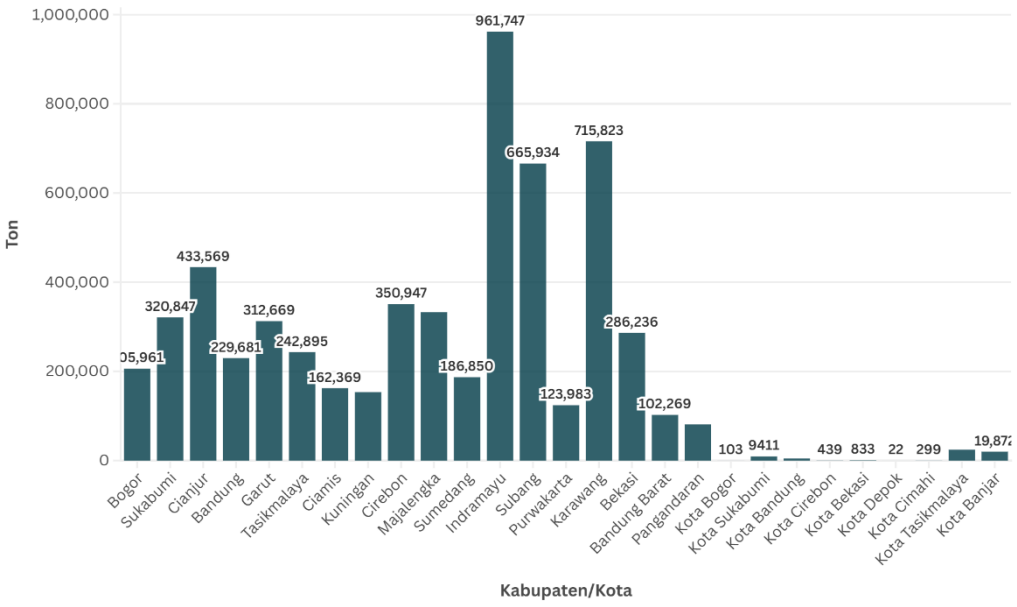
Berdasarkan total konversi limbah jerami dan limbah sekam yang sudah dihitung, daerah dengan konversi energi tertinggi di Provinsi Jawa Barat adalah Kabupaten Indramayu dan daerah dengan konversi energi terendah adalah Kota Depok. Perbandingan konversi energi dari limbah padi di Provinsi Jawa Barat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 14 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam

4.5.3 Besaran Potensi Biomassa

Dari 27 kabupaten dan kota yang ada di Provinsi jawa timur, Kabupaten Indramayu menjadi daerah dengan potensi biomassa tertinggi sebesar 961.747 ton, dan Kota Depok menjadi daerah dengan potensi biomassa terkecil yaitu 22 ton. Provinsi Jawa Barat merupakan daerah dengan luasan pertanian padi yang cukup besar, Kabupaten Indramayu merupakan daerah penghasil potensi tertinggi di Pulau Jawa. Hal ini dipengaruhi oleh luasan padi yang cukup besar, sumberdaya manusia yang sebagian banyak berfokus pada pertanian, dan daerah agraris yaitu salah satu daerah yang berkontribusi besar pada penyediaan pangan nasional, membuat Provinsi Jawa Barat menjadi salah satu daerah penghasil potensi biomassa terbesar di Pulau Jawa. Total potensi tiap kabupaten dan kota di Provinsi Jawa Barat dapat dilihat pada gambar dibawah ini



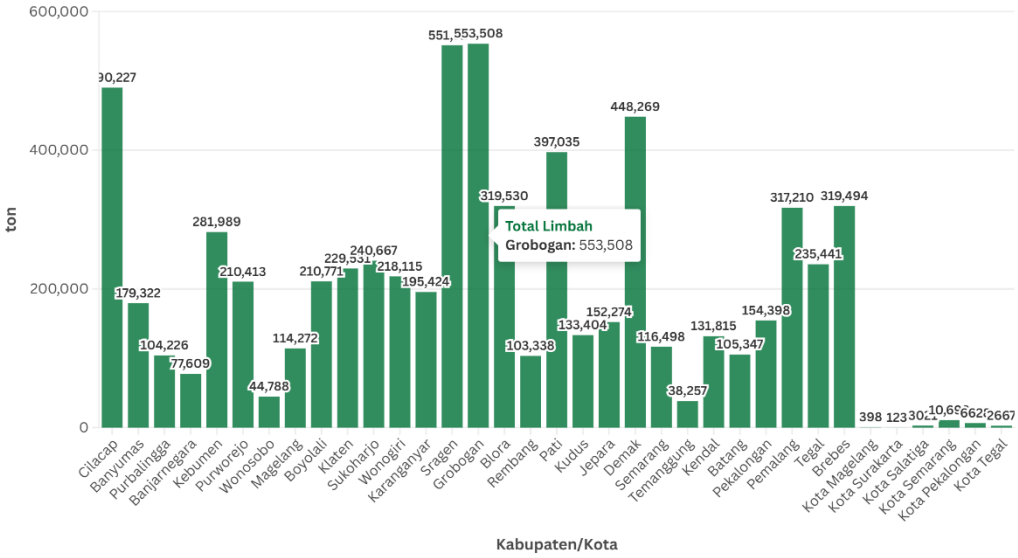
Gambar 4. 15 Potensi Biomassa Provinsi Jawa Barat

4.6 Provinsi Jawa Tengah

4.6.1 Limbah Padi

Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu Provinsi penghasil padi terbesar di Pulau Jawa, komoditas pertanian terbesar di

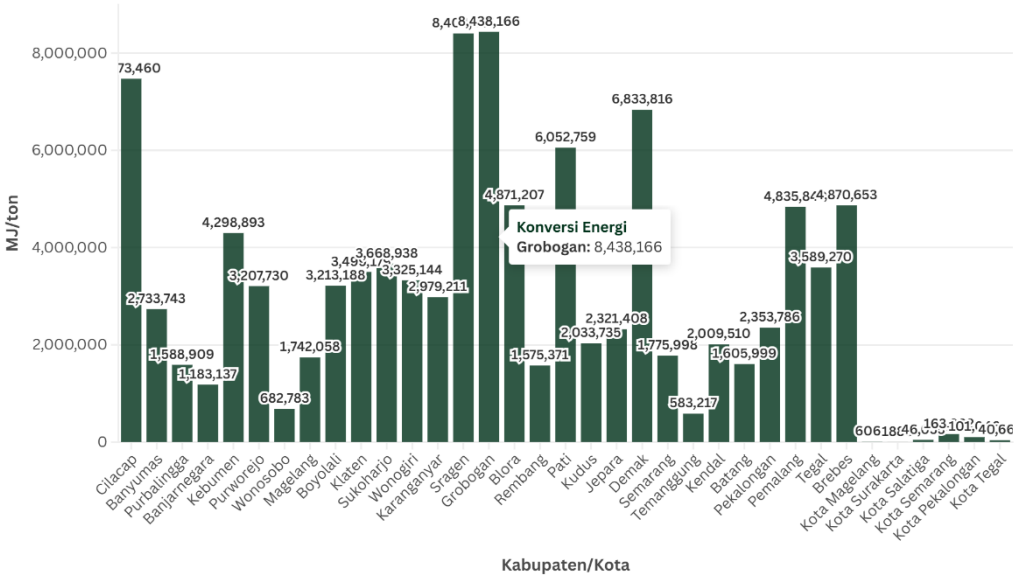
Provinsi Jawa Tengah adalah padi. Daerah dengan produksi padi terbesar adalah Kabupaten Grobogan dengan hasil produksi mencapai 735.187,08 ton, dan limbah padi mencapai 553.508 ton, sementara daerah dengan hasil produksi padi terkecil adalah Kota Surakarta sebesar 164 ton dan total limbah 123 ton. Kabupaten Grobogan menjadi daerah penghasil produksi padi terbesar didukung oleh luas lahan sawah yang merupakan lahan sawah terluas di Provinsi jawa tengah yaitu 191.570 Ha membuat volume panen total yang tinggi sehingga menjadikan Grobogan penyumbang produksi padi terbesar, selain itu juga didukung oleh topografi yang datar dan kualitas tanah yang cocok untuk tumbuhan padi, dan sumber daya manusia sebagai petani yang cukup dominan. Sementara itu Kota Surakarta atau solo menjadi Kota dengan total produksi padi terendah di Provinsi jawa tengah dikarenakan kecilnya luasan sawah, alih fungsi lahan akibat desakan urbanisasi padatnya penduduk dan Kota yang terus berkembang, hingga nilai ekonomi lahan non pertanian yang lebih tinggi. Total limbah keseluruhan di Provinsi jawa tengah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 16 Total Limbah Padi Provinsi Jawa Tengah

4.6.2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Padi

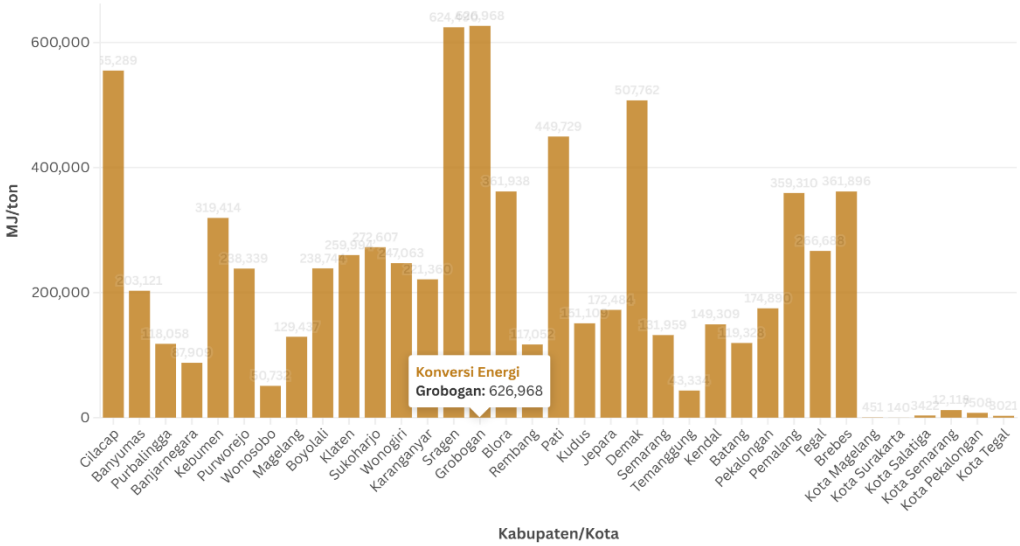
Potensi energi dari limbah pertanian padi di Provinsi jawa tengah juga termasuk yang terbesar di Pulau Jawa karena Provinsi jawa tengah merupakan salah satu Provinsi terbesar di Pulau Jawa dan dengan kondisi iklim serta lingkungan yang mendukung pertanian di daerahnya. Menjadikan jawa tengah sebagai salah satu daerah produksi padi tertinggi serta memiliki produk sampingan yaitu limbah yang besar pula. Daerah dengan produksi limbah jerami tertinggi adalah Kabupaten Grobogan dengan total produksi limbah jerami sebesar 505.279 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 8.438.166 MJ/ton, sementara itu daerah dengan produksi limbah jerami terendah adalah Kota Surakarta dengan total limbah jerami sebesar 113 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 1880 MJ/ton. Total konversi energi dari limbah jerami tiap kabupaten dan kota Provinsi jawa tengah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 17 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami

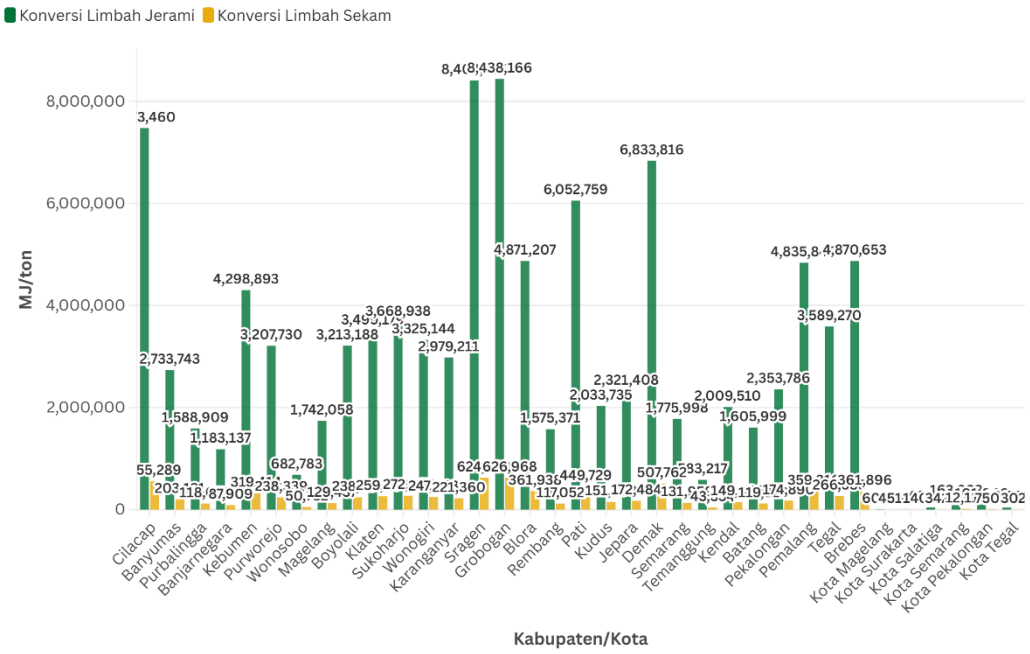
Selaras dengan total produksi limbah jerami, daerah dengan total limbah sekam tertinggi di Provinsi Jawa Tengah adalah Kabupaten Grobogan dengan total produksi limbah sekam sebesar 48.228 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 626.986 MJ/ton, sementara daerah dengan total produksi limbah sekam terendah

adalah Kota Surakarta dengan total produksi limbah sekam sebesar 11 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 140 MJ/ton. Total konversi energi dari limbah sekam tiap kabupaten dan kota di Provinsi jawa tengah dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4. 18 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam

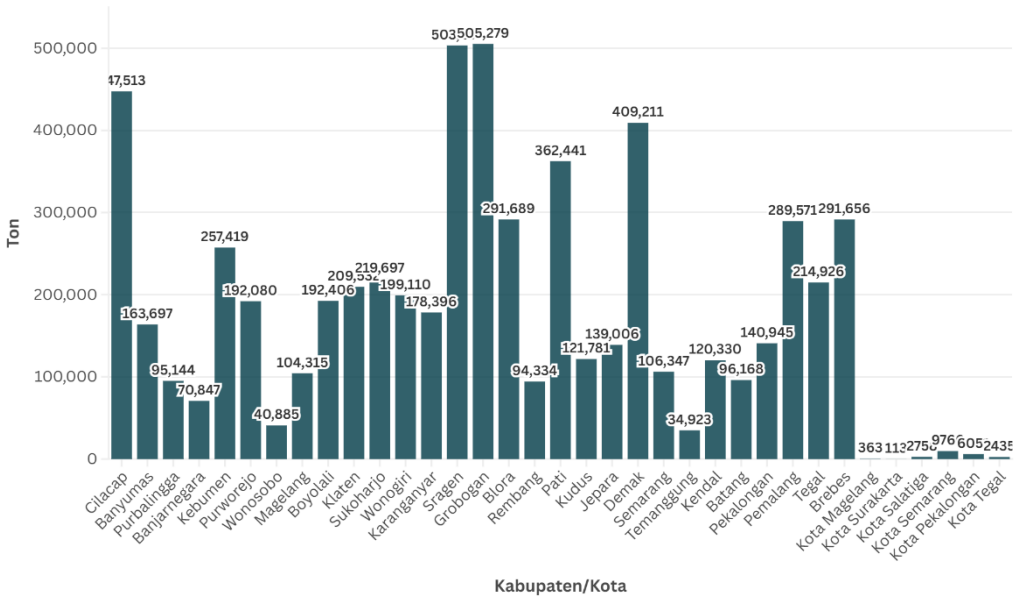
Berdasarkan total konversi limbah jerami dan limbah sekam yang sudah dilakukan, daerah dengan total konversi limbah sekam dan jerami yang tertinggi di Provinsi Jawa Tengah dalah Kabupaten Grobogan, sementara daerah dengan total konversi terendah adalah Kota Surakarta. Perbandingan total konversi energi dari limbah sekam dan jerami di Provinsi Jawa Tengah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 19 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam

4.6.3 Besaran Potensi Biomassa

Selain menjadi salah satu daerah dengan produktivitas padi tertinggi, Kabupaten Temanggung juga menjadi salah satu daerah dengan potensi biomassa tertinggi sebesar 505.279 ton di Kabupaten Grobogan, sementara itu surakarta merupakan daerah dengan potensi biomassa terkecil yaitu 113 ton. Jawa tengah merupakan daerah agraris yang menjadi salah satu pemasok pangan terbesar di Pulau Jawa karena mempunyai lahan pertanian yang luas, tanah yang subur, serta sumberdaya manusia yang aktif dalam sektor pertanian. Hal inilah yang menjadi salah satu faktor yang menentukan besaran potensi yang dihasilkan dari pertanian padi Provinsi jawa tengah. Total potensi tiap kabupaten dan kota di Provinsi jawa tengah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

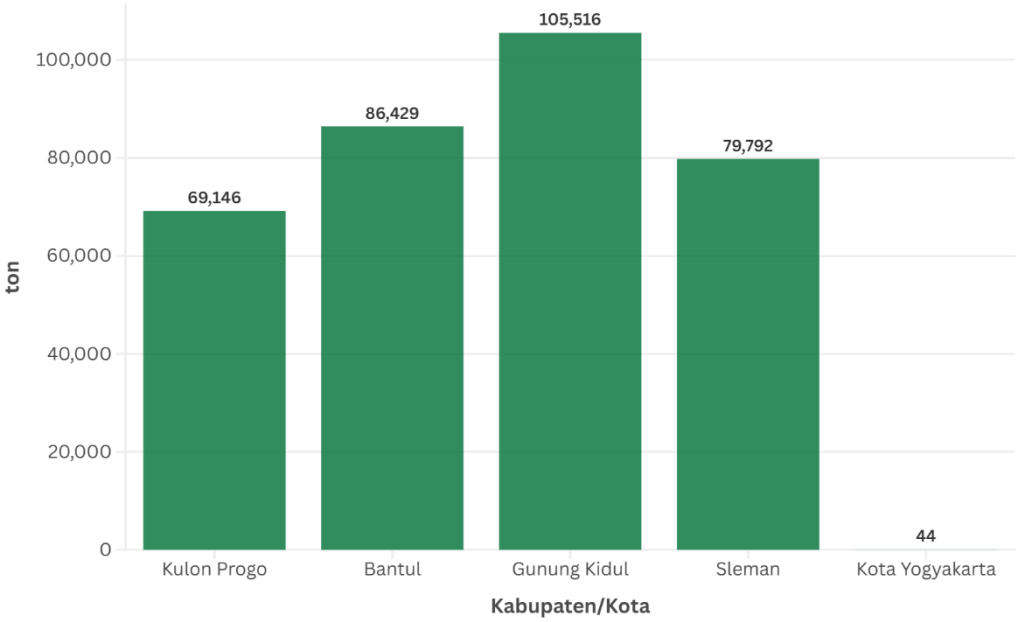


Gambar 4. 20 Potensi Biomassa Provinsi Jawa Tengah

4.7 Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY)

4.7.1 Limbah Padi

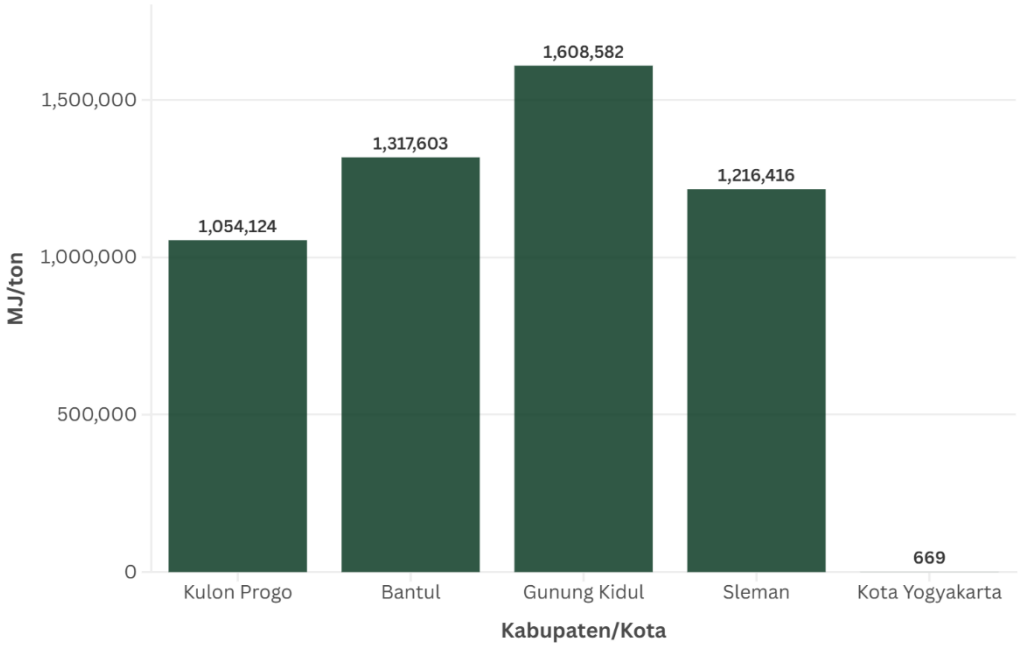
Meskipun Provinsi DIY termasuk salah satu Provinsi kecil dengan hanya 5 kabupaten dan kota, DIY termasuk salah satu Provinsi yang masyarakatnya aktif dalam pertanian, salah satunya pertanian padi. Kabupaten Gunung Kidul menjadi daerah dengan pertanian padi terluas di Provinsi DIY dengan luas sawah sebesar 59.380,9 hektar dan total produksi padi sebesar 140.150 ton, dan limbah padi sebesar 105.516 ton. Kabupaten Gunung Kidul menjadi daerah penghasil padi terbesar didukung oleh luasnya lahan pertanian sawah, inovasi penanaman jenis padi gogo yaitu jenis padi yang tidak memerlukan genangan air seperti sawah pada umumnya untuk mengatasi Kendala lahan kering, serta pengembangan irigasi dengan sistem pompanisasi. Sementara itu Kota Yogyakarta menjadi daerah dengan penghasil produksi padi terkecil karena Kota Yogyakarta merupakan pusat Kota Provinsi DIY yang bukan merupakan daerah agraris. Total limbah keseluruhan di Provinsi DIY dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 21 Total Limbah Padi Provinsi DIY

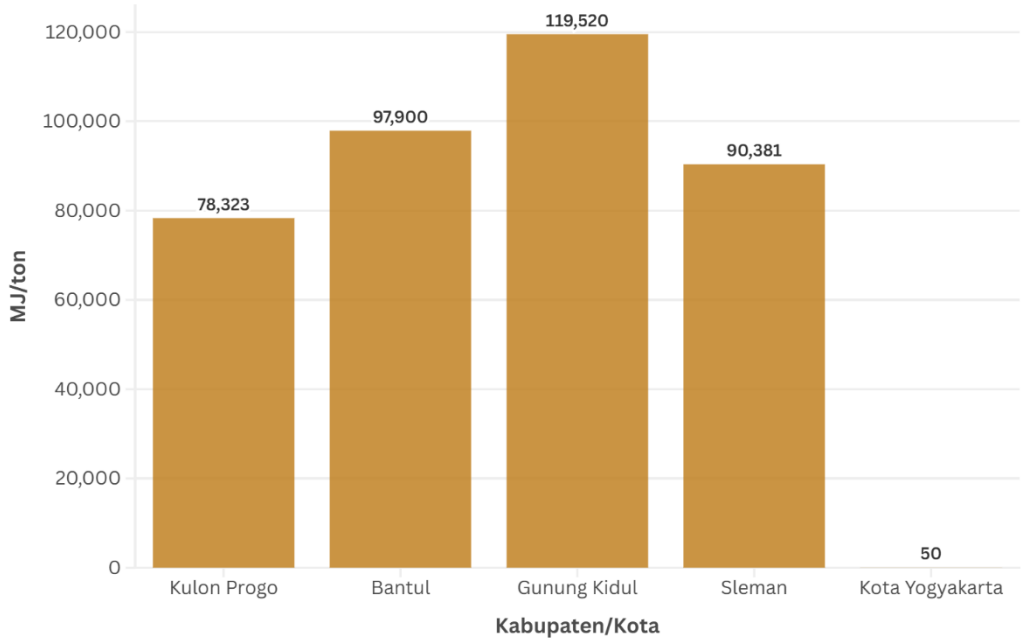
4.7.2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Padi

Potensi limbah tertinggi di Provinsi DIY adalah Kabupaten Gunung Kidul dengan total produksi limbah jerami sebesar 96.322 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 1.608.582 MJ/ton. Sementara daerah dengan konversi energi jerami terendah adalah Kota Yogyakarta dengan total produksi limbah jerami sebesar 40 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 669 MJ/ton. Total konversi energi limbah jerami di Provinsi DIY dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



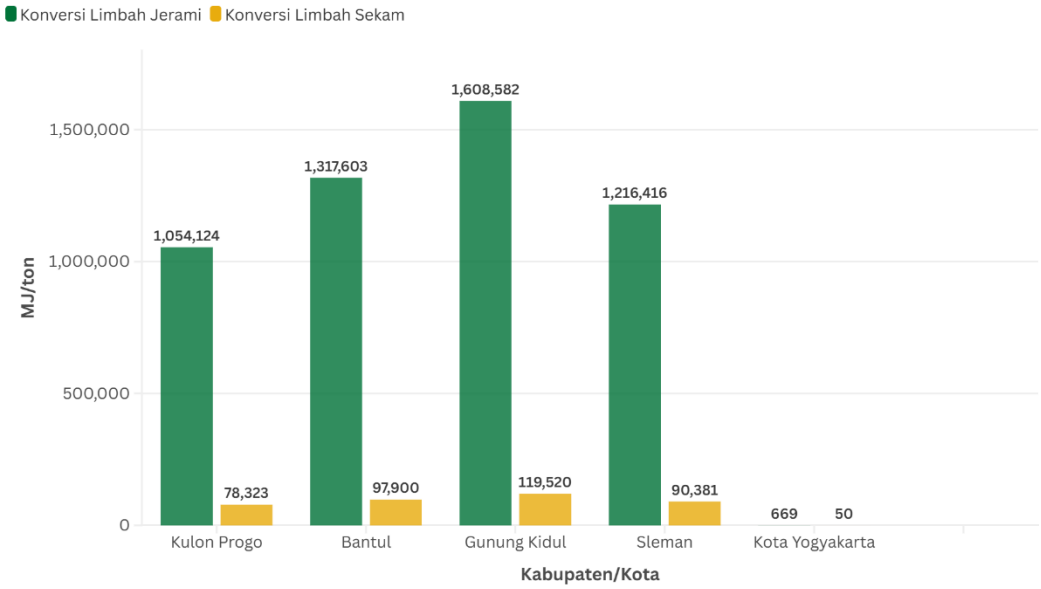
Gambar 4. 22 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami

Selaras dengan konversi limbah jerami, daerah dengan konversi limbah sekam tertinggi adalah Kabupaten Gunung Kidul dengan total produksi limbah sekam sebesar 9.194 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 119.520 MJ/ton. Sementara daerah dengan konversi limbah sekam terendah adalah Kota Yogyakarta dengan total produksi limbah sekam sebesar 4 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 50 MJ/ton. Total konversi energi dari limbah sekam Provinsi DIY dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 23 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam

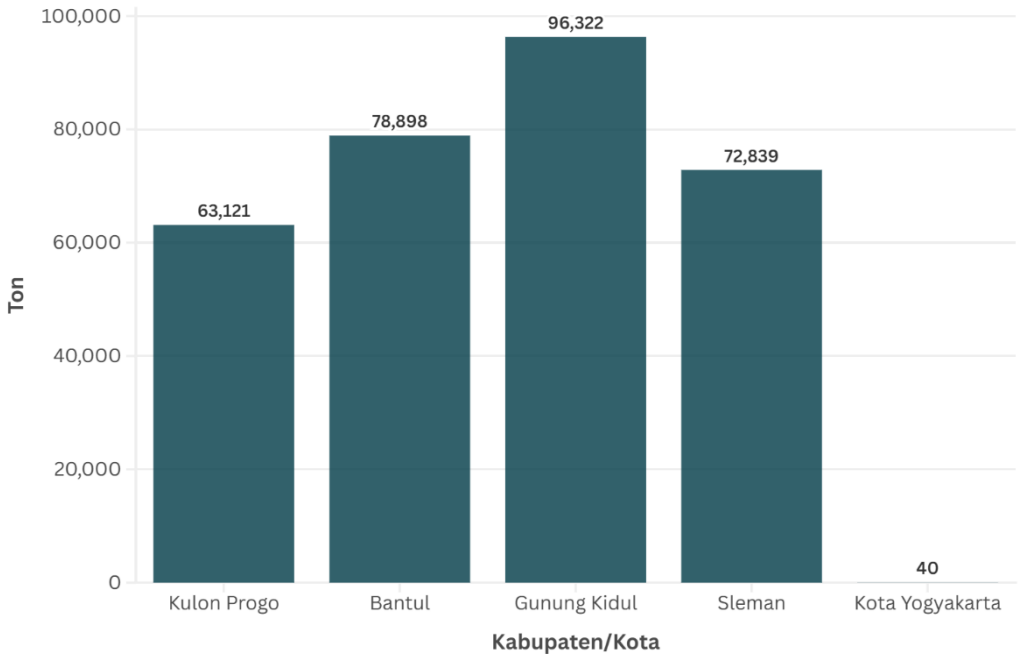
Berdasarkan total konversi limbah jerami dan limbah sekam yang sudah dilakukan, daerah dengan total konversi limbah sekam dan jerami yang tertinggi di Provinsi DIY dalah Kabupaten Gunung Kidul, sementara daerah dengan total konversi terendah adalah Kota Yogyakarta. Perbandingan total konversi energi dari limbah sekam dan jerami di Provinsi DIY dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 24 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam

4.7.3 Besaran Potensi Biomassa

Dari 5 kabupaten dan kota di Provinsi DIY, Kabupaten Gunung Kidul menjadi daerah dengan potensi biomassa tertinggi sebesar 96.322 ton, dan Kota Yogyakarta merupakan daerah dengan potensi terkecil yaitu 40 ton. Meskipun Provinsi DIY adalah daerah agraris, kontribusinya dalam sektor pertanian terbilang lebih kecil dibanding daerah agraris lainnya di Pulau Jawa. Selain sektor pertanian, Provinsi DIY juga aktif dalam sektor industri dan transportasi. Sebagian besar masyarakatnya juga sudah beralih dari pertanian menjadi perkantoran dan industri. Hal ini mempengaruhi besaran potensi biomassa yang dapat dihasilkan dari pertanian padi di Provinsi DIY. Total potensi tiap kabupaten dan kota di Provinsi DIY dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



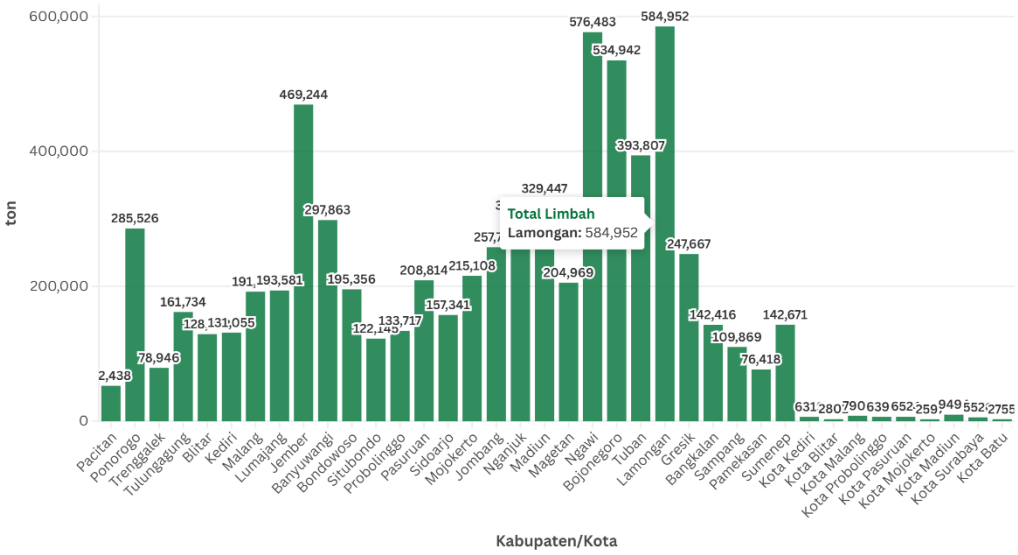
Gambar 4. 25 Potensi Biomassa Provinsi DIY

4.8 Provinsi Jawa Timur

4.8.1 Limbah Padi

Provinsi jawa timur merupakan salah satu Provinsi terluas di Pulau Jawa dengan 38 kabupaten dan kota. Daerah dengan hasil produksi padi terbesar di Provinsi jawa timur adalah Kabupaten

Lamongan dengan total hasil produksi padi sebesar 776.952 ton dan total limbah padi sebesar 584.952 ton. Sementara daerah dengan produksi padi terkecil adalah Kota Mojokerto dengan total produksi padi sebesar 3.450 ton dan total limbah padi sebesar 2.597 ton. Kabupaten Lamongan menjadi daerah penghasil produksi padi tertinggi didukung oleh luas lahan sawah yang besar, optimalisasi lahan tanam dengan memilih jenis varietas padi yang sesuai dengan kondisi daerah, infrastruktur irigasi dan air yang memadai seperti pompa air dan rehabilitasi saluran air hingga dapat menjangkau lahan sawah di daerah rawan kekeringan, hingga efisiensi pupuk dan adopsi inovasi pertanian modern. Sementara itu Kota Mojokerto menjadi daerah penghasil produksi padi terkecil dipengaruhi oleh keterbatasan lahan pertanian, alih fungsi lahan menjadi pusat perdagangan, pemerintahan, dan pemukiman, serta fokus kegiatan ekonomi bergeser dari sektor pertanian ke sektor perdagangan, transportasi, dan jasa. Total limbah pertanian padi di Provinsi jawa timur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

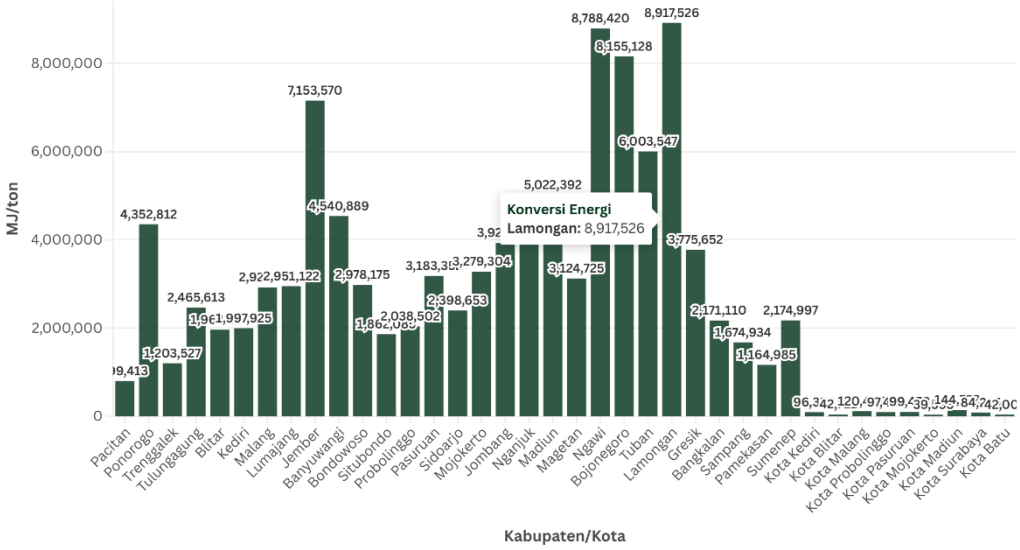


Gambar 4. 26 Total Limbah Padi Provinsi Jawa Timur

4.8.2 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Padi

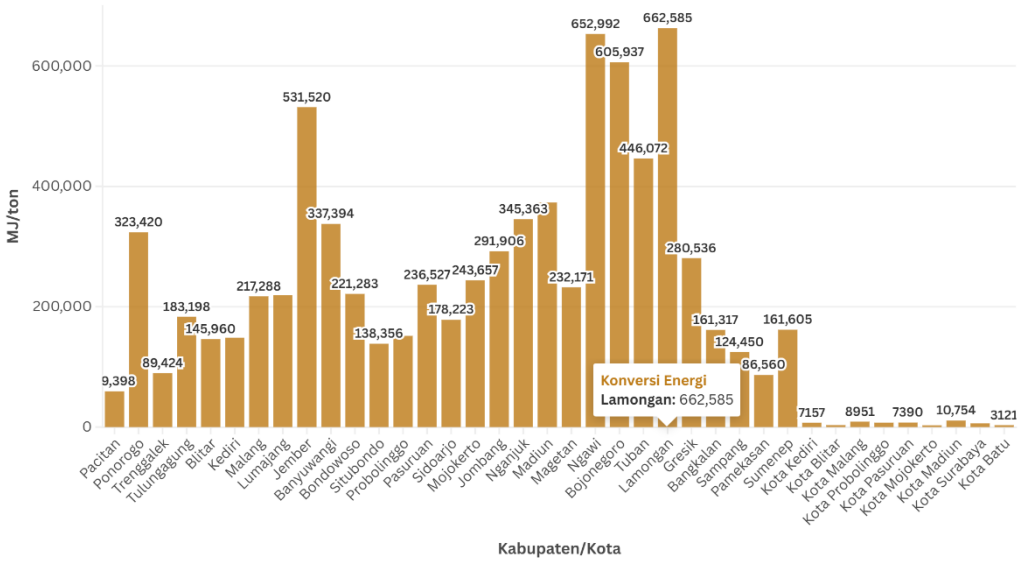
Provinsi Jawa Timur merupakan Provinsi terbesar di Pulau Jawa dengan 38 kabupaten dan kota. Serta merupakan daerah aktif

dalam sektor pertanian khususnya komoditas padi. Daerah dengan konversi limbah jerami tertinggi adalah Kabupaten Lamongan sebesar 533.984 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 8.817.526 MJ/ton. Sementara daerah dengan konversi terendah adalah Kota Mojokerto sebesar 2.371 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 39.593 MJ/ton. Total konversi energi limbah jerami Provinsi jawa timur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



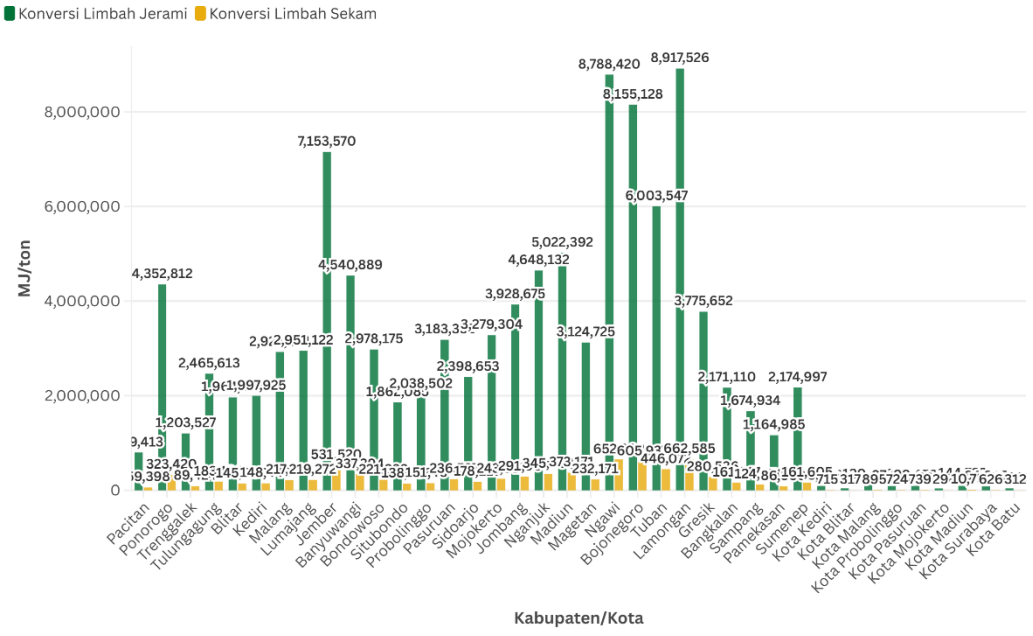
Gambar 4. 27 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Jerami

Selaras dengan konversi limbah jerami, daerah dengan konversi limbah sekam tertinggi adalah Kabupaten Lamongan dengan total produksi limbah sekam sebesar 50.968 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 662.585 MJ/ton. Sementara daerah dengan konversi limbah sekam terendah adalah Kota Mojokerto dengan total produksi limbah sekam sebesar 226 ton dan dapat menghasilkan energi sebesar 2.942 MJ/ton. Total konversi energi dari limbah sekam Provinsi jawa timur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 28 Konversi Perkiraan Energi dari Limbah Sekam

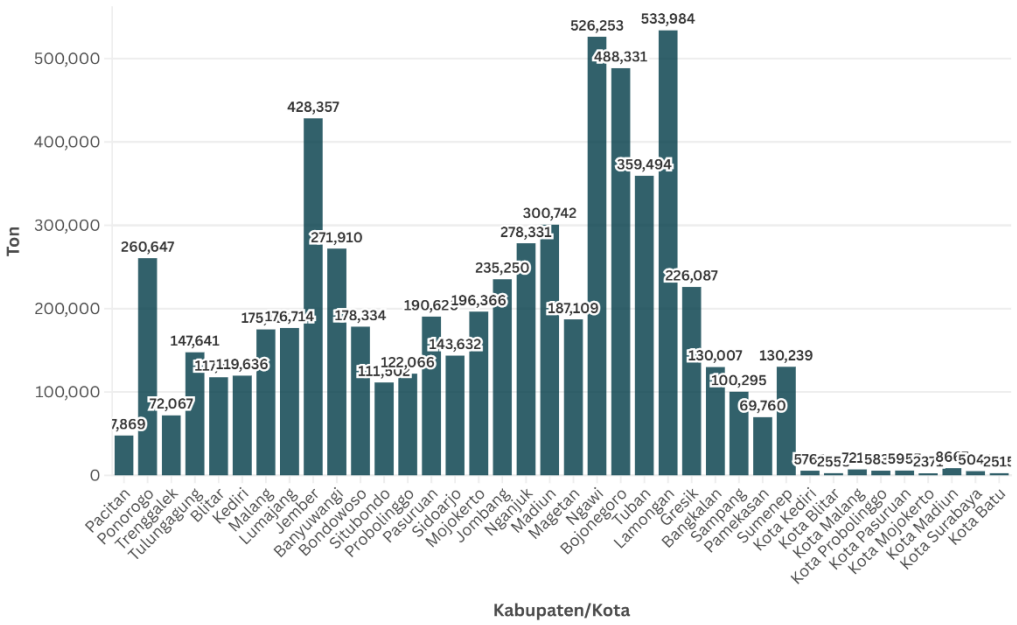
Berdasarkan total konversi limbah jerami dan limbah sekam yang sudah dilakukan, daerah dengan total konversi limbah sekam dan jerami yang tertinggi di Provinsi jawa timur dalah Kabupaten Lamongan, sementara daerah dengan total konversi terendah adalah Kota Mojokerto. Perbandingan total konversi energi dari limbah sekam dan jerami di Provinsi jawa timur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 29 Perbandingan Konversi Energi Jerami dan Sekam

4.8.3 Besaran Potensi Biomassa

Kabupaten Lamongan merupakan daerah dengan potensi biomassa tertinggi di Provinsi Jawa Timur dengan total potensi sebesar 533.984 ton, sementara Kota Mojokerto menjadi daerah dengan potensi biomassa terkecil di Provinsi Jawa Timur dengan total potensi 2.371 ton. Provinsi jawa timur memiliki potensi biomassa yang tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingginya hasil produksi limbah yang mempengarhi tingginya potensi biomassa, luasan wilayah pertanian, dukungan infrastruktur konversi sederhana seperti program co-firing biomassa di PLTU Tuban, hingga sumberdaya manusia dibidang pertanian yang sangat besar turut menjadi faktor yang mempengaruhi tingginya potensi biomassa yang dapat dimanfaatkan. Dengan faktor-faktor ini, limbah pertanian padi di Provinsi jawa timur yang cukup besar merupakan potensi energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan secara optimal jika didukung oleh volume limbah yang masif dan sumberdaya manusia yang mendukung keberhasilan pemanfaatan biomassa menjadi energi dalam jangka panjang dan kontinyu. Total potensi biomassa tiap kabupaten dan kota di Provinsi Jawa Timur dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4. 30 Potensi Biomassa Provinsi Jawa Timur

4.9 Kerapatan Sungai dan Kerapatan Jalan

Setelah menghitung besaran potensi biomassa, selanjutnya adalah menghitung kerapatan sungai dan kerapatan jalan untuk dikorelasikan terhadap potensi biomassa sehingga dapat diketahui variabel yang paling berpengaruh terhadap potensi biomassa. Terdapat perbedaan antara drainase dan irigasi, keduanya merupakan sistem pengelolaan air yang saling melengkapi namun memiliki fungsi yang berlawanan. sawah atau pertanian padi tidak terlalu membutuhkan drainase namun membutuhkan irigasi. Drainase adalah usaha mengurangi air yang terlalu banyak yang dapat menyebabkan akar padi membusuk atau mengeringkan sawah saat akan dipanen. Sementara urugasu merupakan usaha menambah atau mengalirkan air pada sawah agar kebutuhan air tanaman padi tercukupi. Untuk mengetahui nilai kerapatan ini, digunakan pendekatan dengan densitas tiap kabupaten. Untuk menghitung kerapatan sungai, cara yang digunakan adalah dengan membagi total panjang sungai tiap masing-masing kabupaten dengan total luas area kabupaten. Sementara untuk menghitung kerapatan jalan dengan membagi total panjang jalan tiap masing-masing kabupaten dengan total luas area kabupaten. Kedua perhitungan ini dilakukan kepada seluruh kabupaten dan kota di Pulau Jawa.

Setelah mendapatkan nilai besaran kerapatan sungai dan jalan di tiap kabupaten dan kota, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan korelasi dari ketiga variabel yaitu potensi biomassa, kerapatan sungai, dan kerapatan jalan. Ketiga variabel ini diasumsikan sebagai X,Y dan Z kemudian dilakukan perhitungan korelasi menggunakan metode pearson untuk mengetahui variabel mana yang saling berhubungan. Hasil perhitungan korelasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 1 korelasi potensi biomassa dengan kerapatan sungai dan jalan

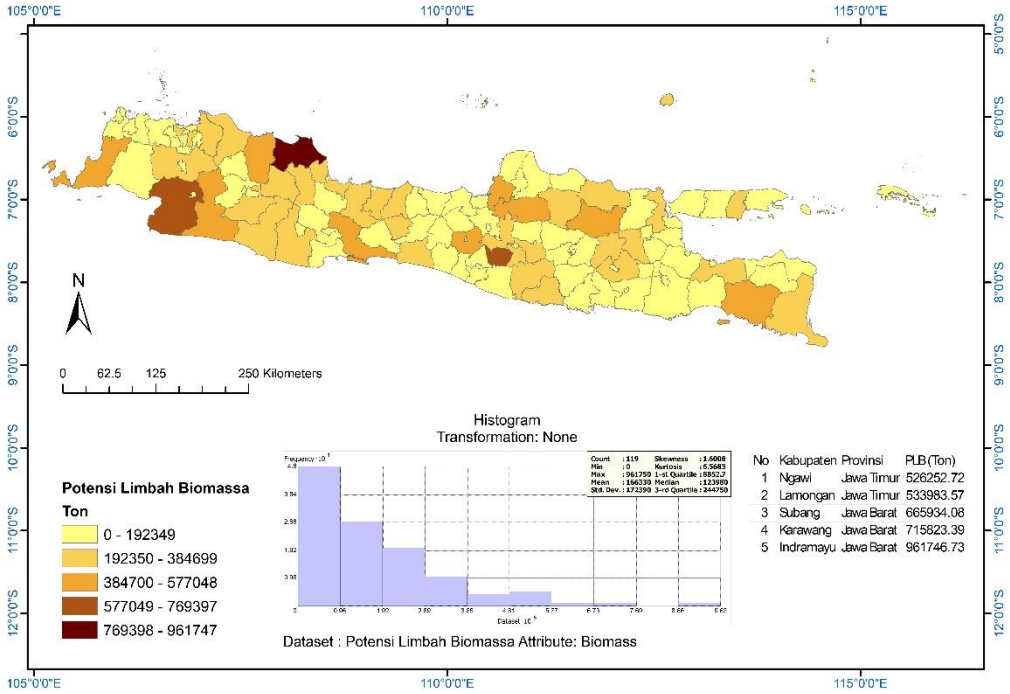
variabel	*biomassa (X)*	*drainage density (Y)*	*road density (Z)*
biomassa (X)	1		
drainage density (Y)	0,06125573	1	
road density (Z)	-0,354752107	0,292163965	1

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa terdapat hubungan linear dengan arah positif sebesar 0,06125573 antara biomassa dan kerapatan sungai. Hal ini menunjukkan bahwa hampir tidak ada hubungan linear antara kerapatan sungai dengan jumlah biomassa, tinggi atau rendahnya kerapatan sungai atau drainase tidak mempengaruhi banyak atau sedikitnya ketersediaan limbah padi untuk biomassa. Kemudian diketahui pula adanya hubungan lemah antara biomassa dan kerapatan jalan dengan arah negatif sebesar -0,354752107. Meskipun hubungan berlawanan arah, namun hasil korelasi menunjukkan bahwa dibanding kerapatan sungai, kerapatan jalan lebih berhubungan dengan biomassa. Semakin tinggi kerapatan jalan, maka semakin sedikit ketersediaan limbah padi sebagai biomassa. Hal ini dapat dibuktikan secara geografis. Wilayah dengan kerapatan jalan yang tinggi seperti Provinsi DKI Jakarta yang merupakan area perkotaan dan padat penduduk memiliki lahan pertanian padi yang jauh lebih sedikit dibanding area dengan kerapatan jalan yang lebih rendah seperti Provinsi Jawa Barat. Sehingga jika dibandingkan hubungan atau korelasi antara biomassa dengan kerapatan sungai dan kerapatan jalan, maka kerapatan jalan adalah variabel yang lebih berpengaruh terhadap

tinggi atau rendahnya potensi biomassa dibanding kerapatan sungai. Kedua hasil perbandingan ini dapat dijadikan pertimbangan dalam kesimpulan akhir terkait sebaran potensi biomassa di Pulau Jawa pada akhir penelitian.

4.10 Pemetaan Potensi Biomassa di Pulau Jawa

Pemetaan potensi biomassa dilakukan berdasarkan besaran potensi biomassa yang sudah dihitung dengan mempertimbangkan kerapatan sungai dan kerapatan jalan. Sehingga didapat hasil akhir peta sebaran potensi biomassa yang dapat menjadi acuan untuk melihat daerah atau kabupaten dan kota mana yang memiliki potensi biomassa paling rendah hingga paling tinggi guna memudahkan pemetaan target pemanfaatan biomassa untuk diolah dan dimanfaatkan menjadi produk baru maupun bahan baku produk baru seperti bioenergi. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, 5 daerah dengan potensi biomassa terendah adalah Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Kepulauan Seribu, Kota Jakarta Pusat, Kota Jakarta Selatan, dan Kota Depok. Sementara daerah dengan potensi biomassa tertinggi adalah Kabupaten Ngawi, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Subang, Kabupaten Karawang, dan Kabupaten Indramayu. Peta sebaran potensi biomassa dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 31 Peta Sebaran Potensi Biomassa di Pulau Jawa

4.11 Teknologi Pengolahan Potensi Biomassa

a) Gasifikasi

Metode gasifikasi adalah metode pengolahan dengan kompor gasifikasi dengan proses pengolahan biomassa menjadi produk gas dengan menggunakan udara (O2, H2O, CO2) atau campurannya dengan rasio reaktan 20-70% dari kebutuhan stokiometrinya. Gas hasil pengolahan ini yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi. Gasifikasi terdiri dari beberapa tahapan proses, dimulai dari pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi. Proses pengeringan adalah penguapan pada temperatur 100-250℃, kemudian proses pirolisis yaitu dekomposisi termal limbah padat pada suhu 250-500℃ yang menghasilkan gas bakar seperti H2,CO,CH4, dan hidrokarbon, gas non bakar seperti CO2, H2O, tar, minyak, arang padat. Selanjutnya proses oksidasi yaitu pembakaran hingga suhu 1200℃ atau tahap eksoterm yang menghasilkan panas dimana hasil pengolahan sebelumnya bereaksi dengan oksigen dari media penggasifikasi. Tahap terakhir adalah proses reduksi yaitu tahapan endoterm yang membutuhkan panas dari reaksi kesetimbangan hasil oksidasi dengan hasil pirolisis (Pujotomo, 2017).

b) Pirolisis

Pirolisis didefinisikan sebagai dekomposisi senyawa organik dalam biomassa melalui proses pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen, di mana hanya bahan yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terlepas, menyisakan karbon di dalamnya. Proses ini terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan kondisi operasinya: pirolisis cepat (± 800℃, ±5 menit) untuk waktu pemanasan yang singkat, pirolisis menengah (>600℃) yang ditujukan untuk memaksimalkan produksi gas, dan pirolisis lambat (±400℃, >15 menit) yang dikondisikan secara spesifik untuk menghasilkan produk padat berupa biochar (Isnainiyah et al., 2023).

Selain menghasilkan produk berupa biochar, proses pirolisis juga dapat menghasilkan minyak yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku, jumlah bahan baku, dan temperatur pemanasan yang dicapai saat proses pirolisis. Berdasarkan penelitian terdahulu, diketahui bahwa adanya pengaruh pada kuantitas minyak hasil pirolisis dari rasio komposisi campuran biomassa pada limbah padi yang dicampur dengan limbah plastik LDPE. Semakin banyak komposisi plastik LDPE, maka semakin banyak minyak yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya (Setyawira et al., 2023).

c) Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)

Proses dimulai dengan Pra-Perlakuan (Penghilangan Lignin) pada jerami padi. Serbuk jerami padi dikeringkan, digerus, diayak, dan kemudian direaksikan dengan larutan natrium hidroksida (0,5 N NaOH) serta dipanaskan. Perlakuan ini bertujuan untuk memutus ikatan-ikatan struktur lignin (delignifikasi), sehingga selulosa lebih mudah dihidrolisis. Serbuk selulosa yang telah dinetralkan ini kemudian disterilkan untuk memasuki tahap SFS.

Tahap inti SFS adalah proses di mana hidrolisis (sakarifikasi) dan fermentasi dilakukan serentak dalam satu reaktor. Awalnya, enzim selulase ditambahkan untuk memulai hidrolisis, yaitu memecah rantai selulosa menjadi glukosa. Setelah 24 jam hidrolisis awal, ragi Saccharomyces cerevisiae ditambahkan, yang secara resmi memulai

fermentasi serentak. Dalam kondisi anaerob (tanpa udara), ragi akan segera mengonsumsi glukosa yang dihasilkan oleh enzim untuk diubah menjadi etanol. Proses SFS dilanjutkan selama periode tertentu (dalam penelitian ini diuji 3, 5, 7, dan 9 hari). Setelah waktu optimum tercapai (yaitu 7 hari, yang menghasilkan kadar etanol tertinggi sebesar 0,24 %), larutan hasil SFS dipisahkan dari residu jerami10. Terakhir, larutan ini dimurnikan melalui distilasi pada suhu 80℃ untuk mendapatkan destilat bioetanol (Baharuddin & Fitriyani, 2016).

Jika proses sakarifikasi dan fermentasi serentak dilihat secara perubahan senyawa kimianya, maka prosesnya diawali dengan pemecahan rantai yaitu hidrolisis. Senyawa awal yaitu selulosa pada jerami $(C_6H_{10}O_5)_n$ kemudian ditambah enzim selulase untuk memulai hidrolisis sehingga rantai selulosa dipecah menjadi glukosa sederhana yang siap dimakan oleh ragi pada proses fermentasi secara anaerob. Proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan pada wadah yang sama, begitu molekul glukosa $(C_6H_{12}O_6)$ dari proses sebelumnya muncul, glukosa langsung dimakan oleh mikroba yaitu ragi (*saccharomyces cerevisiae*). Mikroba memakan glukosa kemudian mengeluarkan produk sampingan berupa alkohol. Sehingga didapat hasil akhir berupa bioetanol (C_2H_5OH). Bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi belum berupa bioetanol murni, cairan fermentasi ini masih mengandung campuran air, etanol, sisa-sisa ragi yang mati, lignin yang tidak terurai, dan sisa gula. Untuk mendapatkan bioetanol berkadar tinggi, harus dilakukan distilasi atau pemurnian. Dilakukan dengan cara memanaskan cairan hasil fermentasi hingga molekul etanol menguap terlebih dahulu karena ikatan antar molekul etanol lebih lemah dibanding air. Uap etanol yang terpisah ini kemudian dikondensasi menjadi cairan bening sehingga menghasilkan bioetanol dengan kadar kemurnian sekitar 95%-96%, sementara kandungan sisanya tertinggal sebagai residu limbah.

d) Separate Hydrolysis and Fermentation (SHF)

SHF merupakan kebalikan dari SSF. Tahapan shf dimulai dengan hidrolisis dimana pati dan selulosa yang terkandung dalam sekam padi

dipecah menjadi gula sederhana, terutama glukosa. Gula merupakan komponen penting karena berfungsi sebagai substrat (sumber karbon) bagi mikroorganisme dalam tahap berikutnya. Dalam metode SHF, tahap hidrolisis ini dilakukan dan diselesaikan terlebih dahulu sebelum melangkah ke tahap fermentasi. Proses selanjutnya yaitu fermentasi glukosa hasil hidrolisis yang ditambah inokulum ragi. Ragi inilah yang akan mengubah glukosa menjadi etanol dan karbon dioksida dalam kondisi anaerob yang akan menghasilkan kadar etanol yang maksimal. Proses akhirnya yaitu distilasi yang memanfaatkan perbedaan titik didih antara etanol dan air dimana etanol yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu dan dikumpulkan sebagai destilat. Sehingga didapat hasil akhir bioetanol. (Farhani et al., 2025).

e) Rekomendasi pilihan teknologi

Dari keempat metode yang sudah dibahas sebelumnya, metode pengolahan SSF yaitu *Simultaneous Saccharification and Fermentation* atau SFS (sakarifikasi dan fermentasi serentak) merupakan metode yang paling direkomendasikan untuk diterapkan dalam pengolahan limbah padi menjadi etanol. Metode ini merupakan jalur biokimia langsung yang secara spesifik dirancang untuk konversi bahan berlignoselulosa seperti jerami padi menjadi etanol. Metode termokimia, seperti Gasifikasi dan Pirolisis, kurang direkomendasikan karena mereka hanya menghasilkan produk antara (*intermediate products*) seperti syngas atau bio-oil. Produk ini masih memerlukan tahapan pemrosesan kimia yang kompleks, mahal, dan tidak efisien untuk diubah lebih lanjut menjadi etanol. Oleh karena itu, diskusi berfokus pada perbandingan antara dua jalur biokimia: SHF dan SFS. SFS menjadi pilihan utama karena menggabungkan tahap hidrolisis dan fermentasi sehingga dapat berlangsung secara efisien.

Salah satu keunggulan terbesar SFS dibandingkan SHF (*Separate Hydrolysis and Fermentation*) adalah efisiensi biaya dan peralatan. Dalam SFS, proses hidrolisis enzimatik (sakarifikasi) dan fermentasi dilakukan serentak dalam satu wadah atau reaktor, sementara SHF (seperti yang digunakan dalam jurnal Bioetanol dari Limbah Sekam Padi) melakukan

hidrolisis dan fermentasi secara berurutan, yang umumnya memerlukan dua reaktor berbeda. Penggunaan satu reaktor dalam SFS secara otomatis mengurangi biaya investasi awal, memangkas biaya operasional, dan menyingkat waktu pemrosesan total.

Keunggulan penting lainnya dari metode SFS adalah kemampuannya untuk mengurangi penghambatan produk (inhibisi glukosa), yang sering menjadi masalah pada metode SHF. Dalam SHF, hidrolisis terjadi terlebih dahulu, menghasilkan konsentrasi glukosa yang tinggi sebelum fermentasi dimulai. Glukosa yang berlebihan ini dapat menghambat kerja enzim selulase dan ragi, sehingga menurunkan efisiensi konversi menjadi etanol. Dalam SFS, glukosa yang baru saja terbentuk dari pemecahan selulosa akan langsung dikonsumsi oleh ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) untuk diubah menjadi etanol. Dengan menjaga konsentrasi glukosa tetap rendah sepanjang proses, SFS memaksimalkan aktivitas ragi dan enzim, sehingga menghasilkan kadar etanol yang lebih tinggi dan lebih cepat, dengan waktu optimum pembentukan bioetanol dicapai pada 7 hari dalam penelitian yang menggunakan metode ini. Penelitian ini mengutamakan energi alternatif bioetanol karena sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) Nomor 7 tentang Energi Bersih dan Terjangkau yang Secara spesifik bertujuan memastikan akses pada energi yang terjangkau, terjamin, berkelanjutan, dan modern bagi semua. Target utama dari SDGs 7 mencakup Mencapai akses universal ke layanan energi yang terjangkau, andal, dan modern, meningkatkan persentase energi terbarukan dalam bauran energi global, menggandakan laju peningkatan efisiensi energi global.

Jika dilakukan perbandingan hasil energi dari keempat jenis teknologi pengolahan dengan biomassa total yang ada dipulau jawa yaitu 19.793.407 ton, Teknologi pengolahan gasifikasi diperkirakan dapat menghasilkan energi sebesar 193.975 TJ dengan produk utama berupa syngas, sementara itu teknologi pengolahan pirolisis diperkirakan dapat menghasilkan energi sebesar 168.244 TJ dengan produk utama berupa bio-

oil, teknologi SFS diperkirakan dapat menghasilkan energi sebesar 80.163 TJ dengan produk utama berupa bioetanol, dan teknologi SHF diperkirakan dapat menghasilkan energi sebesar 69.475 TJ dengan produk utama berupa bioetanol. Teknologi SFS merupakan teknologi paling efisien yang mampu meningkatkan *yield* etanol secara signifikan sehingga meminimalisir sampah atau produk sampingan dari proses pengolahan.

Teknologi SFS cocok untuk diterapkan di pulau jawa karena pulau jawa terutama Provinsi Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat merupakan penyumbang produksi padi terbesar, sehingga Pulau Jawa memiliki ketersediaan limbah padi sebagai bahan baku biomassa yang dapat diolah menjadi bioenergi. Selain itu diperlukan efisiensi terhadap investasi dan lahan sehingga diperlukan teknologi pengolahan yang *compact* dan efisien. Teknologi SFS cocok diaplikasikan karena metode ini menggabungkan dua proses dalam satu tangki pengolahan sehingga dapat menghemat modal awal pembuatan tempat pengolahan. Pengolahan limbah dengan teknologi SFS juga dapat mengurangi polusi udara akibat praktik pembakaran limbah padi yang menjadi penyebab utama polusi udara lokal dan gangguan asap di jalan tol. Selain itu mengolah limbah padi menjadi bioetanol juga memberi nilai ekonomi bagi petani dengan cara petani menjual atau menyetorkan limbahnya ke tempat pengolahan limbah yaitu SFS.

Jika dibandingkan antara metode pengolahan termokimia dan biokimia yaitu gasifikasi dan SFS, terdapat karakteristik sisa limbah yang berbeda. Gasifikasi menghasilkan char atau arang yaitu sisa karbon padat yang tidak terkonversi sempurna, tar yaitu residu hidrokarbon kompleks, abu yaitu mineral yang tidak terbakar dari bahan baku, dan emisi gas. Sedangkan SFS menghasilkan limbah sisa berupa stillage atau limbah cair sisa distilasi, lignin atau bagian biomassa yang tidak bisa dicerna oleh enzim atau mikroba, gas karbon dioksida murni dari proses fermentasi, dan ragi bekas atau massa sel mikroba yang sudah tidak aktif atau mati. Jika dilihat secara volume, metode SFS menghasilkan produk sampingan lebih banyak dari sisa distilasi dibanding metode gasifikasi yang secara

keseluruhan langsung dibakar dalam suhu tinggi. Gasifikasi dianggap lebih bersih dalam konteks pengelolaan limbah sisa karena residunya stabil dan mudah dikelola, sementara SFS dianggap lebih bersih dalam konteks emisi karbon karena proses pengolahannya tidak menggunakan proses pembakaran namun menghasilkan limbah cair.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis, aksesibilitas jalan tidak berbanding lurus dengan potensi biomassa. Tersedia atau tidaknya jalur distribusi tidak berhubungan dengan tinggi dan rendahnya potensi biomassa.
2. Banyaknya total limbah yang dihasilkan pertanian padi di Pulau Jawa dapat menimbulkan dampak yang cukup serius jika tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan baik, seperti degradasi tanah yang parah, proses dan hasil pembakaran menurunkan kualitas udara, limbah yang dibiarkan menumpuk menimbulkan pencemaran air, dan gangguan pernafasan akibat polusi udara yang cukup besar.
3. Dari 119 kabupaten dan kota yang ada di Pulau Jawa, Kabupaten Indramayu merupakan Kabupaten dengan potensi biomassa terunggul sebesar 961.747 ton, sementara daerah dengan potensi terendah adalah Kota depok dengan potensi biomassa 22 ton. Empat daerah yang tidak memiliki potensi biomassa sama sekali adalah Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Kepulauan Seribu, Kota Jakarta Pusat, dan Kota Jakarta Selatan. Potensi biomassa dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku sumber energi alternatif yaitu bioetanol dengan pengolahan Sakarifikasi Fermentasi Serentak (SFS) dengan hasil akhir bioetanol murni yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sumber energi fosil.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutkan disarankan untuk melakukan analisis risiko dan sensitivitas terhadap perubahan produksi dan perkembangan komoditas utama yaitu padi sehingga bisa mengukur dan menjamin kelangsungan pemanfaatan limbah pertanian padi dalam jangka panjang. Evaluasi dan edukasi pada aspek sosial untuk masyarakat dan petani juga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa solusi pemanfaatan limbah menjadi bioenergi yang dilakukan tidak hanya efisien secara teknis, namun

juga adil dan berkelanjutan bagi komunitas agraris di Pulau Jawa. Dengan potensi yang sangat besar ini, limbah pertanian padi perlu dimanfaatkan menjadi sumber energi baru yang dapat dimanfaatkan dengan berbagai macam proses pengolahan seperti pirolisis, gasifikasi, maupun konversi thermal untuk dapat menjadi produk baru seperti bioetanol, biogas, biochar, hingga pembangkit listrik.

DAFTAR PUSTAKA

Achsa, A., Destiningsih, R., Verawati, D. M., & Hutajulu, D. M. (2022). Pemetaan Potensi Komoditas Pangan Di Pulau Jawa. *SEPA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, *19*(1), 82. https://doi.org/10.20961/sepa.v19i1.53642

Andhini, N. F. (2019). Statistik Pertanian Organik Indonesia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.

Apriyanti, D., Rosayanti, F. S., Gayatri, M. P., & Pramasha, R. R. (2024). Optimalisasi Metode Waste to Energy Dalam Pengelolaan Limbah Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Akutansi, Manajemen Dan Ekonomi (JAMANE)*, *3*(2), 20–29.

Aulia Wulansari Agustin, Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Potensi Pemanfaatan Biogas Dari Sampah Organik Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, *2*(6), 1109–1116. https://doi.org/10.55123/insologi.v2i6.2841

Baharuddin, M., & Fitriyani, J. (2016). *PRODUKSI BIOETANOL DARI JERAMI PADI (Oryza sativa L .) dan KULIT POHON DAO (Dracontamelon) MELALUI PROSES SAKARIFIKASI DAN FERMENTASI SERENTAK (SFS)*.

Bharti, A., Paritosh, K., Mandla, V. R., Chawade, A., & Vivekanand, V. (2021). Gis application for the estimation of bioenergy potential from agriculture residues: An overview. *Energies*, *14*(4), 1–15. https://doi.org/10.3390/en14040898

Dalmis, I. S., Kayisoglu, B., Tug, S., & Durgut, M. R. (2022). *ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF RICE STRAW GASIFICATION*. *52*(2), 111–117.

Edwin, T., Goembira, F., Irawati, N., Edwin, T., Putra, S. A., & Zikri, A. (2024). Pemanfaatan Limbah Pertanian Menjadi Sumber Energi Pada Kelompok Tani Bukik Gompong Kabupaten Solok. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, *7*(1), 72–79. https://doi.org/10.25077/jhi.v7i1.759

Farhani, I., Sawitri, I., Desi Hariningsih, P., Farida, I., Sumarna, O., & Studi Kimia, P. (2025). Bioetanol dari Limbah Sekam Padi sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, *9*(1), 009–016. https://doi.org/10.30588/jeemm.v9i1.2052

Fitri, H., Gürdil, G. A. K., Demirel, B., Cevher, E. Y., & Roubík, H. (2023). Biomass potential from agricultural residues for energy utilization in West Nusa Tenggara (WNT), Indonesia. *GCB Bioenergy*, *15*(11), 1405–1414. https://doi.org/10.1111/gcbb.13100

Isnaeni, N., & Arista, D. (2024). *Karakteristik limbah pertanian dan dampaknya : Mengapa pengelolaan ramah lingkungan penting ? 1*(2), 67–76.

Isnainiyah, N. S., Nelumbium, T. P., Wijaksana, F. F., Andreas, P., & Nurdian, Y. (2023). Pengolahan Limbah Jerami Padi menjadi Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah di Desa Tegal Mijin Bondowoso. *Abditani: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *6*(1), 48–57.

Karaca, C., Kağan Gürdil, G. A., & Ozturk, H. H. (2017). The Biomass Energy Potential from Agricultural Production in the Black Sea Region of Turkey. *ICOEST 3rd International Conference on Environmental Science and Technology*, *October*.

https://www.researchgate.net/publication/322118189_The_Biomass_Energy_Potential_from_Agricultural_Production_in_the_Black_Sea_Region_of_Turkey

Kasmaniar, Yana, S., Nelly, Fitriliana, Susanti, Hanum, F., & Rahmatullah, A. (2023). Pengembangan Energi Terbarukan Biomassa dari Sumber Pertanian, Perkebunan dan Hasil Hutan : Kajian Pengembangan dan Kendalanya. *Jurnal Serambi Engineering*, *VIII*(1), 4957–4964.

Kusuma, H. S., Az-Zahra, K. D., Saputri, R. W., Utomo, M. D. P., Jaya, D. E. C., Amenaghawon, A. N., & Darmokoesoemo, H. (2024). Unlocking the potential of agricultural waste as biochar for sustainable biodiesel production: A comprehensive review. *Bioresource Technology Reports*, *26*(April), 101848. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101848

Massarelli, C., Losacco, D., Tumolo, M., Campanale, C., & Uricchio, V. F. (2021). Protection of water resources from agriculture pollution: An integrated methodological approach for the nitrates directive 91–676-eec implementation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(24). https://doi.org/10.3390/ijerph182413323

Mondal, D., Sarkar, S. De, Sarkar, P., & Chatterjee, D. (2025). *Effects of Rice Straw Burning on Soil Health and Economy*. *6*(3), 163–168.

Pujotomo, I. (2017). Potensi Pemanfaatan Biomassa Sekam Padi Untuk Pembangkit Listrik Melalui Teknologi Gasifikasi. *Energi & Kelistrikan*, *9*(2), 1–23.

Rahayu, S. M. (2021). Penyuluhan Pemanfaatan Sampah Daun dan Limbah Pertanian Menjadi Briket Biorang sebagai Sumber Energi Terbaru Ramah Lingkungan. *Jurnal Abdidas*, *2*(4), 936–943. https://doi.org/10.31004/abdidas.v2i4.396

Safty, A. El. (2020). *Environmental and Health Impact of Open Burning Rice Straw Environmental and Health Impact of Open Burning Rice Straw (Review Article)*. *December*. https://doi.org/10.21608/ejom.2020.118349

Seminar, P., Indonesia, N., Judijanto, L., & Airlangga, U. (2025). *Pengelolaan limbah pertanian sebagai sumber energi terbarukan*. *3*(2), 61–70.

Setyawira, M. R. K., Wijayanto, D. S., & Rohman, N. (2023). Pirolisis Campuran Biomassa Limbah Sekam Padi Dan Limbah Plastik Low Density Polyethylene Menggunakan Kompor Biomassa. *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, *5*(4), 245. https://doi.org/10.20961/nozel.v5i4.76084

Tjiwidjaja, H., & Salima, R. (2023). *Dampak Energi Fosil Terhadap Perubahan Iklim Dan Solusi Berbasis Energi Hijau*. *2*(2), 166–172.

Wislim, T., Solfema, S., & Putri, L. D. (2025). *Peningkatan Produktivitas dan Pendapatan Masyarakat Melalui Pengelolahan Limbah Pertanian*. *3*.

Yanti, R. N. (2023). Pemanfaatan Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, *10*(1), 7. https://doi.org/10.31258/dli.10.1.p.7-11

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Total Limbah

1. Total Limbah Padi Provinsi Banten

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Banten								
1	Kota Tangerang	17044	10,379	17033,324	2708	1861	178	2039
2	Kota Tangerang Selatan	1630	10,339	1619,776	0	0	0	0
3	Kota Serang	34724	0	34723,981	58899	40480	3864	44344
4	Kota Cilegon	8804	0	8803,833	9600	6598	630	7228
5	Serang	108316	0	108315,806	409150	281201	26840	308041
6	Pandeglang	83922	0	83921,549	414576	284930	27196	312126
7	Tangerang	73290	10,379	73279,276	298678	205275	19593	224869
8	Lebak	115409	0	115408,662	357013	245368	23420	268788

2. Total Limbah Padi Provinsi DKI Jakarta

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi DKI Jakarta								
1	Kepulauan Seribu	3571,44	0	3571,438	0	0	0	0

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi DKI Jakarta								
2	Kota Jakarta Barat	4772,59	10,379	4762,214	109	75	7	82
3	Kota Jakarta Pusat	1689,51	0	1689,507	0	0	0	0
4	Kota Jakarta Selatan	1640,82	10,379	1630,437	0	0	0	0
5	Kota Jakarta Timur	1898,24	0	1898,238	109	75	7	82
6	Kota Jakarta Utara	6768,77	10,379	6758,389	1320	907	87	994

3. Total Limbah Provinsi Jawa Barat

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Barat								
1	Bogor	191504,2	95752,092	95752,092	299676	205961	19659	225620
2	Sukabumi	68574,17	7000	61574,171	466836	320847	30624	351471
3	Cianjur	84095,82	26488,225	57607,597	630848	433569	41384	474953
4	Bandung	78808,57	49354,173	29454,4	334189	229681	21923	251604
5	Garut	86380,21	35847,364	50532,849	454938	312669	29844	342513
6	Tasikmalaya	54515,26	30210,354	24304,902	353415	242895	23184	266079
7	Ciamis	88979	41539,175	47439,822	236248	162369	15498	177867
8	Kuningan	72418,9	16201,115	56217,785	223428	153557	14657	168214
9	Cirebon	117949	4504,651	113444,319	510632	350947	33497	384445
10	Majalengka	120197,2	104299,33	15897,853	484086	332702	31756	364458

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Barat								
11	Sumedang	92512,7	77272,375	15240,326	271869	186850	17835	204685
12	Indramayu	129932,9	10585,885	119347,022	1399352	961747	91797	1053544
13	Subang	171725,8	17837,905	153887,934	968941	665934	63563	729497
14	Purwakarta	54813,01	19002,995	35810,016	180397	123983	11834	135817
15	Karawang	175575,1	7257,101	168318,029	1041531	715823	68324	784148
16	Bekasi	121842,6	342,103	121500,483	416477	286236	27321	313557
17	Bandung Barat	52872,84	25582,507	27290,33	148803	102269	9761	112031
18	Pangandaran	60763,91	17262,417	43501,496	118188	81229	7753	88982
19	Kota Bogor	15179,12	0	15179,12	150	103	10	113
20	Kota Sukabumi	10191,81	0	10191,808	13693	9411	898	10309
21	Kota Bandung	14046,1	970,46	13075,635	6548	4500	430	4930
22	Kota Cirebon	11252,57	316,161	10936,404	638	439	42	481
23	Kota Bekasi	13961,22	0	13961,221	1212	833	79	912
24	Kota Depok	2654,166	0	2654,166	33	22	2	25
25	Kota Cimahi	6906	359,156	6546,844	435	299	29	328
26	Kota Tasikmalaya	20478,12	7626,806	12851,314	35404	24332	2322	26655
27	Kota Bnajar	33024,63	23250,158	9774,471	28914	19872	1897	21769

4. Total Limbah Provinsi Jawa Tengah

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Tengah								
1	Cilacap	126584,9	8725	117860	651.136	447513	42715	490227
2	Banyumas	81956,63	6855	75102	238.181	163697	15625	179322
3	Purbalingga	54718,15	6264	48454	138.436	95144	9081	104226
4	Banjarnegara	92037,2	18549	73489	103.082	70847	6762	77609
5	Kebumen	79170,21	62653,866	16516,348	374547	257419	24570	281989
6	Purworejo	55960,76	13091,976	42868,779	279478	192080	18334	210413
7	Wonosobo	71074	12677,811	58396,185	59488	40885	3902	44788
8	Magelang	63549,43	21723,745	41825,683	151779	104315	9957	114272
9	Boyolali	83849,35	13743,848	70105,503	279954	192406	18365	210771
10	Klaten	78180,09	320,194	77859,894	304871	209532	20000	229531
11	Sukoharjo	82845,13	4755,623	78089,51	319661	219697	20970	240667
12	Wonogiri	129879,1	42057,33	87821,818	289708	199110	19005	218115
13	Karanganyar	108398,1	6498,307	101899,795	259568	178396	17028	195424
14	Sragen	105126,6	12107,871	93018,751	732281	503282	48038	551320
15	Grobogan	191570,3	44848,678	146721,604	735187	505279	48228	553508
16	Blora	188487	53169,345	135317,648	424411	291689	27841	319530
17	Rembang	66951,03	22,917	66928,117	137256	94334	9004	103338
18	Pati	119384,7	37,191	119347,489	527355	362441	34595	397035
19	Kudus	56257,23	21,538	56235,696	177192	121781	11624	133404
20	Jepara	56792,52	6,298	56786,222	202256	139006	13268	152274

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Tengah								
21	Demak	123179,4	26884,959	96294,393	595406	409211	39059	448269
22	Semarang	62261,44	32215,413	30046,031	154736	106347	10151	116498
23	Temanggung	78547,66	16040,823	62506,839	50814	34923	3333	38257
24	Kendal	58557,26	8518,441	50038,814	175081	120330	11485	131815
25	Batang	62480,31	4081,494	58398,814	139925	96168	9179	105347
26	Pekalongan	75291,61	2833,554	72458,057	205077	140945	13453	154398
27	PeMalang	71818,73	3256,177	68562,557	421329	289571	27639	317210
28	Tegal	67488,35	3310,772	64177,576	312720	214926	20514	235441
29	Brebes	64627,38	99,737	64527,643	424363	291656	27838	319494
30	Kota Magelang	14900,05	4295,573	10604,478	529	363	35	398
31	Kota Surakarta	7002,114	3,998	6998,116	164	113	11	123
32	Kota Salatiga	18670,94	10804,742	7866,195	4013	2758	263	3021
33	Kota Semarang	29932,22	20437,019	9495,196	14210	9766	932	10698
34	Kota Pekalongan	7117,587	9,84	7107,747	8804	6051	578	6628
35	Kota Tegal	19356,5	2896,832	16459,666	3543	2435	232	2667

5. Total Limbah Provinsi DIY

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi DI. Yogyakarta								
1	Kulon Progo	39399,54	34470,429	4929,107	91842	63121	6025	69146
2	Bantul	34645,1	11,881	34633,215	114798	78898	7531	86429
3	Gunung Kidul	59380,93	5346,108	54034,823	140150	96322	9194	105516
4	Sleman	50469,82	1868,795	48601,021	105982	72839	6952	79792
5	Kota Yogyakarta	10344,74	0	10344,739	58	40	4	44

6. Total Limbah Provinsi Jawa Timur

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Timur								
1	Pacitan	49828	25704,028	24124,284	69650	47869	4569	52438
2	Ponorogo	77973	37700,936	40272,075	379245	260647	24878	285526
3	Trenggalek	39610	18556,545	21053,541	104859	72067	6879	78946
4	Tulungagung	51420	38664,508	12755,292	214820	147641	14092	161734
5	Blitar	71329	13130,379	58198,623	171154	117631	11228	128858
6	Kediri	135678	18764,701	116912,971	174072	119636	11419	131055
7	Malang	63290	43099,948	20189,803	254794	175115	16714	191829
8	Lumajang	41719	4233,006	37485,809	257121	176714	16867	193581
9	Jember	79058	8654,741	70403,241	623265	428357	40886	469244

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Timur								
10	Banyuwangi	66059	523,871	65535,281	395631	271910	25953	297863
11	Bondowoso	31944	18190,122	13753,477	259478	178334	17022	195356
12	Situbondo	45105	33855,875	11249,322	162237	111502	10643	122145
13	Probolinggo	27337	12211,929	15125,288	177607	122066	11651	133717
14	Pasuruan	53159	13418,1	39741	277354	190620	18194	208814
15	Sidoarjo	54334	52470,743	1862,94	208986	143632	13709	157341
16	Mojokerto	64041	54090,719	9949,952	285714	196366	18743	215108
17	Jombang	91925	10728	81197,487	342291	235250	22454	257704
18	Nganjuk	92193	8756,931	83435,902	404975	278331	26566	304898
19	Madiun	69466	55980,706	13485,439	437583	300742	28705	329447
20	Magetan	64390	18535,973	45853,947	272246	187109	17859	204969
21	Ngawi	89204	6140,574	83063,233	765704	526253	50230	576483
22	Bojonegoro	214799	26887,769	187911,234	710527	488331	46611	534942
23	Tuban	132762	12169,808	120591,855	523067	359494	34313	393807
24	Lamongan	134027	7852,89	126173,753	776952	533984	50968	584952
25	Gresik	85743	9459,903	76283,019	328959	226087	21580	247667
26	Bangkalan	90092	76916,09	13175,664	189161	130007	12409	142416
27	Sampang	82866	7657,816	75207,841	145931	100295	9573	109869
28	Pamekasan	34066	25433,715	8631,797	101501	69760	6658	76418
29	Sumenep	28553	7762,6	20790,097	189500	130239	12431	142671
30	Kota Kediri	29913	1292,177	28620,538	8393	5768	551	6319

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	luas sawah tadah hujan (Ha)	luas sawah irigasi(Ha)	hasil produksi/Ha atau AAP (ton)	limbah (ton) AAR		total limbah (TON)
						limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)	
Provinsi Jawa Timur								
31	Kota Blitar	9040	133,752	8906,116	3722	2558	244	2802
32	Kota Malang	16897	16650,43	246,172	10496	7214	689	7902
33	Kota Probolinggo	4588	2760,55	1827,861	8494	5838	557	6395
34	Kota Pasuruan	10871	92,97	10778,181	8665	5955	568	6524
35	Kota Mojokerto	4505	0	4504,673	3450	2371	226	2597
36	Kota Madiun	21974	17459,462	4514,174	12610	8667	827	9494
37	Kota Surabaya	22444	1391,541	21052,705	7340	5045	482	5526
38	Kota Batu	11288	6409,441	4878,592	3659	2515	240	2755

Lampiran 2. Total Konversi Total Limbah Menjadi Energi

1. Konversi Limbah Provinsi Banten

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Banten							
1	Kota Tangerang	1861	178	16,7	13	31081	2309
2	Kota Tangerang Selatan	0	0	16,7	13	0	0
3	Kota Serang	40480	3864	16,7	13	676018	50229
4	Kota Cilegon	6598	630	16,7	13	110185	8187

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Banten							
5	Serang	281201	26840	16,7	13	4696050	348923
6	Pandeglang	284930	27196	16,7	13	4758332	353551
7	Tangerang	205275	19593	16,7	13	3428099	254713
8	Lebak	245368	23420	16,7	13	4097644	304461

2. Konversi Limbah Provinsi DKI Jakarta

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi DKI Jakarta							
1	Kepulauan Seribu	0	0	16,7	13	0	0
2	Kota Jakarta Barat	75	7	16,7	13	1247	93
3	Kota Jakarta Pusat	0	0	16,7	13	0	0
4	Kota Jakarta Selatan	0	0	16,7	13	0	0
5	Kota Jakarta Timur	75	7	16,7	13	1247	93
6	Kota Jakarta Utara	907	87	16,7	13	15146	1125

3. Konversi Limbah Provinsi Jawa Barat

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Barat							
1	Bogor	205961	19659	16,7	13	3439552	255564
2	Sukabumi	320847	30624	16,7	13	5358145	398118
3	Cianjur	433569	41384	16,7	13	7240603	537987
4	Bandung	229681	21923	16,7	13	3835675	284996
5	Garut	312669	29844	16,7	13	5221580	387971
6	Tasikmalaya	242895	23184	16,7	13	4056348	301392
7	Ciamis	162369	15498	16,7	13	2711557	201472
8	Kuningan	153557	14657	16,7	13	2564409	190539
9	Cirebon	350947	33497	16,7	13	5860818	435467
10	Majalengka	332702	31756	16,7	13	5556130	412828
11	Sumedang	186850	17835	16,7	13	3120397	231850
12	Indramayu	961747	91797	16,7	13	16061170	1193367
13	Subang	665934	63563	16,7	13	11121099	826313
14	Purwakarta	123983	11834	16,7	13	2070521	153843
15	Karawang	715823	68324	16,7	13	11954251	888218
16	Bekasi	286236	27321	16,7	13	4780146	355172
17	Bandung Barat	102269	9761	16,7	13	1707898	126899
18	Pangandaran	81229	7753	16,7	13	1356517	100791
19	Kota Bogor	103	10	16,7	13	1726	128

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Barat							
20	Kota Sukabumi	9411	898	16,7	13	157164	11677
21	Kota Bandung	4500	430	16,7	13	75152	5584
22	Kota Cirebon	439	42	16,7	13	7325	544
23	Kota Bekasi	833	79	16,7	13	13907	1033
24	Kota Depok	22	2	16,7	13	376	28
25	Kota Cimahi	299	29	16,7	13	4997	371
26	Kota Tasikmalaya	24332	2322	16,7	13	406347	30192
27	Kota Bnajar	19872	1897	16,7	13	331860	24658

4. Konversi Limbah Provinsi Jawa Tengah

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Tengah							
1	Cilacap	447513	42715	16,7	13	7473460	555289
2	Banyumas	163697	15625	16,7	13	2733743	203121
3	Purbalingga	95144	9081	16,7	13	1588909	118058
4	Banjarnegara	70847	6762	16,7	13	1183137	87909
5	Kebumen	257419	24570	16,7	13	4298893	319414

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Tengah							
6	Purworejo	192080	18334	16,7	13	3207730	238339
7	Wonosobo	40885	3902	16,7	13	682783	50732
8	Magelang	104315	9957	16,7	13	1742058	129437
9	Boyolali	192406	18365	16,7	13	3213188	238744
10	Klaten	209532	20000	16,7	13	3499179	259994
11	Sukoharjo	219697	20970	16,7	13	3668938	272607
12	Wonogiri	199110	19005	16,7	13	3325144	247063
13	Karanganyar	178396	17028	16,7	13	2979211	221360
14	Sragen	503282	48038	16,7	13	8404815	624490
15	Grobogan	505279	48228	16,7	13	8438166	626968
16	Blora	291689	27841	16,7	13	4871207	361938
17	Rembang	94334	9004	16,7	13	1575371	117052
18	Pati	362441	34595	16,7	13	6052759	449729
19	Kudus	121781	11624	16,7	13	2033735	151109
20	Jepara	139006	13268	16,7	13	2321408	172484
21	Demak	409211	39059	16,7	13	6833816	507762
22	Semarang	106347	10151	16,7	13	1775998	131959
23	Temanggung	34923	3333	16,7	13	583217	43334
24	Kendal	120330	11485	16,7	13	2009510	149309
25	Batang	96168	9179	16,7	13	1605999	119328
26	Pekalongan	140945	13453	16,7	13	2353786	174890

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Tengah							
27	PeMalang	289571	27639	16,7	13	4835840	359310
28	Tegal	214926	20514	16,7	13	3589270	266688
29	Brebes	291656	27838	16,7	13	4870653	361896
30	Kota Magelang	363	35	16,7	13	6069	451
31	Kota Surakarta	113	11	16,7	13	1880	140
32	Kota Salatiga	2758	263	16,7	13	46055	3422
33	Kota Semarang	9766	932	16,7	13	163092	12118
34	Kota Pekalongan	6051	578	16,7	13	101046	7508
35	Kota Tegal	2435	232	16,7	13	40661	3021

5. Konversi Limbah Provinsi DIY

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi DI. Yogyakarta							
1	Kulon Progo	63121	6025	16,7	13	1054124	78323
2	Bantul	78898	7531	16,7	13	1317603	97900
3	Gunung Kidul	96322	9194	16,7	13	1608582	119520
4	Sleman	72839	6952	16,7	13	1216416	90381

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi DI. Yogyakarta							
5	Kota Yogyakarta	40	4	16,7	13	669	50

6. Konversi Limbah Provinsi Jawa Timur

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Timur							
1	Pacitan	47869	4569	16,7	13	799413	59398
2	Ponorogo	260647	24878	16,7	13	4352812	323420
3	Trenggalek	72067	6879	16,7	13	1203527	89424
4	Tulungagung	147641	14092	16,7	13	2465613	183198
5	Blitar	117631	11228	16,7	13	1964433	145960
6	Kediri	119636	11419	16,7	13	1997925	148449
7	Malang	175115	16714	16,7	13	2924414	217288
8	Lumajang	176714	16867	16,7	13	2951122	219272
9	Jember	428357	40886	16,7	13	7153570	531520
10	Banyuwangi	271910	25953	16,7	13	4540889	337394
11	Bondowoso	178334	17022	16,7	13	2978175	221283
12	Situbondo	111502	10643	16,7	13	1862085	138356

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Timur							
13	Probolinggo	122066	11651	16,7	13	2038502	151464
14	Pasuruan	190620	18194	16,7	13	3183352	236527
15	Sidoarjo	143632	13709	16,7	13	2398653	178223
16	Mojokerto	196366	18743	16,7	13	3279304	243657
17	Jombang	235250	22454	16,7	13	3928675	291906
18	Nganjuk	278331	26566	16,7	13	4648132	345363
19	Madiun	300742	28705	16,7	13	5022392	373171
20	Magetan	187109	17859	16,7	13	3124725	232171
21	Ngawi	526253	50230	16,7	13	8788420	652992
22	Bojonegoro	488331	46611	16,7	13	8155128	605937
23	Tuban	359494	34313	16,7	13	6003547	446072
24	Lamongan	533984	50968	16,7	13	8917526	662585
25	Gresik	226087	21580	16,7	13	3775652	280536
26	Bangkalan	130007	12409	16,7	13	2171110	161317
27	Sampang	100295	9573	16,7	13	1674934	124450
28	Pamekasan	69760	6658	16,7	13	1164985	86560
29	Sumenep	130239	12431	16,7	13	2174997	161605
30	Kota Kediri	5768	551	16,7	13	96330	7157
31	Kota Blitar	2558	244	16,7	13	42721	3174
32	Kota Malang	7214	689	16,7	13	120469	8951
33	Kota Probolinggo	5838	557	16,7	13	97491	7244

No	Kab/Kota	limbah (ton) AAR		LHV (MJkg) Jerami	LHV (MJkg) sekam	konversi limbah jerami ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)	konversi limbah sekam ke energi dengan rumus THV=AAR×LHV (MJ/ton)
		limbah jerami (ton)	limbah sekam (ton)				
Provinsi Jawa Timur							
34	Kota Pasuruan	5955	568	16,7	13	99453	7390
35	Kota Mojokerto	2371	226	16,7	13	39593	2942
36	Kota Madiun	8667	827	16,7	13	144732	10754
37	Kota Surabaya	5045	482	16,7	13	84245	6260
38	Kota Batu	2515	240	16,7	13	42001	3121

Lampiran 3. Total Potensi Biomassa Tiap Kabupaten dan Kota di Pulau Jawa

1. Potensi Biomassa Provinsi Banten

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Banten						
1	Kota Tangerang	17044	2708	0,159	0,687	1861
2	Kota Tangerang Selatan	1630	0	0,000	0,000	0
3	Kota Serang	34724	58899	1,696	0,687	40480
4	Kota Cilegon	8804	9600	1,090	0,687	6598
5	Serang	108316	409150	3,777	0,687	281201
6	Pandeglang	83922	414576	4,940	0,687	284930

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Banten						
7	Tangerang	73290	298678	4,075	0,687	205275
8	Lebak	115409	357013	3,093	0,687	245368

2. Potensi Biomassa Provinsi DKI Jakarta

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi DKI Jakarta						
1	Kepulauan Seribu	3571	0	0,000	0,000	0
2	Kota Jakarta Barat	4773	109	0,023	0,687	75
3	Kota Jakarta Pusat	1690	0	0,000	0,000	0
4	Kota Jakarta Selatan	1641	0	0,000	0,000	0
5	Kota Jakarta Timur	1898	109	0,057	0,687	75
6	Kota Jakarta Utara	6769	1320	0,195	0,687	907

3. Potensi Biomassa Provinsi Jawa Barat

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Barat						
1	Bogor	191504	299676	1,565	0,687	205961
2	Sukabumi	68574	466836	6,808	0,687	320847
3	Cianjur	84096	630848	7,502	0,687	433569
4	Bandung	78809	334189	4,241	0,687	229681
5	Garut	86380	454938	5,267	0,687	312669
6	Tasikmalaya	54515	353415	6,483	0,687	242895
7	Ciamis	88979	236248	2,655	0,687	162369
8	Kuningan	72419	223428	3,085	0,687	153557
9	Cirebon	117949	510632	4,329	0,687	350947
10	Majalengka	120197	484086	4,027	0,687	332702
11	Sumedang	92513	271869	2,939	0,687	186850
12	Indramayu	129933	1399352	10,770	0,687	961747
13	Subang	171726	968941	5,642	0,687	665934
14	Purwakarta	54813	180397	3,291	0,687	123983
15	Karawang	175575	1041531	5,932	0,687	715823
16	Bekasi	121843	416477	3,418	0,687	286236
17	Bandung Barat	52873	148803	2,814	0,687	102269
18	Pangandaran	60764	118188	1,945	0,687	81229
19	Kota Bogor	15179	150	0,010	0,687	103
20	Kota Sukabumi	10192	13693	1,344	0,687	9411

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Barat						
21	Kota Bandung	14046	6548	0,466	0,687	4500
22	Kota Cirebon	11253	638	0,057	0,687	439
23	Kota Bekasi	13961	1212	0,087	0,687	833
24	Kota Depok	2654	33	0,012	0,687	22
25	Kota Cimahi	6906	435	0,063	0,687	299
26	Kota Tasikmalaya	20478	35404	1,729	0,687	24332
27	Kota Bnajar	33025	28914	0,876	0,687	19872

4. Potensi Biomassa Provinsi Jawa Tengah

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Tengah						
1	Cilacap	126585	651136	5,144	0,687	447513
2	Banyumas	81957	238181	2,906	0,687	163697
3	Purbalingga	54718	138436	2,530	0,687	95144
4	Banjarnegara	92037	103082	1,120	0,687	70847
5	Kebumen	79170	374547	4,731	0,687	257419
6	Purworejo	55961	279478	4,994	0,687	192080

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Tengah						
7	Wonosobo	71074	59488	0,837	0,687	40885
8	Magelang	63549	151779	2,388	0,687	104315
9	Boyolali	83849	279954	3,339	0,687	192406
10	Klaten	78180	304871	3,900	0,687	209532
11	Sukoharjo	82845	319661	3,859	0,687	219697
12	Wonogiri	129879	289708	2,231	0,687	199110
13	Karanganyar	108398	259568	2,395	0,687	178396
14	Sragen	105127	732281	6,966	0,687	503282
15	Grobogan	191570	735187	3,838	0,687	505279
16	Blora	188487	424411	2,252	0,687	291689
17	Rembang	66951	137256	2,050	0,687	94334
18	Pati	119385	527355	4,417	0,687	362441
19	Kudus	56257	177192	3,150	0,687	121781
20	Jepara	56793	202256	3,561	0,687	139006
21	Demak	123179	595406	4,834	0,687	409211
22	Semarang	62261	154736	2,485	0,687	106347
23	Temanggung	78548	50814	0,647	0,687	34923
24	Kendal	58557	175081	2,990	0,687	120330
25	Batang	62480	139925	2,240	0,687	96168
26	Pekalongan	75292	205077	2,724	0,687	140945
27	PeMalang	71819	421329	5,867	0,687	289571

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Tengah						
28	Tegal	67488	312720	4,634	0,687	214926
29	Brebes	64627	424363	6,566	0,687	291656
30	Kota Magelang	14900	529	0,035	0,687	363
31	Kota Surakarta	7002	164	0,023	0,687	113
32	Kota Salatiga	18671	4013	0,215	0,687	2758
33	Kota Semarang	29932	14210	0,475	0,687	9766
34	Kota Pekalongan	7118	8804	1,237	0,687	6051
35	Kota Tegal	19356	3543	0,183	0,687	2435

5. Potensi Biomassa Provinsi DIY

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi DI. Yogyakarta						
1	Kulon Progo	39400	91842	2,331	0,687	63121
2	Bantul	34645	114798	3,314	0,687	78898
3	Gunung Kidul	59381	140150	2,360	0,687	96322
4	Sleman	50470	105982	2,100	0,687	72839
5	Kota Yogyakarta	10345	58	0,006	0,687	40

6. Potensi Biomassa Provinsi Jawa Timur

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Timur						
1	Pacitan	49828	69650	1,398	0,687	47869
2	Ponorogo	77973	379245	4,864	0,687	260647
3	Trenggalek	39610	104859	2,647	0,687	72067
4	Tulungagung	51420	214820	4,178	0,687	147641
5	Blitar	71329	171154	2,400	0,687	117631
6	Kediri	135678	174072	1,283	0,687	119636
7	Malang	63290	254794	4,026	0,687	175115
8	Lumajang	41719	257121	6,163	0,687	176714
9	Jember	79058	623265	7,884	0,687	428357
10	Banyuwangi	66059	395631	5,989	0,687	271910
11	Bondowoso	31944	259478	8,123	0,687	178334
12	Situbondo	45105	162237	3,597	0,687	111502
13	Probolinggo	27337	177607	6,497	0,687	122066
14	Pasuruan	53159	277354	5,217	0,687	190620
15	Sidoarjo	54334	208986	3,846	0,687	143632
16	Mojokerto	64041	285714	4,461	0,687	196366
17	Jombang	91925	342291	3,724	0,687	235250
18	Nganjuk	92193	404975	4,393	0,687	278331
19	Madiun	69466	437583	6,299	0,687	300742

No	Kab/Kota	Luas area sawah (Ha)	hasil produksi atau AAP (ton)	produksi(ton/Ha)	koefisien limbah	potensi limbah untuk biomassa (ton)
Provinsi Jawa Timur						
20	Magetan	64390	272246	4,228	0,687	187109
21	Ngawi	89204	765704	8,584	0,687	526253
22	Bojonegoro	214799	710527	3,308	0,687	488331
23	Tuban	132762	523067	3,940	0,687	359494
24	Lamongan	134027	776952	5,797	0,687	533984
25	Gresik	85743	328959	3,837	0,687	226087
26	Bangkalan	90092	189161	2,100	0,687	130007
27	Sampang	82866	145931	1,761	0,687	100295
28	Pamekasan	34066	101501	2,980	0,687	69760
29	Sumenep	28553	189500	6,637	0,687	130239
30	Kota Kediri	29913	8393	0,281	0,687	5768
31	Kota Blitar	9040	3722	0,412	0,687	2558
32	Kota Malang	16897	10496	0,621	0,687	7214
33	Kota Probolinggo	4588	8494	1,851	0,687	5838
34	Kota Pasuruan	10871	8665	0,797	0,687	5955
35	Kota Mojokerto	4505	3450	0,766	0,687	2371
36	Kota Madiun	21974	12610	0,574	0,687	8667
37	Kota Surabaya	22444	7340	0,327	0,687	5045
38	Kota Batu	11288	3659	0,324	0,687	2515

Lampiran 4. Perhitungan Kerapatan sungai Dan Kerapatan jalan

1. Kerapatan sungai dan Jalan Provinsi Banten

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Banten							
1	kota tangerang	1161,92	856	1,36	12269	856	14
2	kota tangerang selatan	1144,438	574	2,00	9710	574	17
3	kota serang	2164,097	930	2,33	4680	930	5
4	kota cilegon	1221,959	476	2,56	2129	476	4
5	kab. Serang	7294,901	3012	2,42	12623	3012	4
6	kab. Pandeglang	12.377	3949	3,13	8001	3949	2
7	kab. Tangerang	3433,126	1960	1,75	18895	1960	10
8	kab. Lebak	23958,237	5151	4,65	12642	5151	2

2. Kerapatan sungai dan Jalan Provinsi DKI Jakarta

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jakarta							
1	kab. Kepulauan seribu	227,115	166	1,37	1166	166	7
2	kota jakarta barat	713,122	515	1,39	7686	515	15
3	kota jakarta pusat	699,253	382	1,83	5930	382	16
4	kota jakarta selatan	1406,391	765	1,84	12793	765	17
5	kota jakarta timur	1418,76	765	1,85	10100	765	13
6	kota jakarta utara	1346,763	781	1,72	11394	781	15

3. Kerapatan sungai dan Jalan Provinsi Jawa Barat

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jawa Barat							
1	Bogor	33872,153	5733	5,91	25192	5733	4
2	Sukabumi	47841,847	5750	8,32	14025	5750	2
3	Cianjur	41365,736	6006	6,89	14349	6006	2
4	Bandung	22782,894	4200	5,42	13101	4200	3
5	Garut	24774,036	5001	4,95	11350	5001	2
6	Tasikmalaya	5681,407	2700	2,10	5001	2700	2
7	Ciamis	14040,307	3435	4,09	8546	3435	2
8	Kuningan	11295,999	2477	4,56	5512	2477	2
9	Cirebon	10014,369	2527	3,96	8453	2527	3

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jawa Barat							
10	Majalengka	12636,844	2865	4,41	7918	2865	3
11	Sumedang	16445	3438	4,78	8881	3438	3
12	Indramayu	4100,089	3108	1,32	5921	3108	2
13	Subang	15622,554	3648	4,28	9385	3648	3
14	Purwakarta	9643,782	2293	4,21	5395	2293	2
15	Karawang	12074,68	3400	3,55	6676	3400	2
16	Bekasi	8818,432	2800	3,15	8446	2800	3
17	Bandung Barat	14533,826	2674	5,44	7793	2674	3
18	Pangandaran	10799,764	2434	4,44	4909	2434	2
19	Kota Bogor	3431,416	573	5,99	3567	573	6
20	Kota Sukabumi	1311,167	382	3,43	1401	382	4
21	Kota Bandung	2137,155	764	2,80	4602	764	6
22	Kota Cirebon	590,81	288	2,05	1018	288	4
23	Kota Bekasi	2272,276	956	2,38	4414	956	5
24	Kota Depok	2747,716	1147	2,40	4847	1147	4
25	Kota Cimahi	1056,891	382	2,77	2523	382	7
26	Kota Tasikmalaya	2997,624	763	3,93	2405	763	3
27	Kota Banjar	2153,577	1145	1,88	2773	1145	2

4. Kerapatan sungai dan Jalan Provinsi Jawa Tengah

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jawa Tengah							
1	cilacap	10269,761	4029,17	2,55	8716	4029	2
2	banyumas	7658,165	2978,84	2,57	7556	2979	3
3	purbalingga	5153,873	2098,92	2,46	5132	2099	2
4	banjarnegara	8285,062	3052,42	2,71	7453	3052	2
5	kebumen	4900,849	2338,78	2,10	6526	2339	3
6	purworejo	4432,663	2064,56	2,15	7416	2065	4
7	wonosobo	7705,515	2289,21	3,37	4974	2289	2
8	magelang	6541,154	2670,18	2,45	7167	2670	3
9	boyolali	6279,539	2861,46	2,19	11714	2861	4
10	klaten	4703,016	2097,16	2,24	14517	2097	7
11	sukoharjo	2881,583	1715,82	1,68	10406	1716	6
12	wonogiri	4589,518	3886,93	1,18	13862	3887	4
13	karanganyar	3368,97	2478,89	1,36	12056	2479	5
14	sragen	2721,369	2289,20	1,19	9399	2289	4
15	grobogan	7659,256	4190,45	1,83	11723	4190	3
16	blora	5221,575	3817,96	1,37	10291	3818	3
17	rembang	3949,992	2020,29	1,96	6414	2020	3
18	pati	6312,768	2732,44	2,31	8827	2732	3
19	kudus	3986,056	1528,25	2,61	4910	1528	3
20	jepara	4774,633	1823,67	2,62	6270	1824	3
21	demak	5270,393	2314,51	2,28	8740	2315	4
22	semarang	6388,898	2862,51	2,23	8941	2863	3

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jawa Tengah							
23	temanggung	7587,465	2480,74	3,06	5901	2481	2
24	kendal	5270,289	1966,71	2,68	5728	1967	3
25	batang	4962,876	1787,59	2,78	5119	1788	3
26	pekalongan	6303,776	231,40	27,24	5330	231	23
27	pemalang	5808,024	2251,95	2,58	5036	2252	2
28	tegal	4575,862	1946,83	2,35	5215	1947	3
29	brebes	4715,778	1742,81	2,71	3741	1743	2
30	kota magelang	973,759	381,46	2,55	1274	381	3
31	kota surakarta	265,13	190,70	1,39	1696	191	9
32	kota salatiga	1710,359	763,12	2,24	2643	763	3
33	kota semarang	1864,157	926,06	2,01	4830	926	5
34	kota pekalongan	439,119	213,77	2,05	1186	214	6
35	kota tegal	907,817	510,70	1,78	2674	511	5

5. Kerapatan Sungai dan Jalan Provinsi DIY

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi DI. Yogyakarta							
1	kulon progo	3412,762	1535,95	2,22	9203	1536	6
2	bantul	2656,567	1326,39	2,00	9543	1326	7
3	gunung kidul	3796,81	2687,08	1,41	14458	2687	5

4	sleman	4835,339	1715,70	2,82	11553	1716	7
5	kota yogyakarta	680,424	381,18	1,79	3473	381	9

6. Kerapatan Sungai dan Jalan Provinsi Jawa Timur

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jawa Timur							
1	pacitan	2895,531	2344,13	1,24	6283	2344	3
2	ponorogo	6801,381	3048,03	2,23	8888	3048	3
3	trenggalek	5809,564	2272,33	2,56	6336	2272	3
4	tulungagung	7074,059	2438,64	2,90	8277	2439	3
5	blitar	8145,04	3215,18	2,53	12520	3215	4
6	kediri	7696,735	3621,17	2,13	14717	3621	4
7	malang	13181,037	5464,95	2,41	15232	5465	3
8	lumajang	6469,328	2865,43	2,26	6681	2865	2
9	jember	10752,647	5079,82	2,12	10072	5080	2
10	banyuwangi	9323,075	4781,15	1,95	8979	4781	2
11	bondowoso	8305,873	3048,39	2,72	5112	3048	2
12	situbondo	7853,27	2961,94	2,65	5163	2962	2
13	probolinggo	9692,312	3438,66	2,82	6849	3439	2
14	pasuruan	5895,11	2756,64	2,14	7726	2757	3
15	sidoarjo	3217,28	1784,12	1,80	10088	1784	6
16	mojokerto	5748,263	2669,80	2,15	9980	2670	4
17	jombang	6928,19	3051,36	2,27	10856	3051	4
18	nganjuk	6848,099	3050,76	2,24	9978	3051	3

No	Kab/Kota	panjang sungai (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan sungai(km/km2)	panjang jalan (km)	Luas Kabupaten (km2)	kerapatan jalan (km/km2)
Provinsi Jawa Timur							
19	madiun	5860,875	2860,01	2,05	9912	2860	3
20	magetan	2724,854	2097,16	1,30	8869	2097	4
21	ngawi	3137,396	2861,40	1,10	10803	2861	4
22	bojonegoro	8424,137	4961,98	1,70	13182	4962	3
23	tuban	4336,191	3292,05	1,32	8341	3292	3
24	lamongan	8557,644	3223,14	2,66	9280	3223	3
25	gresik	7369,54	2860,20	2,58	11744	2860	4
26	bangkalan	2552,762	1885,71	1,35	7036	1886	4
27	sampang	3169,264	2015,23	1,57	7468	2015	4
28	pamekasan	2170,738	1467,18	1,48	5834	1467	4
29	sumenep	2367,136	2508,92	0,94	7467	2509	3
30	kota kediri	944,934	571,72	1,65	2309	572	4
31	kota blitar	902,821	380,90	2,37	1986	381	5
32	kota malang	1359,2	762,03	1,78	2946	762	4
33	kota probolinggo	300,254	212,25	1,41	728	212	3
34	kota pasuruan	385,958	372,88	1,04	1247	373	3
35	kota mojokerto	544,957	190,76	2,86	1264	191	7
36	kota madiun	110,603	762,69	0,15	3696	763	5
37	kota surabaya	2182,446	913,97	2,39	5839	914	6
38	kota batu	2605,952	952,90	2,73	2409	953	3

7. variabel untuk korelasi

Kab/Kota	Variabel		
	biomassa (X)	drainage density (Y)	road density (Z)
kota tangerang	1861	0,00	14
kota tangerang selatan	0	2,00	17
kota serang	40480	2,33	5
kota cilegon	6598	2,56	4
kab. Serang	281201	2,42	4
kab. Pandeglang	284930	3,13	2
kab. Tangerang	205275	1,75	10
kab. Lebak	245368	4,65	2
kab. Kepulauan seribu	0	1,37	7
kota jakarta barat	75	1,39	15
kota jakarta pusat	0	1,83	16
kota jakarta selatan	0	1,84	17
kota jakarta timur	75	1,85	13
kota jakarta utara	907	1,72	15
Bogor	205961	5,91	4
Sukabumi	320847	8,32	2
Cianjur	433569	6,89	2
Bandung	229681	5,42	3
Garut	312669	4,95	2

Kab/Kota	Variabel		
	biomassa (X)	drainage density (Y)	road density (Z)
Tasikmalaya	242895	2,10	2
Ciamis	162369	4,09	2
Kuningan	153557	4,56	2
Cirebon	350947	3,96	3
Majalengka	332702	4,41	3
Sumedang	186850	4,78	3
Indramayu	961747	1,32	2
Subang	665934	4,28	3
Purwakarta	123983	4,21	2
Karawang	715823	3,55	2
Bekasi	286236	3,15	3
Bandung Barat	102269	5,44	3
Pangandaran	81229	4,44	2
Kota Bogor	103	5,99	6
Kota Sukabumi	9411	3,43	4
Kota Bandung	4500	2,80	6
Kota Cirebon	439	2,05	4
Kota Bekasi	833	2,38	5
Kota Depok	22	2,40	4
Kota Cimahi	299	2,77	7
Kota Tasikmalaya	24332	3,93	3
Kota Banjar	19872	1,88	2
cilacap	447513	2,55	2

Kab/Kota	Variabel		
	biomassa (X)	drainage density (Y)	road density (Z)
banyumas	163697	2,57	3
purbalingga	95144	2,46	2
banjarnegara	70847	2,71	2
kebumen	257419	2,10	3
purworejo	192080	2,15	4
wonosobo	40885	3,37	2
magelang	104315	2,45	3
boyolali	192406	2,19	4
klaten	209532	2,24	7
sukoharjo	219697	1,68	6
wonogiri	199110	1,18	4
karanganyar	178396	1,36	5
sragen	503282	1,19	4
grobogan	505279	1,83	3
blora	291689	1,37	3
rembang	94334	1,96	3
pati	362441	2,31	3
kudus	121781	2,61	3
jepara	139006	2,62	3
demak	409211	2,28	4
semarang	106347	2,23	3
temanggung	34923	3,06	2
kendal	120330	2,68	3

Kab/Kota	Variabel		
	biomassa (X)	drainage density (Y)	road density (Z)
batang	96168	2,78	3
pekalongan	140945	27,24	23
pemalang	289571	2,58	2
tegal	214926	2,35	3
brebes	291656	2,71	2
kota magelang	363	2,55	3
kota surakarta	113	1,39	9
kota salatiga	2758	2,24	3
kota semarang	9766	2,01	5
kota pekalongan	6051	2,05	6
kota tegal	2435	1,78	5
kulon progo	63121	2,22	6
bantul	78898	2,00	7
gunung kidul	96322	1,41	5
sleman	72839	2,82	7
kota yogyakarta	40	1,79	9
pacitan	47869	1,24	3
ponorogo	260647	2,23	3
trenggalek	72067	2,56	3
tulungagung	147641	2,90	3
blitar	117631	2,53	4
kediri	119636	2,13	4
malang	175115	2,41	3

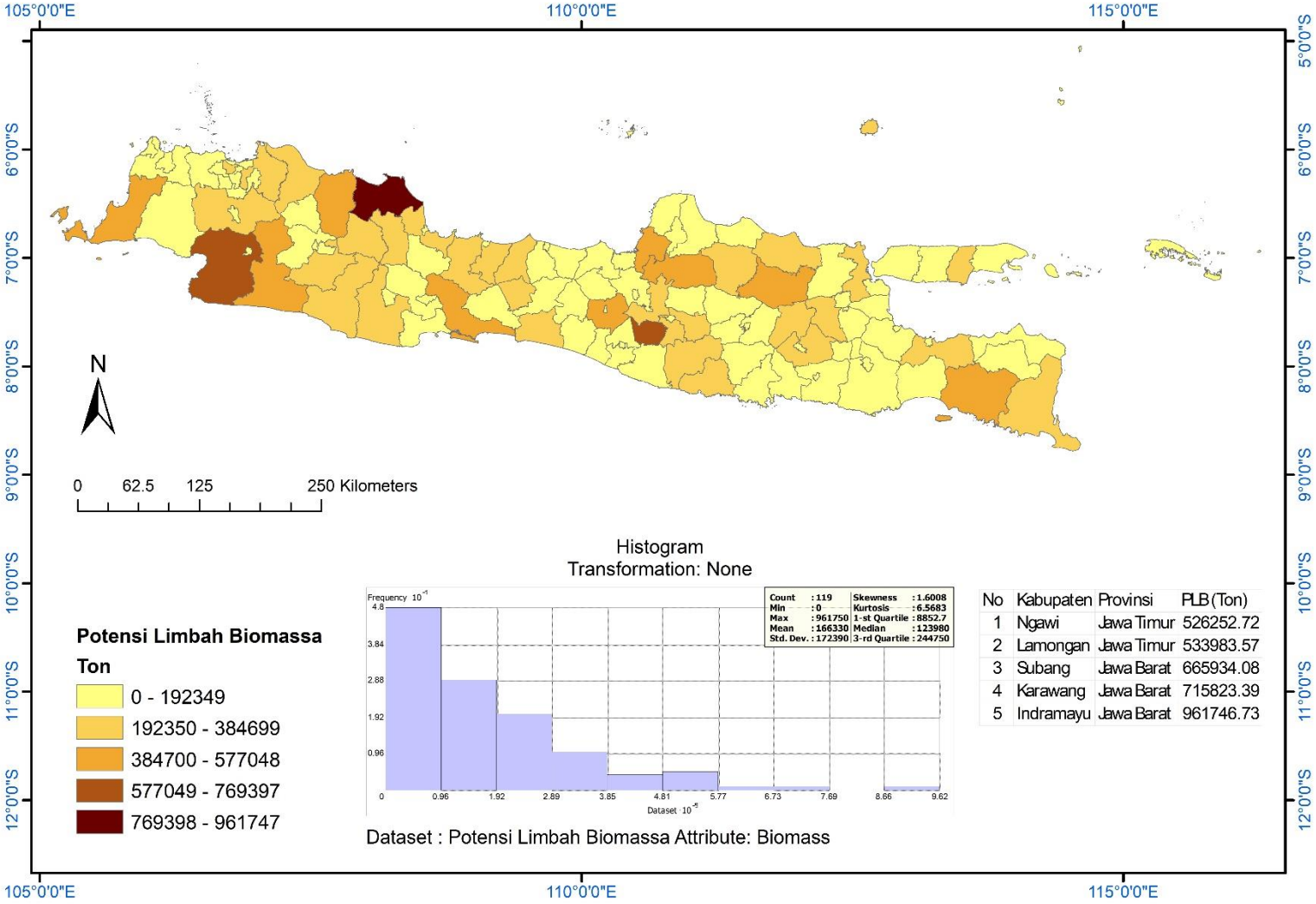
Kab/Kota	Variabel		
	biomassa (X)	drainage density (Y)	road density (Z)
lumajang	176714	2,26	2
jember	428357	2,12	2
banyuwangi	271910	1,95	2
bondowoso	178334	2,72	2
situbondo	111502	2,65	2
probolinggo	122066	2,82	2
pasuruan	190620	2,14	3
sidoarjo	143632	1,80	6
mojokerto	196366	2,15	4
jombang	235250	2,27	4
nganjuk	278331	2,24	3
madiun	300742	2,05	3
magetan	187109	1,30	4
ngawi	526253	1,10	4
bojonegoro	488331	1,70	3
tuban	359494	1,32	3
lamongan	533984	2,66	3
gresik	226087	2,58	4
bangkalan	130007	1,35	4
sampang	100295	1,57	4
pamekasan	69760	1,48	4
sumenep	130239	0,94	3
kota kediri	5768	1,65	4

Kab/Kota	Variabel		
	biomassa (X)	drainage density (Y)	road density (Z)
kota blitar	2558	2,37	5
kota malang	7214	1,78	4
kota probolinggo	5838	1,41	3
kota pasuruan	5955	1,04	3
kota mojokerto	2371	2,86	7
kota madiun	8667	0,15	5
kota surabaya	5045	2,39	6
kota batu	2515	2,73	3

8. Hasil Akhir Korelasi

	biomassa (X)	*drainage density (Y)*	*road density (Z)*	korelasi XY	korelasi XZ	korelasi YZ
biomassa (X)	1			Hubungan sangat lemah dan hampir tidak ada	hubungan berlawanan arah lemah	hubungan searah yang lemah (sedikit berhubungan)
drainage density (Y)	0,06125573	1				
road density (Z)	-0,354752107	0,292163965	1			

Lampiran 5 Peta Sebaran Potensi Biomassa



No	Kabupaten	Provinsi	PLB (Ton)
1	Ngawi	Jawa Timur	526252.72
2	Lamongan	Jawa Timur	533983.57
3	Subang	Jawa Barat	665934.08
4	Karawang	Jawa Barat	715823.39
5	Indramayu	Jawa Barat	961746.73

RIWAYAT HIDUP

penulis lahir di Benuang, tanggal 20 april 2003. Merupakan putri ke-2 dari Bapak Sardoyo dan Ibu Rosmaini. Penulis bersekolah di SMA N 1 Rengat, pada tahun 2021 penulis terdaftar menjadi mahasiswa Teknik Lingkungan UII. Selama menjalani perkuliahan, selain mengikuti kegiatan akdemik, penulis aktif dalam beberapa kegiatan mahasiswa. Pada tahun 2022 penulis aktif dalam kepanitiaan Lintas Lingkungan 2022, pada tahun 2023 penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan dan diamanahi menjadi kepala departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) yang bertanggung jawab atas sistem pengembangan kualitas mahasiswa tingkat jurusan, pada tahun 2024 penulis aktif dalam Lembaga Eksekutif Mahasiswa (LEM) dan diamanahi menjadi staff PSDM yang bertanggung jawab atas sistem pengembangan kualitas sumber daya mahasiswa ditingkat fakultas.