

Analisis Kelayakan Teknis Pemanfaatan Limbah Biomassa Pertanian Sebagai Sumber Energi Terbarukan Skala Desa

Aesha Fathara^{1*}, Muhammad Rezza², Rudy³, Steven Pragestu⁴

¹⁻⁴ Universitas Tanjungpura

*Corresponding email: aesha.fathara@ee.untan.ac.id^{1*}, muhammad.rezza@ee.untan.ac.id²,
rudy@ee.untan.ac.id³, steven.pragestu@ee.untan.ac.id⁴

Abstrak: Pemanfaatan limbah biomassa pertanian sebagai sumber energi terbarukan berpotensi meningkatkan ketahanan energi di wilayah pedesaan sekaligus mengurangi limbah pertanian yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan teknis pemanfaatan biomassa pertanian sebagai sumber energi listrik skala desa di Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat. Metode yang digunakan adalah pendekatan deskriptif-kuantitatif berbasis data sekunder meliputi produksi pertanian, rasio residu biomassa, nilai kalor bawah (*Lower Heating Value/LHV*), dan kebutuhan energi listrik Dusun Pelanjau. Hasil penelitian menunjukkan potensi biomassa sebesar 61.820 ton/tahun dengan potensi energi 866.050 GJ/tahun. Dengan efisiensi konversi 25%, biomassa tersebut mampu menghasilkan 60.142 MWh/tahun atau setara kapasitas pembangkit 6,87 MW. Kebutuhan listrik Dusun Pelanjau sebesar 121,38 MWh/tahun, sehingga rasio kecukupan energi mencapai 49.548%. Hasil ini menunjukkan bahwa biomassa pertanian di Kabupaten Sambas sangat layak secara teknis sebagai sumber energi listrik skala desa dan berpotensi mendukung pengembangan sistem energi terbarukan berbasis sumber daya lokal.

Kata kunci: biomassa pertanian, energi terbarukan, sekam padi, tongkol jagung, pembangkit listrik biomassa, kelayakan teknis.

Abstract: The utilization of agricultural biomass residues as a renewable energy source offers a promising approach to enhancing energy security in rural areas while reducing the environmental impacts of underutilized agricultural waste. This study aims to evaluate the technical feasibility of using agricultural biomass residues for village-scale electricity generation in Sambas Regency, West Kalimantan, Indonesia. A descriptive-quantitative approach based on secondary data was employed, including agricultural production data, biomass residue ratios, lower heating values (LHV), and the electricity demand of Dusun Pelanjau. The results indicate a biomass potential of 61,820 tons/year, corresponding to an energy potential of 866,050 GJ/year. Assuming a conversion efficiency of 25%, the available biomass could generate approximately 60,142 MWh/year, equivalent to an average power generation capacity of 6.87 MW. The annual electricity demand of Dusun Pelanjau is estimated at 121.38 MWh, resulting in an energy sufficiency ratio of 49,548%. These findings demonstrate that agricultural biomass in Sambas Regency is highly technically feasible for village-scale electricity generation and provides a solid foundation for developing renewable energy systems based on locally available resources.

Keywords: agricultural biomass, renewable energy, rice husk, corn cob, village-scale electricity generation, technical feasibility.

PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi listrik di wilayah pedesaan masih menjadi tantangan, khususnya di daerah yang belum sepenuhnya terjangkau jaringan listrik nasional. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dalam penyediaan energi listrik tidak hanya meningkatkan biaya operasional, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan berbasis potensi lokal menjadi salah satu solusi strategis untuk mendukung kemandirian energi desa dan pembangunan berkelanjutan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di wilayah pedesaan khususnya di Kabupaten Sambas adalah limbah biomassa pertanian. Limbah seperti sekam padi dan tongkol jagung tersedia dalam jumlah melimpah sebagai hasil samping aktivitas pertanian, namun sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal dan sering kali hanya dibakar atau dibiarkan terurai secara alami (Demirbaş, 2001). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biomassa pertanian memiliki nilai kalor yang cukup untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, baik melalui proses pembakaran langsung maupun konversi energi lainnya (Akorede et al., 2010).

Berdasarkan data yang dilansir oleh Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024 menunjukkan bahwa produksi padi di Indonesia sebanyak 53,14 juta ton, untuk daerah

Kalimanta Barat sendiri menghasilkan 764.780 ton padi (Badan Pusat Statistik, 2025). Sedangkan data resmi BPS tahun 2024 tentang produksi jagung di Indonesia sebanyak 15,14 juta ton, untuk daerah Kalimantan Barat sendiri diperkirakan menghasilkan 32.000 ton (Marsono, 2025). Dari proses penggilingan padi dapat diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah (Izzati Dyah Lantasi et al., 2020). Sementara itu, untuk rasio residu tongkol terhadap jagung pipilan dilaporkan berasa pada kisaran 18-20% berdasarkan literatur biomassa dan energi pertanian (Bathaei & Štreimikienė, 2023).

Penelitian terkait pemanfaatan biomassa pertanian sebagai sumber energi terbarukan telah banyak dilakukan dalam satu dekade terakhir. Kajian awal umumnya berfokus pada identifikasi potensi biomassa secara teoritis berdasarkan data produksi pertanian dan nilai kalor bahan baku (Karekezi et al., 2003). Meskipun demikian, sebagian penelitian masih terbatas pada satu jenis biomassa atau menggunakan pendekatan yang relatif kompleks dan membutuhkan perangkat analisis khusus.

Seiring perkembangan penelitian, beberapa studi mulai mengkaji kelayakan teknis pemanfaatan biomassa pertanian sebagai sumber energi dengan membandingkan potensi energi biomassa terhadap kebutuhan listrik masyarakat desa (Oladeji et al., 2021). Dalam konteks perencanaan awal energi desa, pendekatan analisis yang lebih sederhana dan berbasis data aktual masih diperlukan, khususnya yang mengintegrasikan potensi multi-biomassa dengan kebutuhan listrik riil masyarakat. Kajian semacam ini penting untuk memberikan gambaran teknis yang aplikatif dan mudah direplikasi oleh daerah dengan keterbatasan data dan fasilitas.

Penelitian lain mengombinasikan biomassa dengan sumber energi terbarukan lain, seperti tenaga surya, untuk meningkatkan keandalan pasokan energi (Tarife et al., 2022). Meskipun demikian, banyak kajian yang masih menggunakan pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak tertentu, sehingga kurang memberikan gambaran sederhana dan mudah direplikasi bagi daerah atau institusi dengan keterbatasan data dan fasilitas. Padahal, untuk tahap awal perencanaan energi desa, analisis kelayakan teknis sederhana berbasis data sekunder dan perhitungan manual masih sangat dibutuhkan.

Berdasarkan tinjauan penelitian terdahulu, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian, yaitu belum banyak kajian yang menyajikan analisis kelayakan teknis sederhana pemanfaatan beragam limbah biomassa pertanian sebagai sumber energi terbarukan skala desa tanpa bergantung pada perangkat lunak optimasi tertentu. Selain itu, kajian yang mengaitkan potensi biomassa pertanian secara langsung dengan estimasi kebutuhan energi listrik desa secara komprehensif masih relatif terbatas, khususnya dalam konteks wilayah pedesaan Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan teknis pemanfaatan limbah biomassa pertanian sebagai sumber energi terbarukan skala desa melalui pendekatan perhitungan potensi energi dan perbandingannya dengan kebutuhan listrik masyarakat. Kontribusi penelitian ini meliputi; Estimasi potensi energi multi-biomassa berbasis data produksi pertanian daerah, dan Analisis kebutuhan listrik desa berbasis data beban harian aktual sebagai dasar evaluasi kesesuaian teknis pengembangan pembangkit biomassa skala desa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar awal dalam perencanaan pemanfaatan energi terbarukan berbasis biomassa pertanian serta memberikan kontribusi praktis bagi pengembangan sistem energi desa yang berkelanjutan.

LANDASAN TEORI

Biomassa Pertanian sebagai Sumber Energi Terbarukan

Biomassa pertanian merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari residu kegiatan budidaya tanaman, seperti sekam padi, jerami, dan tongkol jagung. Secara konseptual, biomassa dikategorikan sebagai energi terbarukan karena siklus karbonnya relatif

tertutup, di mana karbon yang dilepaskan saat pembakaran sebanding dengan karbon yang diserap tanaman selama proses fotosintesis (Edenhofer et al., 2011). Dengan karakteristik tersebut, biomassa dipandang sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil.

Dalam konteks sistem energi pedesaan, biomassa memiliki keunggulan karena ketersediaannya yang dekat dengan lokasi konsumsi energi. Limbah pertanian memiliki potensi signifikan untuk pembangkitan listrik skala kecil hingga menengah, terutama di wilayah agraris. Selain itu, pemanfaatan biomassa lokal dapat meningkatkan ketahanan energi daerah sekaligus menciptakan nilai tambah ekonomi di tingkat komunitas.

Namun demikian, pemanfaatan biomassa tidak hanya bergantung pada ketersediaan bahan baku, tetapi juga pada karakteristik fisik dan kimianya. Oleh karena itu, estimasi potensi energi perlu mempertimbangkan parameter teknis seperti nilai kalor dan rasio residu terhadap produk utama.

Estimasi Potensi Energi Biomassa

Pendekatan yang umum digunakan dalam menilai potensi energi biomassa adalah metode estimasi berbasis data produksi pertanian. Secara teoritis, potensi energi dapat dihitung melalui parameter Residue to Product Ratio (RPR), nilai kalor bawah (Lower Heating Value/LHV), dan faktor ketersediaan teknis (McKendry, 2002). Metode ini banyak digunakan dalam studi perencanaan awal karena relatif sederhana dan dapat diterapkan pada daerah dengan keterbatasan data rinci.

Pendekatan berbasis produksi daerah efektif untuk mengidentifikasi potensi energi awal sebelum dilakukan studi kelayakan teknis lanjutan (Bhattacharya, 2002). Sementara itu, mempertimbangkan aspek keberlanjutan pasokan biomassa, termasuk pola musiman dan kebutuhan non-energi dari residu pertanian penting untuk ditekankan (Tarife et al., 2022).

Sebagian penelitian terdahulu hanya berfokus pada satu jenis biomassa tertentu, sehingga analisisnya bersifat parsial. Padahal, dalam praktik di wilayah agraris, lebih dari satu jenis residu tersedia secara bersamaan. Oleh karena itu, pendekatan multi-biomassa dapat memberikan gambaran potensi energi yang lebih representatif terhadap kondisi riil lapangan.

Analisis Kebutuhan Listrik Skala Desa

Selain potensi pasokan energi, aspek penting dalam perencanaan sistem pembangkit adalah analisis kebutuhan beban listrik. Kebutuhan listrik desa umumnya dipengaruhi oleh jumlah rumah tangga, pola konsumsi harian, serta jenis peralatan listrik yang digunakan. Perencanaan sistem energi terdesentralisasi perlu didasarkan pada profil beban aktual agar kapasitas pembangkit tidak mengalami overdesign maupun underdesign (ESMAP, 2019).

Pendekatan analisis beban harian memungkinkan estimasi kebutuhan energi listrik dalam satuan kWh per hari atau per tahun. Pemetaan profil beban harian sangat penting dalam menentukan ukuran sistem pembangkit skala kecil, terutama pada sistem off-grid atau mini-grid (Mandelli et al., 2016). Dalam konteks energi berbasis biomassa, kesesuaian antara potensi energi dan kebutuhan listrik menjadi indikator awal kelayakan teknis. Perbandingan keduanya memberikan gambaran apakah sumber daya lokal mampu memenuhi kebutuhan masyarakat secara berkelanjutan, atau masih memerlukan sistem hibrida dengan sumber energi lain.

Integrasi Potensi Biomassa dan Perencanaan Energi Desa

Perencanaan energi desa berbasis sumber daya lokal menuntut integrasi antara analisis potensi energi dan kebutuhan beban. Pendekatan terintegrasi dalam perencanaan energi terdesentralisasi dapat meningkatkan efektivitas investasi dan meminimalkan risiko

kegagalan proyek (UU Republik Indonesia et al., 2022). Dalam beberapa studi, integrasi tersebut dilakukan melalui simulasi perangkat lunak energi. Namun, untuk tahap perencanaan awal, pendekatan analitis berbasis data aktual produksi dan konsumsi dinilai cukup memadai. Pendekatan ini lebih sederhana, mudah direplikasi, dan sesuai untuk wilayah dengan kapasitas teknis terbatas.

Berdasarkan telaah literatur tersebut, terlihat bahwa meskipun kajian potensi biomassa dan analisis kebutuhan listrik telah banyak dilakukan, masih diperlukan studi yang mengintegrasikan estimasi potensi multi-biomassa berbasis data produksi daerah dengan analisis kebutuhan listrik berbasis beban harian aktual dalam konteks desa. Integrasi inilah yang menjadi dasar pengembangan penelitian ini.

METODE

Penelitian ini mengungkapkan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan fokus pada studi kelayakan teknis pemanfaatan limbah biomassa pertanian sebagai sumber energi listrik skala desa. Pendekatan ini bertujuan untuk mengestimasi potensi energi biomassa berdasarkan data produksi pertanian dan membandingkannya dengan kebutuhan energi listrik masyarakat desa. Penelitian ini bersifat studi awal (preliminary study) dan tidak menggunakan perangkat lunak optimasi khusus. Seluruh analisis dilakukan menggunakan perhitungan berbasis data sekunder dan parameter teknis dari literatur, sehingga metode yang digunakan bersifat sederhana, transparan, dan mudah direplikasi.

Objek penelitian meliputi dua jenis biomassa pertanian dominan, yaitu sekam padi dan tongkol jagung. Analisis kebutuhan energi listrik difokuskan pada Dusun Pelanjau, Desa Bukit Sigoler, Kecamatan Tebas, Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat, yang merupakan wilayah agraris dengan produksi padi dan jagung yang signifikan. Adapun data yang digunakan terdiri dari :

- Data produksi padi dan jagung (BPS),
- Rasio residu biomassa (RPR),
- Nilai kalor bawah (LHV),
- Data jumlah rumah tangga,
- Estimasi konsumsi listrik harian.

Algoritma Estimasi Potensi Energi dan Analisis Kebutuhan

Untuk menjelaskan tahapan penelitian secara sistematis, prosedur analisis dirumuskan dalam bentuk algoritma sebagai berikut.

Tabel 1. Estimasi Potensi Energi Biomassa dan Kelayakan Teknis

MASUKAN:

Data produksi padi dan jagung, rasio residu (RPR), nilai LHV, efisiensi sistem (η), jumlah rumah tangga, konsumsi listrik harian rata-rata

KELUARAN:

Potensi energi biomassa (GJ/tahun), energi listrik (kWh/tahun), kapasitas daya (MW), rasio kecukupan energi

Hitung jumlah residu biomassa menggunakan RPR

Hitung massa biomassa tahunan (kg/tahun)

Hitung potensi energi biomassa menggunakan nilai LHV

Konversi energi menjadi energi listrik dengan mempertimbangkan efisiensi sistem

Hitung kebutuhan energi listrik tahunan desa

Bandingkan potensi energi listrik dengan kebutuhan listrik desa

Hitung rasio kecukupan energi sebagai indikator kelayakan teknis

Pemodelan Matematis

Perhitungan potensi biomassa dilakukan menggunakan pendekatan Residue-to-Product Ratio (RPR). Jumlah biomassa dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$M_b = P \times RPR \quad (1)$$

di mana:

M_b = massa biomassa (ton/tahun)

P = produksi hasil pertanian (ton/tahun)

RPR = rasio residu

Potensi energi biomassa dihitung menggunakan nilai kalor bawah (LHV) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2):

$$E_b = m \times LHV \quad (2)$$

di mana:

E_b = energi biomassa (MJ/tahun)

M = massa biomassa (kg/tahun)

LHV = nilai kalor bawah (MJ/kg)

Energi biomassa kemudian dikonversi menjadi energi listrik dengan mempertimbangkan efisiensi sistem konversi energi sebagaimana pada Persamaan (3):

$$E_l = E_b \times \eta$$

di mana:

E_l = energi listrik (MJ/tahun atau kWh/tahun)

η = efisiensi sistem konversi

Estimasi kapasitas daya rata-rata pembangkit dihitung menggunakan Persamaan (4):

$$P_{avg} = \frac{E_l}{8760} \quad (4)$$

di mana 8760 adalah jumlah jam dalam satu tahun.

Kebutuhan energi listrik desa dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$E_{load} = N \times C \times 365 \quad (5)$$

di mana:

E_{load} = kebutuhan energi listrik tahunan (kWh/tahun)

N = jumlah rumah tangga

C = konsumsi listrik rata-rata per rumah tangga (kWh/hari)

Rasio kecukupan energi sebagai indikator kelayakan teknis dihitung dengan Persamaan (6):

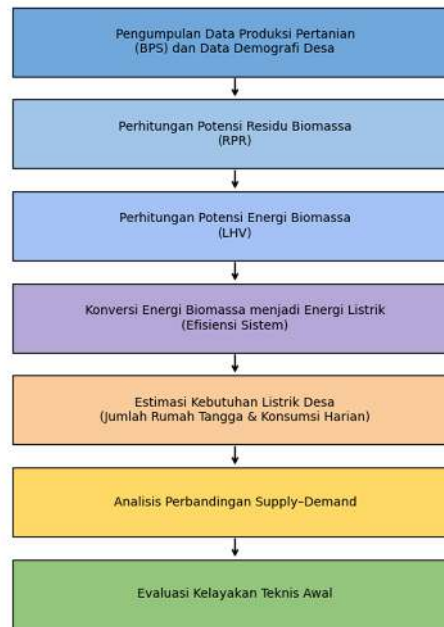
$$R = \frac{E_l}{E_{load}} \quad (6)$$

Jika $R \geq 1$, maka potensi biomassa secara teoritis mampu memenuhi kebutuhan listrik

desa. Jika $R < 1$, maka diperlukan kombinasi dengan sumber energi lain.

Diagram Alir

Diagram alir ini menggambarkan keterkaitan antara potensi sumber daya lokal dan kebutuhan energi desa dalam satu kerangka analisis terintegrasi.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Energi Biomassa

Kabupaten Sambas merupakan salah satu sentra produksi tanaman pangan di Provinsi Kalimantan Barat dengan komoditas utama berupa padi dan jagung. Aktivitas pertanian tersebut menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah yang cukup besar, khususnya sekam padi dan tongkol jagung, yang hingga saat ini sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi. Dalam penelitian ini, kedua jenis biomassa tersebut dipilih karena memiliki ketersediaan yang relatif stabil setiap tahun serta karakteristik yang sesuai untuk dikonversi menjadi energi melalui teknologi pembakaran langsung maupun gasifikasi biomassa. Estimasi potensi biomassa dilakukan berdasarkan data produksi pertanian Kabupaten Sambas tahun 2024 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Untuk menjaga konsistensi analisis, penelitian ini menggunakan nilai produksi rata-rata tahunan, yaitu sebesar 245.000 ton/tahun untuk padi dan 3.000 ton/tahun untuk jagung.

Berdasarkan literatur, rasio residu sekam padi diasumsikan sebesar 25%, sedangkan rasio residu tongkol jagung sebesar 19%. Dengan menggunakan nilai tersebut diperoleh estimasi potensi biomassa sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi Potensi Biomassa Pertanian Kabupaten Sambas

Komoditas	Produksi (ton/tahun)	Jenis Biomassa	Rasio Residu (%)	Potensi Biomassa (ton/tahun)
Padi	245.000	Sekam padi	25	61.250
Jagung	3.000	Tongkol jagung	19	570

Total	248.000	-	-	61.820
-------	---------	---	---	--------

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total biomassa pertanian yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi di Kabupaten Sambas mencapai 61.820 ton/tahun. Dari jumlah tersebut, sekam padi memberikan kontribusi paling dominan, yaitu sekitar 61.250 ton/tahun atau lebih dari 99% terhadap total biomassa yang dianalisis. Sebaliknya, kontribusi tongkol jagung hanya sekitar 570 ton/tahun atau kurang dari 1% dari total biomassa.

Dominasi sekam padi tersebut mencerminkan karakteristik sektor pertanian Kabupaten Sambas yang masih didominasi oleh budidaya padi. Tingginya produksi padi secara langsung meningkatkan jumlah residu hasil penggilingan berupa sekam yang tersedia sepanjang tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa sekam padi merupakan sumber biomassa utama yang paling potensial untuk dikembangkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik biomassa di wilayah Kabupaten Sambas.

Potensi Energi Biomassa

Perhitungan potensi energi dilakukan menggunakan nilai kalor bawah (*Lower Heating Value/LHV*) sebagaimana dijelaskan pada Persamaan (2). Penggunaan nilai LHV dipilih karena lebih merepresentasikan energi bersih yang dapat dimanfaatkan pada proses pembakaran biomassa, di mana energi yang digunakan untuk menguapkan kandungan air di dalam bahan bakar tidak diperhitungkan. Pendekatan ini umum digunakan dalam berbagai kajian potensi energi biomassa karena mampu memberikan estimasi energi yang lebih realistis dibandingkan nilai kalor atas (*Higher Heating Value/HHV*).

Dalam penelitian ini digunakan nilai LHV sebesar 14 MJ/kg untuk sekam padi dan 15 MJ/kg untuk tongkol jagung sesuai dengan rentang nilai yang banyak digunakan dalam literatur energi biomassa. Berdasarkan hasil estimasi biomassa pada Subbab 4.1, diperoleh potensi biomassa sebesar 61.250 ton/tahun untuk sekam padi dan 570 ton/tahun untuk tongkol jagung. Selanjutnya, kedua nilai tersebut dikonversi ke dalam satuan kilogram sebelum dilakukan perhitungan potensi energi.

Perhitungan potensi energi masing-masing biomassa adalah sebagai berikut:

a. Potensi energi sekam padi

Massa sekam padi : 61.250 ton/tahun = 61.250.000 kg/tahun

Sehingga, $E_{\text{sekam}} = 61.250.000 \times 14 = 857.500.000$ MJ/tahun

atau setara dengan 857.500 GJ/tahun

b. Potensi energi tongkol jagung

Massa tongkol jagung: 570 ton/tahun = 570.000 kg/tahun

Sehingga, $E_{\text{tongkol}} = 570.000 \times 15 = 8.550.000$ MJ/tahun

atau setara dengan 8.550 GJ/tahun

Hasil lengkap perhitungan potensi energi biomassa disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Potensi Energi Biomassa Pertanian Kabupaten Sambas

Jenis Biomassa	Biomassa (ton/tahun)	LHV (MJ/kg)	Potensi Energi (MJ/tahun)	Potensi Energi (GJ/tahun)
Sekam padi	61.250	14	857.500.000	857.500
Tongkol jagung	570	15	8.550.000	8.550
Total	61.820	–	866.050.000	866.050

Berdasarkan hasil perhitungan, total potensi energi biomassa pertanian di Kabupaten Sambas mencapai 866.050 GJ/tahun, dengan kontribusi terbesar berasal dari sekam padi sebesar 857.500 GJ/tahun ($\pm 99,01\%$), sedangkan tongkol jagung menyumbang 8.550 GJ/tahun ($\pm 0,99\%$). Dominasi sekam padi dipengaruhi oleh tingginya produksi padi di Kabupaten Sambas sehingga menghasilkan residu biomassa yang jauh lebih besar

dibandingkan jagung. Meskipun kontribusi tongkol jagung relatif kecil, pemanfaatannya tetap berpotensi meningkatkan diversifikasi sumber biomassa dan mengurangi limbah pertanian yang belum dimanfaatkan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa Kabupaten

Sambas memiliki potensi energi biomassa yang cukup besar sebagai sumber energi primer untuk pembangkit listrik skala desa. Namun demikian, besarnya potensi energi tersebut masih perlu dikonversi menjadi energi listrik dengan mempertimbangkan efisiensi sistem pembangkit agar dapat menggambarkan kapasitas listrik yang realistis untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Estimasi Energi Listrik dan Daya Pembangkit Biomassa

Potensi energi biomassa yang diperoleh pada Subbab 4.2 masih berupa energi primer sehingga belum dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai energi listrik. Oleh karena itu, diperlukan proses konversi energi dengan mempertimbangkan efisiensi sistem pembangkit biomassa. Dalam penelitian ini diasumsikan efisiensi sistem sebesar 25%, yang mewakili kinerja pembangkit biomassa skala kecil hingga menengah berbasis pembakaran langsung (*direct combustion*) maupun gasifikasi. Nilai tersebut dipilih sebagai pendekatan konservatif yang masih berada dalam rentang efisiensi yang banyak dilaporkan pada berbagai penelitian terdahulu. Energi listrik yang dihasilkan dihitung menggunakan Persamaan (3).

Berdasarkan hasil perhitungan pada Subbab 4.2, total potensi energi biomassa Kabupaten Sambas sebesar 866.050 GJ/tahun. Dengan menggunakan efisiensi sistem sebesar 25%, maka energi listrik yang berpotensi dihasilkan adalah;

$$E_{listrik} = 866.050 \times 25\% = 216.512,5 \text{ GJ/tahun}$$

Selanjutnya, energi listrik tersebut dikonversi ke satuan MWh/tahun menggunakan faktor konversi 1 MWh = 3,6 GJ, sehingga diperoleh

$$E_{listrik} = \frac{216.512,5}{3,6} = 60.142 \text{ MWh/tahun}$$

Nilai tersebut menunjukkan besarnya energi listrik teoritis yang dapat dihasilkan apabila seluruh potensi biomassa yang tersedia dimanfaatkan melalui sistem pembangkit dengan efisiensi konversi sebesar 25%.

Untuk mengetahui kapasitas pembangkit yang dapat dikembangkan, energi listrik tahunan selanjutnya dikonversi menjadi daya rata-rata menggunakan Persamaan (4).

$$P = \frac{E_{listrik}}{8760} \quad (4)$$

dengan:

P = daya pembangkit rata-rata (MW)

$E_{listrik}$ = energi listrik (MWh/tahun)

8760 = jumlah jam operasi dalam satu tahun

Berdasarkan Persamaan (4), diperoleh estimasi kapasitas daya pembangkit biomassa sebagai berikut.

$$P = \frac{60.142}{8760} = 6,87 \text{ MW}$$

Ringkasan hasil konversi energi biomassa menjadi energi listrik disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi energi Listrik dan Kapasitas Pembangkit Biomassa

Parameter	Nilai	Satuan
Potensi energi biomassa	866.050	GJ/tahun
Efisiensi sistem	25	%
Energi listrik	216.512,5	GJ/tahun
Energi listrik	60.142	MWh/tahun
Estimasi daya pembangkit	6,87	MW

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi biomassa pertanian di Kabupaten Sambas secara teoritis mampu menghasilkan energi listrik sekitar 60.142 MWh/tahun, dengan estimasi kapasitas pembangkit rata-rata sebesar 6,87 MW apabila seluruh biomassa dimanfaatkan secara optimal. Nilai ini menunjukkan bahwa sumber biomassa yang tersedia memiliki kapasitas energi yang cukup besar dibandingkan kebutuhan listrik skala desa.

Meskipun demikian, kapasitas 6,87 MW merupakan potensi teoritis maksimum yang dihitung berdasarkan total biomassa yang tersedia dan asumsi operasi pembangkit secara kontinu selama satu tahun. Dalam implementasinya, kapasitas pembangkit yang dibangun tidak harus memanfaatkan seluruh potensi biomassa tersebut. Besarnya kapasitas pembangkit akan disesuaikan dengan kebutuhan energi masyarakat, ketersediaan biomassa yang dapat dikumpulkan secara berkelanjutan, serta aspek teknis dan ekonomi dari sistem yang akan dikembangkan. Oleh karena itu, pada subbab berikutnya dilakukan analisis kebutuhan energi listrik Dusun Pelanjau sebagai dasar untuk menentukan kapasitas pembangkit biomassa yang lebih realistis pada skala desa.

Kebutuhan Energi Listrik Dusun Pelanjau

Kebutuhan energi listrik Dusun Pelanjau dianalisis berdasarkan data beban listrik harian selama periode 24 jam. Data tersebut diperoleh dari hasil estimasi konsumsi listrik rumah tangga yang merepresentasikan pola penggunaan energi masyarakat dalam satu hari. Analisis profil beban dilakukan untuk mengetahui karakteristik konsumsi energi listrik, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas pembangkit biomassa yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

Berdasarkan hasil pengukuran dan estimasi beban harian, total kebutuhan energi listrik Dusun Pelanjau mencapai 332,56 kWh/hari. Apabila diasumsikan pola konsumsi tersebut relatif konstan sepanjang tahun, maka kebutuhan energi listrik tahunan dapat dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$E_{tahun} = E_{hari} \times 365$$

dengan:

E_{tahun} = kebutuhan energi listrik tahunan (kWh/tahun)

E_{hari} = kebutuhan energi listrik harian (kWh/hari)

Berdasarkan Persamaan (5) diperoleh :

$$E_{tahun} = 332,56 \times 365 = 121.384,4 \text{ kWh/tahun}$$

atau setara dengan

$$121,38 \text{ MWh/tahun}$$

Data beban listrik harian Dusun Pelanjau disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Beban Listrik Harian Dusun Pelanjau

Waktu	Beban (kWh)
00.00	5,50
01.00	5,50
02.00	5,50
...	...
17.00	24,82
18.00	24,90
19.00	24,35
...	...
Total	332,56

Berdasarkan profil beban pada Gambar 5 terlihat bahwa konsumsi listrik relatif rendah pada periode dini hari hingga menjelang subuh. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas masyarakat masih terbatas pada penggunaan peralatan dasar seperti penerangan dan perangkat elektronik berdaya rendah. Memasuki pagi hari, kebutuhan listrik mulai meningkat seiring dimulainya aktivitas rumah tangga dan kegiatan produktif masyarakat.

Peningkatan konsumsi listrik yang paling signifikan terjadi pada sore hingga malam hari, khususnya pada rentang waktu 17.00–19.00, dengan beban maksimum mencapai sekitar 25 kWh. Periode tersebut merupakan beban puncak (*peak load*), yang dipengaruhi oleh meningkatnya penggunaan penerangan, peralatan rumah tangga, televisi, kipas angin, serta aktivitas masyarakat setelah kembali dari bekerja. Setelah pukul 20.00, konsumsi listrik kembali mengalami penurunan secara bertahap hingga memasuki dini hari.

Berdasarkan total kebutuhan energi harian sebesar 332,56 kWh/hari, diperoleh kebutuhan energi listrik tahunan sebesar 121,38 MWh/tahun. Nilai ini menjadi acuan dalam menentukan kapasitas pembangkit biomassa yang diperlukan agar mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat secara berkelanjutan. Selain itu, profil beban harian menunjukkan bahwa sistem pembangkit tidak hanya harus mampu menyediakan energi listrik yang cukup, tetapi juga harus mampu mengakomodasi peningkatan beban pada jam-jam puncak sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga.

Potensi Energi Biomassa terhadap Kebutuhan Listrik Dusun Pelanjau

Tahap akhir analisis dilakukan dengan membandingkan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari biomassa terhadap kebutuhan energi listrik Dusun Pelanjau. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan teknis awal pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi listrik skala desa. Indikator yang digunakan adalah rasio kecukupan energi (*energy sufficiency ratio*), yaitu perbandingan antara energi listrik yang tersedia dari biomassa dengan kebutuhan energi listrik masyarakat.

Rasio kecukupan energi dihitung menggunakan Persamaan 6. Berdasarkan hasil pada Subbab 4.3, energi listrik yang dapat dihasilkan dari biomassa mencapai 60.142 MWh/tahun, sedangkan hasil analisis pada Subbab 4.4 menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik Dusun Pelanjau sebesar 121,38 MWh/tahun. Dengan demikian, rasio kecukupan energi diperoleh sebagai berikut.

$$R = \frac{60.142}{121,38} \times 100 = 49.548\%$$

atau setara dengan sekitar 495 kali kebutuhan energi listrik tahunan Dusun Pelanjau.

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa potensi biomassa pertanian di Kabupaten Sambas secara teoritis lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik Dusun Pelanjau. Bahkan, energi listrik yang tersedia dari biomassa mencapai hampir 500 kali lebih besar dibandingkan kebutuhan listrik tahunan desa. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan biomassa tidak dibatasi oleh ketersediaan bahan baku, melainkan lebih dipengaruhi oleh aspek teknis, ekonomi, logistik, serta kapasitas pembangkit yang akan dibangun. Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif, hasil perbandingan antara potensi energi biomassa dan kebutuhan listrik desa disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan Potensi Energi Biomassa dengan Kebutuhan Listrik Dusun Pelanjau

Parameter	Nilai	Satuan
Energi listrik dari biomassa	60.142	MWh/tahun
Kebutuhan listrik desa	121,38	MWh/tahun
Rasio kecukupan energi	49.548	%
Tingkat kecukupan	495 kali kebutuhan desa	–

Besarnya rasio kecukupan energi menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil dari total potensi biomassa yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan listrik Dusun Pelanjau. Jika dihitung berdasarkan kebutuhan energi tahunan desa, tingkat pemanfaatan biomassa yang diperlukan hanya sekitar:

$$\frac{121,38}{60.142} \times 100 = 0,20\% \quad (7)$$

Artinya, sekitar 0,20% dari total potensi energi biomassa sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik Dusun Pelanjau selama satu tahun, sedangkan lebih dari 99% potensi biomassa masih dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi desa lain, pengembangan pembangkit biomassa skala yang lebih besar, atau sebagai cadangan energi di masa mendatang. Temuan ini mendukung hipotesis penelitian bahwa limbah biomassa pertanian di Kabupaten Sambas memiliki potensi yang memadai sebagai sumber energi terbarukan untuk mendukung elektrifikasi pedesaan. Meskipun demikian, implementasi sistem pembangkit biomassa tetap memerlukan kajian lanjutan yang mencakup aspek ketersediaan biomassa sepanjang tahun, rantai pasok bahan baku, biaya investasi, operasi dan pemeliharaan, serta penerimaan masyarakat agar sistem yang dirancang dapat beroperasi secara berkelanjutan.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengestimasi potensi pemanfaatan limbah biomassa pertanian berupa sekam padi dan tongkol jagung sebagai sumber energi terbarukan di Kabupaten Sambas. Berdasarkan data produksi pertanian tahun 2024, diperoleh potensi biomassa sebesar 61.820 ton/tahun yang setara dengan potensi energi sebesar 866.050 GJ/tahun. Dengan asumsi efisiensi sistem konversi energi sebesar 25%, potensi tersebut mampu menghasilkan energi listrik sekitar 60.142 MWh/tahun atau setara dengan kapasitas pembangkit rata-rata sebesar 6,87 MW.

Hasil analisis kebutuhan energi menunjukkan bahwa konsumsi listrik Dusun Pelanjau mencapai 332,56 kWh/hari atau sekitar 121,38 MWh/tahun. Perbandingan antara potensi energi biomassa dan kebutuhan listrik desa menghasilkan rasio kecukupan energi sebesar 49.548%, yang menunjukkan bahwa potensi biomassa yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan listrik Dusun Pelanjau dengan tingkat kecukupan yang sangat tinggi. Dengan kata lain, hanya sekitar 0,20% dari total potensi biomassa yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan listrik desa, sementara sebagian besar potensi biomassa masih dapat dimanfaatkan untuk pengembangan sistem energi di wilayah lain.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa pertanian di Kabupaten Sambas sangat layak secara teknis untuk mendukung penyediaan energi listrik skala desa. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan pembangkit listrik biomassa berbasis potensi lokal sebagai salah satu alternatif penyediaan energi terbarukan yang berkelanjutan, khususnya di wilayah perdesaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akorede, M. F., Hizam, H., & Poursmaeil, E. (2010). Distributed energy resources and benefits to the environment. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Number 2). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.025>
- Badan Pusat Statistik. (2025). Luas Panen dan Produksi Padi Di Indonesia 2024 (Angka Tetap). *Badan Pusat Statistik*, 8(15).
- Bathaei, A., & Štreimikienė, D. (2023). Renewable Energy and Sustainable Agriculture: Review of Indicators. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Number 19). <https://doi.org/10.3390/su151914307>

- Bhattacharya, S. C. (2002). Biomass energy in Asia: a review of status, technologies and policies in Asia. *Energy for Sustainable Development*, 6(3). [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60320-8](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60320-8)
- Demirbaş, A. (2001). Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 42(11). [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0)
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., Hansen, G., Kadner, S., Schlömer, S., Zwickel, T., & Stechow, C. Von. (2011). IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. In *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.49-6309>
- ESMAP. (2019). Mini Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers. ESMAP Technical Report. In *Energy Sector Management Assistance Program: TECHNICAL*.
- Izzati Dyah Lantasi, A., Syafrudin, & Budiyono. (2020). Rice husk as renewable energy for biogas production from biomass: Prospect and challenges. *E3S Web of Conferences*, 202. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206024>
- Karekezi, S., Kithyoma, W., & Initiative, E. (2003). Renewable Energy in Africa: Prospects and Limits. *Workshop on African Energy Experts on Operationalizing the NEPAD Energy Initiative, June*.
- Mandelli, S., Barbieri, J., Mereu, R., & Colombo, E. (2016). Off-grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification and a comprehensive literature review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 58). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.338>
- Marsono, E. (2025). Luas Panen dan Produksi Jagung di Indonesia 2024 (Angka Tetap). *Badan Pusat Statistik*, 2(16).
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1). [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Oladeji, A. S., Akorede, M. F., Aliyu, S., Mohammed, A. A., & Salami, A. W. (2021). Simulation-based optimization of hybrid renewable energy system for off-grid rural electrification. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(4). <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.31316>
- Tarife, R., Nakanishi, Y., Chen, Y., Zhou, Y., Estoperez, N., & Tahud, A. (2022). Optimization of Hybrid Renewable Energy Microgrid for Rural Agricultural Area in Southern Philippines. *Energies*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/en15062251>
- UU Republik Indonesia, Munawir, M., Nasional, B. S., Susanta, G., Jatimnet.com, MajaMojokerto.net, Radarmojokerto.jawapos.com, Wijayakusuma, D. M. S., Nahman, A., Godfrey, L., Jacobsen, R., Buysse, J., Gellynck, X., Bayu, D., Depkes, R., Soekidjo Notoatmodjo, Boulanger, L., Ismoyo, I. H., Tarigan, R., ... Sanyal, S. (2022). PENENTUAN ALTERNATIF LOKASI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH DI KABUPATEN SIDOARJO. *Energies*, 15(1).