

Potensi Ekonomi Pemanfaatan dan Pengelolaan Sekam Padi Sebagai Agro-Energi di Kabupaten Cianjur

Panca Sandika, Akhmad Fauzi, Meilanie Buitenzorgy

Department of Resource and Environmental Economics, Faculty of Economics and Management, IPB University, Indonesia.

*Correspondence to: sandikapanca@apps.ipb.ac.id

Abstrak: Indonesia menghadapi tantangan ganda dalam ketahanan energi dan pengelolaan limbah pertanian. Sekam padi menawarkan potensi bioenergi yang signifikan, namun pemanfaatannya terkendala oleh ketidakpastian ekonomi, sosial, dan kebijakan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi ekonomi pemanfaatan sekam padi sebagai bioenergi; menganalisis pandangan, posisi, dan kekuatan pemangku kepentingan dalam melihat potensi penggunaan bioenergi sekam padi untuk memetakan potensi konflik dan koalisi strategis; dan mengestimasi probabilitas skenario kebijakan masa depan tentang implementasi penggunaan sekam padi sebagai bioenergi untuk merumuskan rekomendasi prioritas di Kabupaten Cianjur. Kerangka kerja terintegrasi tiga tahap metode penelitian yang digunakan: Extended Cost-Benefit Analysis (eCBA), Stakeholder Analysis (MACTOR), dan Probabilistic Scenario Planning (SMIC-PROB). Hasil eCBA menunjukkan kelayakan ekonomi yang cukup tinggi, dengan Net Present Value (NPV) sebesar Rp 965,2 miliar dan Benefit-Cost Ratio 2,04, yang didorong oleh substitusi energi dan nilai ekonomi sirkular dari pupuk abu. Analisis MACTOR mengidentifikasi koalisi kuat antara pemerintah dan penggilingan padi, namun menyoroti adanya hambatan dengan lembaga investasi terkait perizinan. Selanjutnya, analisis SMIC-PROB mengungkapkan bahwa "Pembangunan Infrastruktur" merupakan kebijakan penggerak utama yang esensial bagi keberhasilan program. Studi ini menyimpulkan bahwa bioenergi sekam padi merupakan investasi ekonomi sirkular yang layak secara sosio-ekonomi, namun keberhasilannya bergantung pada prioritas pembangunan infrastruktur logistik pedesaan untuk mendukung adopsi teknologi.

Kata Kunci: eCBA, Ekonomi Sirkular, MACTOR, Sekam Padi, SMIC-PROB.

Abstract: Indonesia faces dual challenges in energy security and agricultural waste management. Rice husk offers significant bioenergy potential, yet its utilization is constrained by economic, social, and policy uncertainties. This study aims to analyze the economic potential of utilizing rice husks as bioenergy, analyze stakeholder perspectives, positions, and power regarding the potential use of rice husk bioenergy to map potential conflicts and align strategies. and estimate the probability of future policy scenarios regarding the implementation of rice husk use as agricultural bioenergy in Cianjur Regency to formulate priority recommendations. A three-stage integrated framework of research method was employed: Extended Cost-Benefit Analysis (eCBA), Stakeholder Analysis (MACTOR), and Probabilistic Scenario Planning (SMIC-PROB). The eCBA results indicate quite high such as feasible in economics, with a Net Present Value (NPV) of IDR 965,2 billion and a Benefit-Cost Ratio of 2,04, driven by energy substitution and the circular value of ash fertilizer. MACTOR analysis identifies a strong coalition between the government and rice millers but highlights friction with investment agencies regarding licensing. Furthermore, SMIC-PROB analysis reveals that "Infrastructure Development" is the prime mover policy essential for success. The study concludes that rice husk bioenergy is a socio-economically viable circular investment, contingent upon prioritizing rural logistics infrastructure to unlock technological adoption

Keywords: Circular Economy, eCBA, MACTOR, Rice Husk, SMIC-PROB

Citation: Sandika, P., Fauzi, A., Buitenzorgy, M. (2026) Potensi Ekonomi Pemanfaatan dan Pengelolaan Sekam Padi Sebagai Agro-Energi di Kabupaten Cianjur. *Indonesian Journal of Agricultural, Resource and Environmental Economics*, 5(1),13-25.

Doi: <https://doi.org/10.29244/ijaree.v5i1.71652>

PENDAHULUAN

Energi telah berkembang menjadi elemen fundamental dalam mendukung keberlanjutan peradaban modern, dengan tarif utilitas yang terus meningkat setiap tahunnya. Permintaan energi, khususnya listrik, menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan ekonomi suatu negara. Statistik konsumsi listrik di tingkat nasional di Indonesia menunjukkan peningkatan yang

signifikan dan berkelanjutan selama lima dekade terakhir. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (BBM), konsumsi listrik per kapita dari tahun 1971 hingga 2022 menunjukkan tren pertumbuhan eksponensial. Angka konsumsi bergerak dari titik terendah 14,3 kWh per kapita pada tahun 1971 menjadi 1.173 kWh per kapita pada tahun 2022 (Kementerian ESDM, 2023). Peningkatan 82 kali lipat ini menandakan transformasi struktural ekonomi Indonesia dari basis agraris tradisional menuju industrialisasi modern, di mana listrik telah berubah dari barang mewah menjadi kebutuhan pokok yang tak terhindarkan bagi rumah tangga dan industri di seluruh nusantara.

Peningkatan permintaan energi ini, dihadapkan dengan cadangan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan yang terbatas, menciptakan ancaman serius berupa krisis keamanan energi jangka panjang dan degradasi lingkungan akibat emisi karbon. Menanggapi tantangan strategis ini, Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah regulasi melalui Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. Undang-undang ini mengamanatkan pencapaian kemerdekaan energi nasional melalui pengelolaan sumber daya yang optimal, terintegrasi, dan berkelanjutan. Salah satu pilar utama strategi kemerdekaan ini adalah diversifikasi energi melalui pengembangan Energi Baru dan Terbarukan (EBT).

Indonesia memiliki dengan potensi energi terbarukan yang melimpah. Menurut data dari Badan Energi Terbarukan Internasional atau *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2022), total potensi energi terbarukan Indonesia diperkirakan mencapai 3.692 gigawatt (GW). Namun, kapasitas terpasang aktual hingga tahun 2022 hanya mencapai 10,5 GW, setara dengan 0,3% dari total potensi yang tersedia. Kesenjangan yang lebar antara potensi dan realisasi ini terjadi pada sektor bioenergi. Indonesia memiliki potensi biomassa sebesar 43,3 GW yang bersumber dari limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Namun, kapasitas bioenergi terpasang secara nasional hanya mencapai 1,9 GW. Tingkat pemanfaatan yang rendah ini menunjukkan hambatan struktural yang kompleks, meliputi aspek teknologi konversi, iklim investasi, logistik pasokan bahan baku, dan kebijakan pendukung yang kurang optimal.

Dalam konteks bioenergi, sekam padi telah muncul sebagai sumber biomassa yang sangat strategis dan potensial. Sebagai negara agraris dengan produksi padi yang besar, Indonesia memiliki potensi biomassa sekam padi yang diperkirakan mencapai 9.808 MW (Primadita et al., 2020). Potensi ini tersebar di seluruh pusat produksi beras utama di negara ini, dengan Provinsi Jawa Barat sebagai kontributor terbesar (1.772 MW), diikuti oleh Jawa Timur (1.476 MW) dan Jawa Tengah (1.431 MW). Distribusi potensi yang selaras dengan pusat-pusat populasi dan aktivitas ekonomi ini menjadikan sekam padi sebagai kandidat ideal untuk solusi energi terdesentralisasi. (Nyoman & Kumara, 2020).

Kabupaten Cianjur dipilih sebagai lokasi penelitian karena mewakili paradoks pembangunan yang mencolok. Terlepas dari statusnya sebagai salah satu lumbung pangan utama Jawa Barat dan produsen beras terbesar keempat di provinsi tersebut, Cianjur menghadapi tantangan elektrifikasi yang signifikan. Data dari Direktorat Jenderal Kelistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa Cianjur memiliki jumlah rumah tangga tanpa listrik tertinggi di Jawa Barat, mencapai 5.592 rumah tangga. Lebih lanjut, terdapat sekitar 22.000 rumah tangga berpenghasilan rendah yang tercatat dalam Data Kesejahteraan Sosial Terpadu (DTKS) yang membutuhkan dukungan akses energi (Bagus et al., 2023). Situasi ini sangat ironis mengingat surplus pasokan listrik di sistem jaringan Jawa-Bali, yang menunjukkan masalah distribusi dan aksesibilitas yang akut di daerah terpencil dan pedesaan.

Di sisi lain, pengelolaan limbah pertanian di Cianjur masih menjadi masalah lingkungan yang belum terselesaikan. Sejumlah besar sekam padi seringkali tidak dimanfaatkan, dibakar di lahan terbuka sehingga menyebabkan polusi udara, atau dibuang ke sungai sehingga memicu polusi air. Program Desa Mandiri Energi (DME) pemerintah bertujuan untuk memanfaatkan sumber energi lokal guna memenuhi setidaknya 60% kebutuhan energi desa. Dalam kerangka ini, pemanfaatan sekam padi untuk bioenergi menawarkan solusi integratif: mengatasi masalah limbah lingkungan, menyediakan akses ke energi lokal yang terjangkau, dan meningkatkan nilai tambah ekonomi sektor pertanian (Kementerian ESDM, 2022).

Sebuah studi oleh Kuittinen & Winter (2015) menunjukkan bahwa meskipun banyak praktik bioenergi yang efisien dan efektif telah diidentifikasi, terdapat kesenjangan implementasi yang signifikan karena faktor sosial dan ekonomi. Aspek sosial ekonomi secara signifikan memengaruhi keberhasilan produksi bioenergi, dengan fokus khusus pada pencapaian ketahanan pangan seperti (a) Aksesibilitas

lahan: Akses terhadap kepemilikan lahan oleh petani kecil merupakan pertimbangan penting untuk memastikan manfaat pemanfaatan bioenergi terwujud di komunitas pertanian (Kuitinen & Winter, 2015; Lobell et al., 2009), (b) Lapangan kerja, upah, dan kondisi kerja: Daya beli sangat bergantung pada pendapatan. Oleh karena itu, lapangan kerja dan upah merupakan faktor penting dalam ketahanan pangan. (c) Meningkatkan basis pelanggan petani kecil: Pengembangan bioenergi berpotensi membuka peluang bisnis dan pendapatan baru, khususnya di sepanjang rantai pasokan. Perlindungan untuk menjaga kesejahteraan petani kecil, serta kebijakan yang tepat, diperlukan agar mereka dapat berpartisipasi dalam proses produksi bioenergi. (d) Ketahanan pangan nasional: Permintaan akan bahan baku bioenergi dapat mendorong aktivitas pertanian, seperti intensifikasi lahan (Ray et al., 2013). Namun, hal ini menciptakan persaingan dengan tanaman pangan untuk sumber daya yang terbatas, seperti lahan dan air (Neumann et al., 2010). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa produksi bioenergi dapat memengaruhi ketersediaan tanaman, tergantung pada strategi penanaman (Hartley et al., 2018). (e) Pengembangan masyarakat: Fasilitas bioenergi yang berlokasi di daerah pedesaan diharapkan dapat menarik investasi dan mendukung kemajuan sosial ekonomi lokal. Namun, keberhasilan program sangat bergantung pada keselarasan program tersebut dengan kebutuhan, kemampuan, dan aspirasi masyarakat. Program yang dirancang dengan buruk dapat berdampak negatif terhadap kesejahteraan (Hartley et al., 2018). (f) Keamanan energi dan akses energi: Ketersediaan energi yang stabil sangat penting untuk kemajuan suatu negara. memproduksi bioenergi dari sumber daya lokal dapat memperkuat ketahanan pasokan energi nasional, mengurangi fluktuasi akses energi, dan mendukung ketahanan pangan masyarakat (Debnath & Babu, 2018).

Dengan kondisi saat ini menjadi penting bila pemanfaatan potensi energi baru dan terbarukan di Kabupaten Cianjur untuk dikembangkan dengan tujuan mencapai pemerataan kelistrikan berbasis bioenergi. Berdasarkan hal tersebut setidaknya terdapat tiga aspek permasalahan penting yang menjadi fokus pada penelitian ini dengan menghitung (a) Seberapa besar potensi ekonomi sekam padi sebagai bioenergi di Kabupaten Cianjur, (b) Bagaimana pandangan para pemangku kepentingan dalam melihat potensi pemanfaatan bioenergi sekam padi (c) Bagaimana peluang skenario kebijakan pada implementasi penggunaan sekam padi sebagai bioenergi hasil pertanian di Kabupaten Cianjur.

METODE

Penelitian ini bersifat *ex-ante* (prospektif), berfokus pada estimasi dampak dan kelayakan proyek yang direncanakan. Kerangka penelitian dibangun berdasarkan premis bahwa keberhasilan implementasi bioenergi tidak hanya bergantung pada ketersediaan bahan baku (aspek teknis), tetapi juga pada kelayakan ekonomi yang luas, dukungan pemangku kepentingan (aspek sosial-politik), dan kesesuaian skenario kebijakan (aspek strategis). Alur penelitian dimulai dengan perhitungan potensi biomassa berdasarkan data produktivitas lahan, diikuti oleh analisis ekonomi (eCBA), analisis aktor (MACTOR), dan diakhiri dengan analisis probabilitas kebijakan (SMIC-PROB) untuk menghasilkan rekomendasi holistik.

Tabel 1. Matriks Tujuan, Jenis Data dan Sumber Data

No	Tujuan	Jenis Data	Sumber Data
1	Menganalisis potensi ekonomi pemanfaatan sekam padi sebagai bioenergi di Kabupaten Cianjur	Potensi berdasarkan data produktivitas lahan, diikuti oleh analisis ekonomi Analisis Biaya Manfaat yang diperluas (e-CBA)	Literatur dan Data Sekunder
2	Menganalisis pandangan, posisi, dan kekuatan para pemangku kepentingan dalam melihat potensi penggunaan bioenergi sekam padi untuk memetakan potensi konflik dan koalisi strategis.	Data kuantitatif dan analisis aktor (MACTOR)	Data Primer
3	Memperkirakan probabilitas skenario kebijakan implementasi penggunaan sekam padi sebagai bioenergi pertanian di Kabupaten Cianjur untuk merumuskan rekomendasi prioritas.	Analisis probabilitas kebijakan (SMIC-PROB) untuk menghasilkan rekomendasi holistik.	Data Primer

Extended Cost-Benefit Analysis (eCBA)

Untuk menjawab tujuan pertama menganalisis potensi ekonomi pemanfaatan sekam padi sebagai bioenergi di Kabupaten Cianjur, Penelitian ini menggunakan eCBA, pengembangan dari analisis biaya-manfaat konvensional yang menginternalisasi eksternalitas (biaya dan manfaat non-pasar) (Anshar et al., 2016; Bappenas, 2016; Krisnata et al., 2015). Dengan persamaan dan indikator utama dijelaskan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rumus dan Perhitungan dalam Menganalisis Potensi Sekam Padi di Kabupaten Cianjur dengan Metode eCBA

No	Persamaan	Rumus	Informasi
1	Prakiraan Produksi Padi di Kabupaten Cianjur (Briggs et al., 1999)	$SMA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} P_{t-i}$	MA = Moving Average t = Waktu n = Periode P = Produksi Padi
2	Sekam padi (Anshar et al., 2016)	$RH = RP \times H_{GR} \times C_E$	RH = Sekam Padi (Ton) RP = Produksi Padi H_{GR} = Rasio Perolehan Sekam = 20 % C_E = Efisiensi Pengumpulan = 90 %
3	Potensi Energi Sekam Padi (Gómez Et Al., 2010; Yokoyama & Matsumura, 2015)	$EP_{RH} = RH \times CV_{RH}$	EP_{RH} = Potensi Energi Sekam Padi (TJ) RH = Sekam Padi (Ton) CV_{RH} = Nilai kalor Sekam Padi (13,44 MJ/kg)
4	Kapasitas Energi dalam Listrik (Gómez Et Al., 2010; Yokoyama & Matsumura, 2015)	$EE_{RH} = \frac{EP_{RH}}{C_f}$	EE_{RH} = Kapasitas energi dalam listrik (TWh) EP_{RH} = Potensi Energi Sekam Padi (TJ) C_f = Konversi (1kWh = 3,6MJ)
5	Potensi Tenaga Listrik (Gómez Et Al., 2010; Yokoyama & Matsumura, 2015)	$PP_{RH} = \frac{EE_{RH}}{C_{FP}}$	PP_{RH} = Potensi Tenaga Listrik Terpasang (TJ) EE_{RH} = Kapasitas energi dalam listrik (TWh) C_{FP} = Faktor Konversi Pada Alat
6	Estimasi Nilai Manfaat Lingkungan Dalam Mengurangi Emisi Karbon Bioenergi (IPCC, 2013)	$Emisi\ CO_2 = N \times FE_{CO_2} \times c$ $Emisi\ CO = N \times FE_{CO} \times c$ $Emisi\ CH_4 = N \times FE_{CH_4} \times c$	N = Jumlah Sekam padi FE_{xx} = Jumlah senyawa pencemar yang dihasilkan oleh sekam padi c = Faktor konversi menjadi CO ₂ -e dan dari kg ke ton
7	Estimasi Nilai Manfaat Produksi Pupuk Organik (Gómez Et Al., 2010; Yokoyama & Matsumura, 2015)	$B_{po} = E_{RH} \times P_{po} \times M_{po}$	E_{RH} = Residu hasil pembakaran Sekam Padi B_{po} = Manfaat Menggunakan Sisa Pembakaran Sekam Padi sebagai Pupuk P_{po} = Harga Pupuk Organik M_{po} = Persentase Pemanfaatan Pupuk Organik (%)
8	Estimasi Manfaat Bioenergi Padi Sekam (Gómez Et Al., 2010; Yokoyama & Matsumura, 2015)	$B_{RH} = (PP_{RH} \times P_{eff} \times C_{om}) - C_{omk}$	B_{RH} = Manfaat Penggunaan Sekam Padi sebagai Pengganti Energi Konvensional C_{om} = Biaya Operasional Pembangkit Listrik Biomass C_{omk} = Biaya Operasional Pembangkit Listrik Konvensional dalam kapisata sama PP_{RH} = Kapasitas Energi (Kw)

No	Persamaan	Rumus	Informasi
			P_{eff} = Efisiensi total PLTBm /PLTU(%)
9	Estimasi Biaya Bioenergi (Anshar et al., 2016)	$C_{inv} = \sum_{i=1}^n P_i Q_i$	C_{inv} = Biaya Investasi Pembangkit Listrik Biomass P_i = Harga barang/jasa ke-i per satuan bahan. i =1,2,...n (Rp/Unit) Q_i = Jumlah barang/jasa ke-i per satuan bahan. i =1,2,...n (Unit) i = Jenis Barang/ Jasa yang digunakan
10	Nilai Bersih Sekarang (NPV) (Anshar et al., 2016; Gray et al., 1988)	$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$	NPV = Nilai Bersih Sekarang B_t = Tahun Manfaat t (Rp) C_t = Biaya Investasi i = Tingkat diskonto Sosial t = Tahun (waktu)
11	Rasio Manfaat Biaya (B/C) (Anshar et al., 2016; Gray et al., 1988)	$Net\ B/C = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{C_t - B_t}{(1+i)^t}}$	$\sum_{t=1}^N \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = \text{for } B_t - C_t > 0, \text{ (PV positif)}$ $\sum_{t=1}^N \frac{C_t - B_t}{(1+i)^t} = \text{untuk } C_t - B_t > 0, \text{ (PV positif)}$

Matrix of Alliances and Conflicts, Tactics, Objectives, and Recommendations (MACTOR)

Metode MACTOR digunakan untuk menganalisis perilaku strategis aktor (Fauzi, 2019). Pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis pandangan, posisi, dan kekuatan para pemangku kepentingan dalam melihat potensi penggunaan bioenergi sekam padi untuk memetakan potensi konflik dan koalisi strategis. Pengumpulan data dengan panel ahli mengidentifikasi aktor kunci yang terkait dengan pengaruh aktor dalam kebijakan pemanfaatan potensi sekam padi menjadi bioenergi dengan angka sebagai berikut:

Tabel 3. Pemangku Kepentingan di Kabupaten Cianjur

Pemangku Kepentingan	Singkatan
Badan Perencanaan Pembangunan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Cianjur	BPKC
Gapoktan	GPKT
Pabrik Penggilingan Beras	PPB
Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Cianjur	DTPC
Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Jawa Barat	DTPJ
Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cianjur	DLHC
Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Provinsi Jawa Barat	BPJB
Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Barat	DESDJ
Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Jawa Barat	PTSPJ
Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Barat	DLHJ
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia	KESDM
Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN) Republik Indonesia	ATR

Para ahli juga dihadapkan pada berbagai isu dan tujuan dalam mewujudkan kebijakan pemanfaatan dan pengolahan sekam padi menjadi sumber bioenergi sebagai berikut:

Tabel 4. Isu dan Tujuan Pemanfaatan

Isu	Tujuan	Keterangan
E1 Pengolahan Sekam Padi Menjadi Energi Alternatif di Kabupaten Cianjur	O1	Meningkatkan Ketahanan Energi
	O2	Mengurangi Emisi Limbah Sekam Padi
	O3	Pemanfaatan Limbah Menjadi Pupuk
	O4	Meningkatkan Pendapatan Daerah
	O5	Nilai Investasi non-Pertanian
	O6	Konversi lahan pertanian
	O7	Peningkatan Pendapatan Pertanian

Para ahli memberi skor pada Matriks Pengaruh Langsung (MDI) (pengaruh Aktor terhadap Aktor) dan Matriks Aktor-Tujuan (2MAO) (sikap Aktor terhadap Tujuan). Analisis tersebut menghitung indeks Konvergensi (potensi aliansi) dan Divergensi (potensi konflik) untuk mengidentifikasi dukungan dan hambatan kritis.

Analisis Strategis Skenario Masa Depan Berdasarkan Probabilitas (SMIC-PROB)

Untuk mengatasi ketidakpastian di masa depan, metode SMIC-PROB digunakan untuk memperkirakan probabilitas skenario kebijakan. Lima variabel kebijakan yang diuji meliputi Teknologi (Perencanaan dan Pengembangan), Peningkatan Kapasitas (*Capacity Building*), Institusi (Kemampuan Kerja Sama antar pemangku kepentingan), Infrastruktur (Infrastruktur Logistik), dan Intensifikasi Pertanian (Jenis dan Teknologi Penanaman) berdasarkan Maltoglou et al. (2015) sebagai berikut:

Tabel 5. Hipotesis Kebijakan

Hipotesis	Singkatan
Pengembangan teknologi dan pengetahuan dalam penerapan bioenergi sekam padi	RND
Peningkatan Kapasitas dalam Mengembangkan Pasar Bioekonomi dari Pemanfaatan Sekam Padi (<i>Capacity Building</i>)	CBS
Pengembangan kelembagaan pengelolaan sekam padi	KPS
Pengembangan infrastruktur desa, akses pasar, dan logistik dalam pengembangan bioenergi sekam padi.	INF
Meningkatkan intensifikasi penanaman secara berkelanjutan.	INT

Hasil probabilitas merupakan agregasi dari 12 pakar yang merupakan pembuat kebijakan dalam implementasi penggunaan sekam padi sebagai bioenergi. Analisis Elastisitas mengidentifikasi variabel "Prime Mover" (faktor pendorong) dan variabel "Dependen" untuk memandu prioritas strategis (Fauzi, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Meskipun terjadi penurunan tahunan, total produksi sekam padi kumulatif selama 20 tahun cukup besar, mencapai total 2.258.629 ton sekam padi (RH) yang mampu menghasilkan energi termal kumulatif sebesar 30.355.979 *Megajoule* (MJ). Nilai energi termal ini diterjemahkan menjadi total produksi listrik kumulatif sebesar 2.833.225 MWh (*Mega Watt Hour*) selama dua dekade penuh. Potensi daya terpasang rata-rata tahunan selama periode proyeksi 20 tahun adalah 141.661 MWh/Tahun, menunjukkan kapasitas rata-rata yang sangat konsisten untuk memasok energi terbarukan ke jaringan listrik lokal.

Tabel 6. Proyeksi potensi energi sekam padi terpasang

Year to	Potensi Energi Sekam Padi pada Peralatan Terpasang					
	Hasil Produksi Beras (RP)	RH (SekamPadi asumsi 18 persen) (Ton)	CV _{RH} (Konversi) (MJ/Ton)	EP _{RH} (Potensi Energi) (MJ)	EE _{RH} (1kW = 3,6MJ) (KWh)	Potensi kapasitas terpasang (MWh)
Rata-rata per tahun	627.397	112.931	13.440	1.517.798.970	421.610.825	141.661
total dalam 20 tahun	12.547.941	2.258.629	268.800	30.355.979.397	8.432.216.499	2.833.225

Analisis Potensi Ekonomi (eCBA): Ekonomi Sirkuler

Keuntungannya adalah biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan listrik konvensional, yang untuk rumah tangga dengan konsumsi 900 kWh menggunakan listrik sebesar Rp 1.352 per kWh. Berdasarkan harga tersebut, dibuatlah rumus tarif berdasarkan biaya operasional dan pengumpulan sekam padi, seperti yang ditunjukkan pada tabel.

Tabel 7. Asumsi Nilai Jual Sekam Padi di Kabupaten Cianjur

Indikator	Nilai	Satuan
Operating costs	72.284.167.500	Rupiah
Energy Output	141.661.237	Kwh
Biaya Per Kwh	510	Rupiah/Kwh
Margin+Overhead	35%	Percent
Harga Jual	689	Rupiah
Harga Jual EBT yang dibulatkan	700	Rupiah/Kwh

Manfaat utama PLTBm sekam padi sebagai pengganti listrik konvensional terletak pada perbedaan tarif listrik yang dibayarkan dan nilai ekonomi kumulatif yang dihasilkan sepanjang umur proyek, yang menunjukkan potensi penghematan biaya yang signifikan. Baris pertama tabel menunjukkan bahwa Harga Satuan Listrik Konvensional adalah Rp 1.352/kWh, sedangkan Harga Satuan Energi Terbarukan (RPM Sekam Padi PLTBm) adalah Rp 700/kWh. Perbedaan harga ini menciptakan Manfaat Selisih Harga sebesar Rp 600/kWh, yang merupakan penghematan atau nilai ekonomi per unit energi yang dihasilkan saat menggunakan energi terbarukan. Manfaat selisih harga ini berfungsi sebagai insentif finansial langsung bagi konsumen atau sistem jaringan yang beralih dari energi berbasis fosil.

Berdasarkan tabel 7 harga satuan per kwh yang berasal dari PLTBm sekam padi sebesar Rp 700 dengan asumsi penambahan margin dan overhead dari biaya produksi sebesar 35 persen. Harga tersebut lebih rendah sebesar Rp 652,- dari harga listrik konvensional. Dengan mempertimbangkan jumlah potensi sekam padi maka didapat manfaat rata-rata per tahun dan total per 20 tahun sebagai berikut.

Tabel 8. Manfaat Pengganti Listrik Konvensional

Manfaat	Nilai	Satuan
Harga Satuan Konvensional	1352	Rupiah/Kwh
Harga Satuan EBT	700	Rupiah/Kwh
Manfaat selisih harga	600	Rupiah/Kwh
Produksi Listrik Per tahun MW	141.661	Mwh/Tahun
Manfaat pengganti listrik konvensional per tahun	92.363.126.646	Rupiah/ tahun
Produksi Listrik Per tahun MW	2.833.225	Mwh
Manfaat pengganti listrik konvensional dalam 20 tahun	1.847.262.532.925	Rupiah
Konversi dalam jumlah rumah tangga (Asumsi 1 Rumah = 4 orang)	27.651	Rumah/Tahun

Manfaat utama dari PLTBm sekam padi sebagai pengganti listrik konvensional terletak pada perbedaan biaya tarif listrik yang dibayarkan dan nilai ekonomi kumulatif yang dihasilkan sepanjang usia proyek, menunjukkan potensi penghematan biaya yang signifikan. Pada baris pertama tabel, terlihat bahwa Harga Satuan Listrik Konvensional adalah Rp 1.352/kWh, sementara Harga Satuan EBT (PLTBm Sekam Padi) adalah Rp700/kWh. Perbedaan harga ini menciptakan Manfaat Selisih Harga sebesar Rp600/kWh, yang merupakan penghematan atau nilai ekonomi per unit energi yang dihasilkan ketika menggunakan EBT. Manfaat selisih harga ini menjadi insentif finansial langsung bagi konsumen atau sistem jaringan yang beralih dari energi berbasis fosil.

Manfaat ekonomi ini kemudian diperhitungkan berdasarkan total produksi listrik tahunan dan jangka waktu panjang. Berdasarkan produksi listrik tahunan yang tercantum, yaitu 141.661 MWh/Tahun, total nilai ekonomi yang dihasilkan dari penggantian listrik konvensional untuk satu tahun operasional adalah Rp 92.363.126.646. Angka ini menunjukkan nilai moneter yang dihemat atau diperoleh dari selisih harga tarif listrik yang lebih rendah dari EBT skala besar ini, menunjukkan dampak keuangan yang signifikan di tingkat sistem atau utilitas. Selain itu, dalam proyeksi jangka panjang selama 20 tahun, dengan asumsi total produksi listrik kumulatif sebesar 2.833.225 MWh dalam periode tersebut, manfaat penggantian listrik konvensional mencapai nilai kumulatif yang sangat besar, yaitu Rp 1.847.262.532.925. Nilai yang mendekati Rp 1,85 triliun ini menegaskan kelayakan investasi jangka panjang dan peran strategis PLTBm sekam padi dalam menghasilkan keuntungan ekonomi berkelanjutan melalui diferensiasi biaya bahan bakar dan efisiensi teknologi EBT.

Pada manfaat lingkungan dimana berdasarkan studi yang dilakukan Goembira et al. (2021) menyebutkan proses pembakaran sekam padi di ruang terbuka dengan menggunakan tungku bertekanan tinggi mampu menekan emisi yang keluar. Dalam estimasi emisi GRK yang berasal pengolahan limbah sekam padi, menggunakan metode Tier I IPCC. Metode ini mengurangi nilai emisi pada penanganan sekam padi yang di bakar diudara bebas dan yang menggunakan tungku bertekanan tinggi. Selisih tersebut kemudian dikalikan dengan asumsi penggunaan sekam padi pertahun. Hasil perhitungan tersebut didapat estimasi GRK yang berkurang dengan adanya pengolahan sekam padi pada PLTBm sebagai berikut:

Tabel 9. Nilai Manfaat Pengurangan Emisi GRK Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Bionergi

Emisi	Jumlah pengurangan Emisi Rata-rata per tahun (Ton CO ₂ -e)	Nilai Manfaat Mengurangi Emisi GRK Per tahun (Rp)	Nilai Manfaat Mengurangi Emisi GRK dalam 20 tahun (Rp)
Karbon			
Monoksida (CO)	9,1	6.302.057	126.041.149
Karbon Dioksida (CO ₂)	38,4	26.647.310	532.946.198
PM 2,5	311,4	216.087.889	4.321.757.777
Total	358,8	249.037.256,2	4.980.745.123,6

*Keterangan: Asumsi Nilai tukar rupiah: 16.500/USD

Analisis kuantitatif menegaskan bahwa sistem bioenergi terdesentralisasi yang diusulkan sangat layak secara ekonomi. Proyek ini melibatkan investasi awal yang signifikan tetapi menghasilkan pengembalian jangka panjang yang kuat yang didorong oleh prinsip-prinsip ekonomi sirkular. Struktur Investasi dan Operasional: Total Belanja Modal (CAPEX) untuk sistem 5-unit (total 15 MW) diperkirakan sebesar Rp 849,07 miliar. Rincian biaya menunjukkan bahwa proyek ini padat modal karena peralatan khusus yang dibutuhkan untuk menangani sekam padi yang abrasif.

Tabel 10. Struktur Biaya Investasi dan Operasional (Estimasi)

Komponen	Estimasi biaya (IDR)	Persen Total
CAPEX (Total Investment)	849.071.875.000	100%
- Peralatan Utama (Boiler, Turbin)	273.075.000.000	32,2%
- Infrastruktur, Pekerjaan Sipil	555.871.875.000	65,4%
- Biaya interkoneksi kelistrikan	20.125.000.000	2,4%
Annual Fixed OPEX	66.315.750.000	-
- Pengadaan Bahan Baku (Sekam Padi)	39.789.450.000	60%
- Tenaga Kerja & Administrasi	19.894.725.000	30%

Biaya operasional (OPEX) didominasi oleh pengadaan bahan baku (60%), yang menunjukkan bahwa ekonomi proyek ini sensitif terhadap logistik pengumpulan sekam padi. Berdasarkan asumsi di atas, hasil analisis manfaat ekonomi dari pemanfaatan sekam padi sebagai bioenergi adalah sebagai berikut:

Tabel 11. Proyeksi Analisis Potensi Ekonomi (eCBA) Potensi Energi Sekam Padi Terpasang

No	Perhitungan	Satuan	Tahun Ke-1	Tahun Ke-10	Tahun Ke-20
A Outflow					
1	Biaya Investasi	Rupiah	849.071.875.000		
2	Biaya Operasional dan Overhead	Rupiah	72.284.167.500	83.677.959.402	96.867.697.753
	Total Outflow		921.356.042.500	83.677.959.402	96.867.697.753
B Inflow					
1	Pendapatan	Rupiah	104.026.845.387	99.628.946.836	93.633.627.353
2	Manfaat Pengganti Energi Konvensional	Rupiah	96.893.575.989	92.797.247.625	87.213.035.763
3	Pengurangan Emisi GRK	Rupiah	261.252.636	250.207.770	235.151.147
4	Manfaat Pupuk	Rupiah	68.120.713.485	65.240.803.151	61.314.841.163
	Total Inflow		269.302.387.496	257.917.205.381	242.396.655.425
C	Net Benefit	Rupiah	(652.053.655.004)	174.239.245.979	145.528.957.672
D	Sosial Discount Factor	8,85%	1,000	0,466	0,200
E	PV Benefit Per Tahun	Rupiah	(652.053.655.004)	81.232.649.089	29.059.942.842
	NPV	Rupiah		478.421.505.972	965.202.853.259
	B/C Ratio	Rasio		1,63	2,04

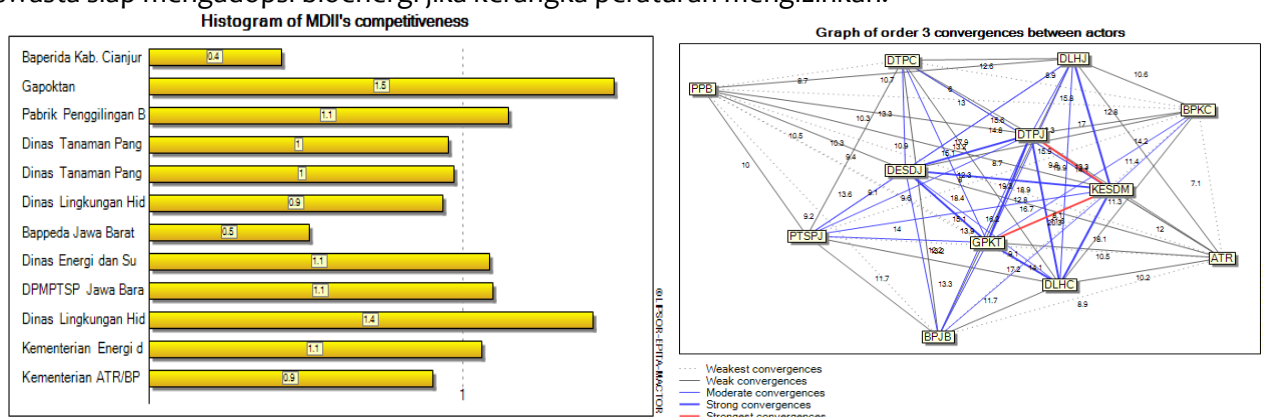
Penilaian Manfaat dan Eksternalitas mengidentifikasi bahwa aliran pendapatan "sirkular" sangat penting untuk profitabilitas proyek yang tinggi. Pada proyek ini didapat nilai penting yang menjadi perhatian diantaranya:

1. Substitusi Listrik: Proyek ini menghasilkan 141.661 MWh/tahun. Dengan perhitungan perbedaan tarif, nilai ekonomi substitusi listrik konvensional adalah Rp 96,9 miliar pada Tahun 1.
2. Produk Sampingan Sirkular (Pupuk): Proses pembakaran menghasilkan 24.845 ton abu setiap tahun. Dinilai sebagai pupuk silika (Rp 2.500/kg), produk sampingan ini memberikan kontribusi sebesar Rp 62,1 miliar setiap tahun. Tanpa penjualan abu, pendapatan proyek akan turun sekitar 40%, kemungkinan besar membuatnya hanya layak secara marginal. Hal ini memvalidasi model "sirkular ekonomi".
3. Internalitas pada eksternalitas lingkungan proyek ini terlihat pada pengurangan emisi sebesar 358,8 ton/tahun dan signifikan. Manfaat lingkungan kumulatif selama 20 tahun bernilai Rp 4,98 miliar, terutama didorong oleh penghematan biaya kesehatan akibat polusi udara (pengurangan emisi PM 2,5 menyumbang Rp 4,3 miliar dari total tersebut).
4. Indikator kelayakan ekonomi dalam perhitungan arus kas selama 20 tahun dengan tingkat diskonto 8,85%, diperoleh indikator dengan kelayakan yang cukup baik dimana NPV > 0, efisiensi cukup baik terlihat dengan nilai B/C 2,04.

Analisis Pemangku Kepentingan (MACTOR): Aliansi dan Konflik

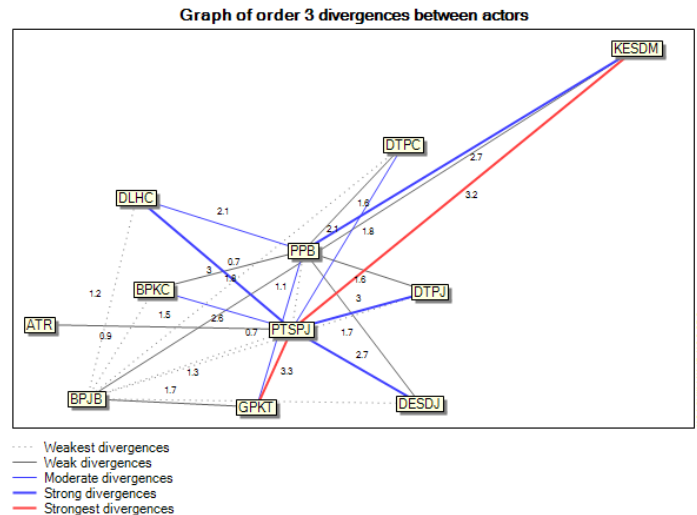
Analisis MACTOR memberikan peta terperinci tentang lanskap sosial-politik. Matriks Pengaruh Langsung dan Tidak Langsung (MDII) mengungkapkan bahwa Gapoktan (Kelompok Petani) dan Penggilingan Padi (PPB) adalah aktor dominan, yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap sistem karena kendali mereka atas rantai pasokan bahan baku. Pemetaan Koalisi menganalisis bahwa Konvergensi Bernilai Tertimbang (3CAA) mengidentifikasi koalisi yang kuat yang mendukung proyek tersebut. Aliansi Kunci yang memiliki konvergensi kuat ada antara Kementerian Energi (KESDM), Dinas Pertanian Provinsi (DTPJ), dan Penggilingan Padi (PPB).

Skor Konvergensi menunjukkan bahwa pasangan KESDM-PPB memiliki skor konvergensi tertinggi yaitu 20,3. Implikasi dari nilai ini menunjukkan bahwa agenda energi nasional (KESDM) selaras sempurna dengan keinginan sektor swasta (PPB) untuk aliran pendapatan baru. Para pengusaha penggilingan swasta siap mengadopsi bioenergi jika kerangka peraturan mengizinkan.



Gambar 1. (a) Daya Saing MDII dalam Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Energi Listrik di Kabupaten Cianjur (b) Konvergensi Orde Ketiga Antar Aktor dalam Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Energi Listrik di Kabupaten Cianjur

Kendala Kritis adalah Badan Penanaman Modal Provinsi (DPMPTSP). Matriks Divergensi mengungkapkan konflik spesifik dan intensitas tinggi yang berpusat pada Badan Penanaman Modal Provinsi (DPMPTSP Jawa Barat).



Gambar 2. Divergensi Orde Ketiga Antar Aktor dalam Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Energi Listrik di Kabupaten Cianjur

Konflik utama dengan skor perbedaan tertinggi (3,3) terjadi antara DPMPTSP dan Gapoktan (Petani), diikuti oleh DPMPTSP vs. KESDM (3,2). Gesekan ini muncul dari tujuan yang saling bertentangan. DPMPTSP biasanya memprioritaskan investasi industri skala besar dan bernilai tinggi (misalnya, pabrik, real estat) untuk memenuhi target investasi regional. Sebaliknya, bioenergi terdesentralisasi membutuhkan perlindungan lahan pertanian dari konversi. DPMPTSP bertindak sebagai penghalang karena metrik kinerjanya belum menilai investasi "hijau/sosial" setinggi modal "industri".

Perencanaan Kebijakan Jangka Panjang (SMIC-PROB): Penggerak Utama

Analisis SMIC-PROB mensimulasikan 32 skenario masa depan yang mungkin berdasarkan penilaian probabilitas dari para ahli.

Tabel 12. Proyeksi Analisis Potensi Ekonomi (eCBA) Potensi Energi Sekam Padi Terpasang

Scenario	1 - RND	2 - CBS	3 - KPS	4 - INF	5 - INT	Prob.
01 - 11111	1	1	1	1	1	0,070
02 - 11110	1	1	1	1	0	0,033
03 - 11101	1	1	1	0	1	0,047
05 - 11011	1	1	0	1	1	0,024
06 - 11010	1	1	0	1	0	0,024
07 - 11001	1	1	0	0	1	0,039
09 - 10111	1	0	1	1	1	0,059
10 - 10110	1	0	1	1	0	0,016
13 - 10011	1	0	0	1	1	0,028
14 - 10010	1	0	0	1	0	0,022
19 - 01101	0	1	1	0	1	0,038
20 - 01100	0	1	1	0	0	0,020
24 - 01000	0	1	0	0	0	0,012
27 - 00101	0	0	1	0	1	0,016
	0,362	0,307	0,299	0,276	0,321	

Probabilitas skenario yang dianalisis menunjukkan bahwa skenario 01 (11111) di mana kelima kebijakan (R&D, Peningkatan Kapasitas, Institusi, Infrastruktur, Intensifikasi) berhasil adalah hasil yang paling mungkin, meskipun dengan probabilitas hanya 7%. Ini menunjukkan bahwa sistem tersebut sinergis. Sistem tersebut cenderung "berhasil bersama" atau "gagal bersama". Terdapat sedikit skenario perantara yang stabil.

Sensitivitas dan Elastisitas yang Menemukan Penggerak pada Analisis Elastisitas adalah hasil yang paling penting untuk perumusan kebijakan. Ini mengukur variabel mana yang memiliki pengaruh paling besar terhadap variabel lainnya.

Tabel 13. Analisis Elastisitas Variabel Kebijakan

Hipotesis	1 - RND	2 - CBS	3 - KPS	4 - INF	5 - INT	Nilai Absolut
1 - RND	1	0,298	0,292	0,693	0,328	1,612
2 - CBS	0,187	1	0,215	0,135	0,195	0,732
3 - KPS	0,149	0,2	1	0,198	0,218	0,765
4 - INF	0,186	0,092	0,145	1	0,122	0,546
5 - INT	0,24	0,231	0,271	0,219	1	0,96
Nilai Absolut	0,762	0,821	0,923	1,246	0,863	0

Hasil identifikasi Pengembangan Infrastruktur (INF) sebagai "Penggerak Utama" (Elastisitas 1,246) secara fundamental mengubah kerangka strategi bioenergi.

1. Bioenergi adalah bisnis logistik. Sekam padi memiliki kepadatan curah yang rendah. Tanpa jalan pedesaan dan pusat pengumpulan yang memadai, biaya transportasi akan meroket, menghancurkan model OPEX (biaya operasional).
2. Ketergantungan pada teknologi menunjukkan bahwa jika infrastruktur gagal, probabilitas keberhasilan Teknologi (R&D) turun mendekati nol. Para pembuat kebijakan sering membuat kesalahan dengan mensubsidi "Teknologi" (gasifier/boiler) tanpa memperbaiki "Infrastruktur". Temuan ini menunjukkan bahwa kebijakan energi terbaik untuk Cianjur adalah kebijakan penyiapan infrastruktur pendukung logistik.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa bioenergi sekam padi di Cianjur tidak hanya layak secara teknis tetapi juga merupakan investasi ekonomi sirkular yang sangat menguntungkan. Berdasarkan tujuan penelitian ini setidaknya terdapat beberapa poin kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini secara komprehensif mengevaluasi kelayakan pembangkit listrik bioenergi sekam padi terdesentralisasi di Kabupaten Cianjur menggunakan kerangka metode penelitian campuran (eCBA, MACTOR, dan SMIC-PROB), yang mengungkapkan bahwa meskipun proyek ini memiliki kelayakan ekonomi yang luar baik (NPV Rp 965,2 miliar dan Rasio B/C 2,04), ketahanan komersialnya secara mutlak bergantung pada arsitektur ekonomi sirkular yang memonetisasi manfaat abu sisa pembakaran yang kaya silika menjadi pupuk organik dan manfaat pergantian energi konvensional. Sedangkan manfaat lingkungan dari kegiatan produksi bioenergi sekam padi lebih sebagai upaya internalisasi cemaran dengan perbedaan proses pembakaran sekam padi sebagai adanya proyek PLTBm sekam padi.
2. Di balik landasan ekonomi yang kuat dan tingginya konvergensi antara regulator nasional dan pengusaha penggilingan swasta ini, upaya transisi menghadapi friksi institusional yang tajam, terutama dari otoritas investasi daerah yang metrik kinerjanya cenderung memarginalkan investasi hijau yang berpusat pada masyarakat sehingga mendesak perlunya pembentukan jalur pelisensian khusus "Investasi Hijau".
3. Selanjutnya, simulasi skenario menetapkan infrastruktur logistik perdesaan sebagai penggerak utama (prime mover) yang definitif bagi keberhasilan program, sekaligus memberikan peringatan bahwa subsidi perangkat keras teknologi gasifikasi tanpa diimbangi pembangunan jaringan jalan yang memadai akan melipatgandakan biaya transportasi logistik dan menciptakan aset yang terbengkalai.
4. Secara metodologi, meskipun studi ini memberikan evaluasi ex-ante yang solid, riset di masa depan harus mengatasi kelemahan sifat deterministik dari pemodelan ekonomi ini serta mengatasi variabilitas pasokan spasio-temporal biomassa dengan memanfaatkan analisis Sistem Informasi Geografis (GIS) longitudinal guna mengoptimalkan ketahanan rantai pasok, serta mengeksplorasi skema pembakaran hibrida (co-firing) secara sinergis bersama limbah lignoselulosa pertanian lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshar, M., Ani, F. N., & Kader, A. S. (2016). Electrical Energy Potential Of Rice Husk As Fuel For Power Generation In Indonesia. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(6), 3616–3624. www.arpnjournals.com
- Bagus Puji Panuntun, & David Oliver Purba. (2023). 22.000 Rumah di Jabar Belum Nikmati Listrik, Cianjur Terbanyak. *Kompas.Com*. <https://bandung.kompas.com/read/2023/11/01/202745178/22000-rumah-di-jabar-belum-nikmati-listrik-cianjur-terbanyak>.
- Briggs, W. M., Makridakis, S., Wheelwright, S. C., Hyndman, R. J., & Diebold, F. X. (1999). Forecasting: Methods and Applications. *Journal of the American Statistical Association*, 94(445), 345. <https://doi.org/10.2307/2669717>
- Debnath, D., & Babu, S. (2018). What does it take to stabilise India's sugar market? *Economic and Political Weekly*, 53, 16–18.
- Fauzi, A. (2019). *Teknik Analisis Keberlanjutan*. Gramedia.
- Goembira, F., Aristi, D. M., Nofriadi, D., & Putri, N. T. (2021). Analisis Konsentrasi PM_{2,5}, CO, dan CO₂, serta Laju Konsumsi Bahan Bakar Biopellet Sekam Padi dan Jerami pada Kompor Biomassa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 201–210. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.201-210>
- Gómez, A., Zubizarreta, J., Rodrigues, M., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2010). An estimation of the energy potential of agro-industrial residues in Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 972–984. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.02.004>
- Gray, C., Simanjuntak, P., K Sabur, L., & Maspaitella, P. F. L. (1988). *Pengantar Evaluasi Proyek*. Gramedia.
- Hartley, B. L., Pahl, S., Veiga, J., Vlachogianni, T., Vasconcelos, L., Maes, T., Doyle, T., d'Arcy Metcalfe, R., Öztürk, A. A., Di Berardo, M., & Thompson, R. C. (2018). Exploring public views on marine litter in Europe: Perceived causes, consequences and pathways to change. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 945–955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.061>
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)].
- [IRENA] International Renewable Energy Agency. (2022). *Indonesia energy transition outlook*, International Renewable Energy Agency. www.irena.org
- Kementerian ESDM. (2022). *Handbook Of Energy & Economic Statistics Of Indonesia 2023*.
- Kementerian ESDM. (2023). *Handbook Of Energy & Economic Statistics Of Indonesia 2023*.
- Krisnata, H., Imanuddin, R., Adinugroho, W. C., & Hutabarat, S. (2015). *Metode Standar untuk Pendugaan Emisi Gas Rumah Kaca dari Hutan dan Lahan Gambut di Indonesia: Sistem Perhitungan Karbon Nasional Indonesia (INCAS)*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kuittinen, M., & Winter, S. (2015). Carbon Footprint of Transitional Shelters. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6(3), 226–237. <https://doi.org/10.1007/s13753-015-0067-0>
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 179–204. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.041008.093740>
- Maltsoglou, I., Kojakovic, A., Rincón, L. E., Felix, E., Branca, G., Valle, S., Gianvenuti, A., Rossi, A., Thulstrup, A., & Thofner, H. (2015). Combining bioenergy and food security: An approach and rapid appraisal to guide bioenergy policy formulation. *Biomass and Bioenergy*, 79, 80–95. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.007>
- Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., & Müller, C. (2010). The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems*, 103(5), 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2010.02.004>
- Primadita, D. S., Kumara, I. N. S., & Ariastina, W. G. (2020). A Review on Biomass for Electricity Generation in Indonesia. *Journal of Electrical, Electronics and Informatics*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.24843/JEEI.2020.v04.i01.p01>
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS ONE*, 8(6), e66428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>

Yokoyama, S., & Matsumura, Y. (2015). The Present Status and Future Scope of Bioenergy in Japan. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 94(10), 1079–1086. <https://doi.org/10.3775/jie.94.1079>