

## Rancangan penilaian dan peningkatan indeks keberlanjutan pada pengembangan bioenergi kelapa sawit untuk kelistrikan

Afdhol Rinaldi, Nazruddin Safaat Harahap, Nadia Sandi Putri, Fani Afrida Fahroha, Dhiya Dwi Afifah, dan Hafidza Sanshia Arum

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia

email: afdhol.rinaldi@uin-suska.ac.id

**Abstrak:** Penelitian ini mengkaji aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi, termasuk emisi gas rumah kaca, kualitas tanah, dan perubahan pendapatan. Studi ini menggunakan Fuzzy AHP dan MDS untuk menilai keberlanjutan, yang menunjukkan pembangunan yang cukup berkelanjutan dengan skor 56,14%. Temuan utama menyoroti lima atribut sensitif yang mempengaruhi keberlanjutan, dan skor 56,41% untuk PKS Terantam menunjukkan keberlanjutan yang cukup baik. Rekomendasi yang diberikan antara lain adalah memperluas penilaian ke pabrik-pabrik lain, mendorong konversi bioenergi menjadi listrik, dan mengadopsi pendekatan holistik untuk keberlanjutan jangka panjang dalam pengembangan kelapa sawit di Riau.

**Kata Kunci:** *kelapa sawit, keberlanjutan bioenergi, dampak lingkungan, implikasi sosial, aspek ekonomi*

## Plan for assessment and improvement of the sustainability index in the development of palm bioenergy for electricity

**Abstract:** This study examines environmental, social, and economic aspects, including GHG emissions, soil quality, and income changes. The study utilizes Fuzzy AHP and MDS to assess sustainability, revealing a moderately sustainable development with a score of 56.14%. Key findings highlight five sensitive attributes affecting sustainability, and a score of 56.41% for PKS Terantam suggests reasonable sustainability. Recommendations include extending assessments to other mills, promoting bioenergy conversion into electricity, and adopting a holistic approach to long-term sustainability in palm oil development in Riau.

**Keywords:** *palm oil, bioenergy sustainability, environmental impact, social implications, economic aspects*

---

How to Cite (APA 7<sup>th</sup> Style): Rinaldi, A., Harahap, N. S., Putri, N. S., Fahroha, F. A., Afifah, D. D., & Arum, H. S. (2024). Rancangan penilaian dan peningkatan indeks keberlanjutan pada pengembangan bioenergi kelapa sawit untuk kelistrikan. *Jurnal Penelitian Saintek*, 29(2), 78-86. <http://dx.doi.org/10.21831/jps.v1i2.77759>.

---

## PENDAHULUAN

Provinsi Riau memiliki keanekaragaman hayati yang luar biasa, terutama di bidang pertanian. Ketersediaan yang melimpah ini merupakan sumber daya yang sangat potensial untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Di antara komoditas pertanian yang potensial untuk pemenuhan energi, kelapa sawit adalah yang paling menonjol. Pada tahun 2020, perkebunan kelapa sawit di Riau mencakup area seluas 2.853.800 hektar, yang meliputi perkebunan rakyat dan swasta (Badan Pusat Statistik, 2019). Area perkebunan yang luas di

Riau ini berkontribusi dalam menghasilkan 9.984.315 ton tandan buah segar (TBS), menurut data Dirljenbun pada tahun 2020. Meskipun memainkan peran penting sebagai pemasok bahan bakar nabati dari kelapa sawit, Riau masih menghadapi tantangan energi, terutama dalam menyediakan listrik bagi masyarakat terpencil. Hingga tahun 2020, rasio elektrifikasi rata-rata di Riau mencapai 91,58%, jauh lebih rendah daripada rasio elektrifikasi nasional yang mencapai 96,71%. (Perusahaan Listrik Negara, 2020). Hasil status keberlanjutan ini menjadi acuan untuk meningkatkan keberlanjutan bioenergi kelapa sawit di PKS Terantam di masa yang akan datang. Riau mengoperasikan 12 Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dengan kapasitas terpasang sebesar 550 ribu ton TBS per jam dan tingkat utilisasi sebesar 85%. PTPN-V memanfaatkan potensi kelapa sawit dengan berbagai cara, seperti mengubah limbah cair (POME) menjadi biogas dan limbah padat (tandan kosong) menjadi biomassa. Pada tahun 2011, PTPN-V berhasil mengimplementasikan teknologi *Methane Capture* yang menghasilkan energi listrik sebesar 1 MW (PTPN-5, 2021).

Berkembangnya bioenergi yang berasal dari minyak kelapa sawit di Indonesia telah memberikan dampak yang besar terhadap masalah keberlanjutan, terutama dalam kaitannya dengan faktor lingkungan dan sosial (Caroko, Komarudin, Obidzinski, & Gunarso, 2011). Masalah lingkungan termasuk perubahan penggunaan lahan berskala besar (Lee *et al.*, 2014); Obidzinski, Andriani, Komarudin, & Andrianto, 2012), berkurangnya keanekaragaman hayati (Fitzherbert *et al.*, 2008), dan dampak selanjutnya pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Havlik *et al.*, 2011). Selain itu, perluasan agroindustri dan produksi bioenergi dari kelapa sawit telah menimbulkan masalah sosial, seperti konflik lahan antara masyarakat dan perusahaan (Caroko *et al.*, 2011) dan kesenjangan sosial yang timbul dari kesenjangan pendapatan di antara para petani (Alwarrizti, Nanseki, & Chomei, 2015).

Pada periode 2012 hingga 2014, FAO melakukan studi percontohan untuk mengevaluasi tingkat keberlanjutan pengembangan bioenergi yang berasal dari minyak kelapa sawit di Indonesia. Namun, studi-studi tersebut tidak menghasilkan temuan yang pasti mengenai kelayakan ekspansi bioenergi yang berasal dari minyak kelapa sawit di Indonesia. Menanggapi keterbatasan dari studi-studi tersebut, (Papilo, Marimin, Hambali, & Sitanggang, 2018) melakukan studi lanjutan untuk menilai indeks keberlanjutan pengembangan bioenergi berbasis kelapa sawit di Indonesia. Temuan mereka menunjukkan bahwa status keberlanjutan pengembangan bioenergi berbasis kelapa sawit di Indonesia masih berada pada level kurang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keberlanjutan melalui penilaian indeks keberlanjutan pengembangan bioenergi listrik dari biomassa kelapa sawit. Penelitian ini berfokus pada pabrik kelapa sawit di lingkungan PTPN-V, khususnya yang berlokasi di Kecamatan Tandun, Kabupaten Rokan Hulu. Melalui penelitian ini, kami berusaha untuk menentukan status keberlanjutan pengembangan bioenergi listrik berbasis kelapa sawit berdasarkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Banyak peneliti yang telah melakukan analisis keberlanjutan pengembangan bioenergi dari berbagai aspek, termasuk ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dalam studinya, beberapa peneliti hanya memperhatikan salah satu aspek keberlanjutan saja, seperti (Popp, Lakner, Harangi-Rákos, & Fári, 2014; Meyer & Priess, 2014; Fritsche & Iriarte, 2014; Lee, Garcia-Ulloa, & Koh, 2011; Caroko *et al.*, 2011; Janaun & Ellis, 2010; Gosens, Lu, He, Bluemling, & Beckers, 2013) yang meneliti keberlanjutan pengembangan bioenergi berdasarkan aspek lingkungan. Sementara telah melakukan penelitian mengenai tingkat keberlanjutan

pengembangan bioenergi berdasarkan aspek ekonomi, sedangkan dan telah melakukan penelitian mengenai keberlanjutan pengembangan bioenergi dilihat dari aspek sosial. Selain itu, beberapa peneliti juga telah menggabungkan dua aspek penting dalam menilai tingkat keberlanjutan pengembangan bioenergi, seperti halnya yang meneliti keberlanjutan pengembangan bioenergi berdasarkan aspek ekonomi dan lingkungan, sementara telah menilai keberlanjutan pengembangan bioenergi ditinjau dari aspek sosial dan lingkungan, sementara telah meneliti keberlanjutan pengembangan bioenergi ditinjau dari aspek sosial dan ekonomi (Kemausuor, Bolwig, & Miller, 2016) .

Selain itu, juga telah melakukan penelitian mengenai penilaian indeks keberlanjutan pertumbuhan bioenergi kelapa sawit di Indonesia. Aspek keberlanjutan yang diteliti meliputi aspek ekonomi, sosial, dan keberlanjutan. Masing-masing aspek dibagi lagi menjadi 10 indikator yang tergabung dalam Indikator Keberlanjutan Bioenergi Indonesia (IBSI) (Papilo *et al.*, 2018) IBSI diadopsi dari 24 indikator yang tergabung dalam GBEP (*Global Bioenergy Partnership*) Standard melalui analisis mendalam dan penyesuaian dengan kondisi eksisting bioenergi di Indonesia.

Agroindustri berbasis kelapa sawit telah membuat kemajuan dalam produksi produk bioenergi. Bioenergi adalah sumber energi berkelanjutan yang berasal dari bahan organik atau biomassa organisme hidup (Papilo *et al.*, 2022). Evaluasi dan implementasi aspek keberlanjutan perlu diterapkan pada rantai pasok agroindustri sebagai salah satu pendukung kinerja agroindustri. Operasionalisasi keberlanjutan rantai pasok agroindustri dapat meningkatkan kinerja agroindustri dan meminimalisir dampak negatif secara ekonomi, sosial, dan lingkungan akibat dinamika dan ketidakpastian pengelolaan sumber daya alam dan (Tsoulfas & Pappis, 2006). Faktanya, manfaat penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan pada rantai pasokan telah terbukti dan dapat meningkatkan daya saing dibandingkan dengan rantai pasokan konvensional (Sopadang, Wichaisri, & Banomyong, 2017) .

## **METODE**

Penelitian dilakukan di PTPN-5, dengan fokus pada Kantor Pusat PTPN-5 di Kota Pekanbaru dan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di Wilayah Tandun, Kabupaten Rokan Hulu. Penelitian ini dijadwalkan berlangsung selama 10 bulan, dari Januari hingga Oktober 2023.

Penelitian ini sebagai kelanjutan dari penelitian sebelumnya, bertujuan untuk menganalisis dan menentukan strategi untuk meningkatkan keberlanjutan pada komoditas unggulan Provinsi Riau, yaitu kelapa sawit. Penelitian ini terdiri dari enam tahapan umum, yaitu kajian literatur tentang pengembangan bioenergi kelapa sawit; identifikasi kondisi pengembangan bioenergi kelapa sawit saat ini di Provinsi Riau; penentuan aspek, indikator, dan parameter untuk setiap indikator keberlanjutan dalam bioenergi berbasis kelapa sawit; survei lapangan untuk mengumpulkan data terkini untuk setiap parameter; melakukan penilaian indeks keberlanjutan untuk mengetahui kondisi keberlanjutan pengembangan bioenergi kelapa sawit di Provinsi Riau; dan penentuan strategi untuk meningkatkan keberlanjutan pengembangan bioenergi kelapa sawit di Provinsi Riau.

Penelitian ini menggunakan data sekunder dan data primer. Data sekunder meliputi informasi mengenai kondisi eksisting pengembangan bioenergi kelapa sawit di Provinsi Riau yang diperoleh dari dokumen-dokumen yang merujuk pada laporan statistik dari lembaga pemerintah terkait. Pengumpulan data dilakukan secara purposive sampling dengan responden terbatas, yang dipilih berdasarkan pengetahuan, pengalaman, tingkat pendidikan, dan keahlian di

bidang bioenergi kelapa sawit. Instrumen akan dirancang dan didistribusikan kepada responden dari berbagai sektor, termasuk pemerintah, akademisi, praktisi industri, dan asosiasi.

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi indeks keberlanjutan dalam bioenergi kelapa sawit, sesuai dengan Standar Indikator Keberlanjutan Bioenergi Indonesia (IBSI). Hal ini mencakup pengukuran lapangan untuk mengumpulkan data mengenai parameter sosial, ekonomi, dan lingkungan untuk 10 indikator yang direkomendasikan. Nilai indeks keberlanjutan dianalisis dengan menggunakan metode *Multidimensional Scaling* (MDS). Hasilnya akan menjadi masukan bagi strategi peningkatan pengembangan bioenergi, khususnya pada perusahaan terpilih, dengan menggunakan metode *Fuzzy Analytical Hierarchical Process* (FAHP) untuk menentukan strategi peningkatan yang optimal. Rencana pelaksanaan penelitian secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Indikator keberlanjutan yang digunakan untuk mengevaluasi pengembangan bioenergi kelapa sawit untuk produksi listrik di pabrik kelapa sawit yang disebutkan di atas meliputi aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Indikator keberlanjutan lingkungan terdiri dari Siklus Hidup Gas Rumah Kaca (LHG), kondisi tanah, kualitas udara, pemanfaatan dan efisiensi air, dan ketertelusuran. Indikator-indikator ini menilai emisi gas rumah kaca selama proses produksi bioenergi, kualitas tanah, parameter kualitas udara, penggunaan air, dan ketertelusuran sumber minyak kelapa sawit.

Indikator keberlanjutan sosial utama mencakup variasi pendapatan, kesempatan kerja di industri bioenergi, dan penggunaan bioenergi untuk meningkatkan ketersediaan layanan energi kontemporer. Indikator-indikator ini mengevaluasi dampak pengembangan bioenergi terhadap pendapatan pekerja lokal, ketersediaan lapangan kerja, dan akses terhadap layanan energi modern. Indikator keberlanjutan ekonomi terdiri dari Produktivitas, Neraca Energi Bersih, Nilai Tambah Bruto, Keanekaragaman Energi, dan Infrastruktur dan logistik untuk distribusi bioenergi. Indikator-indikator ini menganalisis produktivitas bahan baku bioenergi, neraca energi, nilai tambah ekonomi, diversifikasi energi dan infrastruktur distribusi biofuel.

Indikator-indikator ini secara bersama-sama menawarkan evaluasi menyeluruh terhadap keberlanjutan pengembangan bioenergi kelapa sawit untuk tujuan menghasilkan listrik, dengan mempertimbangkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Untuk mengevaluasi kemajuan bioenergi kelapa sawit untuk menghasilkan listrik di pabrik kelapa sawit yang ditentukan, digunakan tiga indikator keberlanjutan.

*Pertama*, Indikator Keberlanjutan Lingkungan. Emisi Gas Rumah Kaca Siklus Hidup (E5), indikator ini menilai emisi gas rumah kaca secara keseluruhan di seluruh rantai produksi bioenergi dan penggunaannya dalam bentuk CO<sub>2</sub>. Indikator ini mencakup emisi dari perkebunan kelapa sawit, proses industri, pengolahan limbah, dan penggunaan bioenergi di pembangkit listrik. Kualitas Tanah (L2), indikator ini mengevaluasi dampak pengembangan bioenergi terhadap kualitas tanah, khususnya perubahan kandungan karbon organik tanah. Kualitas Udara (L3), indikator ini melihat dampak pengembangan dan pemanfaatan bioenergi terhadap kualitas udara, termasuk emisi gas berbahaya seperti NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, dan partikel. Penggunaan dan Efisiensi Air (L4), indikator ini menilai konsumsi dan efisiensi air dalam memproduksi minyak kelapa sawit dan bioenergi. Ketertelusuran (L5), indikator ini mengevaluasi seberapa baik minyak kelapa sawit dan bioenergi dapat ditelusuri dari lokasi produksi hingga produk akhir, untuk memastikan keberlanjutan dan kepatuhan terhadap standar.

Tabel 1

*Rencana pelaksanaan penelitian*

No	Kegiatan	Detail Kegiatan	Bahan dan Metode	Output
1	Konsinyasi dan koordinasi internal tim peneliti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapat internal tim penelitian</li> <li>- Penetapan target waktu pelaksanaan tiap kegiatan</li> <li>- Rencana alokasi anggaran</li> <li>- Pembagian tugas tim</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapat internal dengan melibatkan seluruh anggota peneliti</li> <li>- Pelaksanaan ditargetkan selesai dalam 1 hari</li> </ul>	Rancangan detail pelaksanaan penelitian
2	Melakukan kajian literatur terkait pengembangan bioenergi kelapa sawit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifikasi ketersediaan data terkini tiap indikator dan parameternya</li> <li>- Identifikasi stakeholder yang berpengaruh dalam keberlanjutan bioenergi kelapa sawit yang akan dilibatkan dalam FGD</li> <li>- Melaksanakan review atas kajian-kajian terdahulu yang memiliki relevansi dengan topik kajian</li> <li>- Menyusun draft review artikel publikasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengumpulan artikel-artikel terkait sebagai referensi</li> <li>- Pengumpulan data-data terkini sebagai overview terhadap perkembangan pengembangan bioenergi</li> <li>- Submit artikel publikasi</li> </ul>	Artikel submit pada salah satu jurnal scopus berimpak faktor
3	Menentukan aspek dan indikator serta parameter dari masing-masing indikator keberlanjutan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melaksanakan FGD dalam rangka identifikasi kondisi eksisting parameter tiap indikator</li> <li>- Mengidentifikasi kemungkinan penambahan aspek keberlanjutan sebagai pengembangan atas kajian terdahulu</li> <li>- Merumuskan aspek dan indikator ke dalam suatu instrumen pengukuran keberlanjutan</li> <li>- Melaksanakan konsolidasi dan permohonan kesediaan untuk dikunjungi pada masing-masing stakeholder, dalam rangka pengumpulan data lapangan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FGD dilaksanakan di kota Pekanbaru</li> <li>- FGD melibatkan pelaku antara lain : Dinas Perkebunan, Dinas Pertambangan Energi, Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), PTPN-V, Perusahaan Perkebunan Kelapa Sawit lainnya di Riau, Akademisi dan Peneliti</li> <li>- FGD ditergetkan melibatkan 30 orang peserta</li> </ul>	Dirumuskannya aspek-aspek dan indikator keberlanjutan yang akan dikaji
4	Melakukan survey lapangan untuk mendapatkan data terkini dari masing-masing parameter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melaksanakan pengumpulan data pada beberapa instansi pemerintah</li> <li>- Melaksanakan pengumpulan data pada beberapa instansi perusahaan dan lembaga riset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penyusunan instrumen pengumpulan data</li> <li>- Survey lapangan di Provinsi Riau dalam hal ini di PTPN-5.</li> <li>- Sampel data perlu didapatkan dari perusahaan perkebunan dan pengolahan kelapa sawit.</li> </ul>	Diperolehnya data terkini terkait nilai tiap parameter untuk setiap indikator keberlanjutan
5	Melakukan analisis penilaian indeks keberlanjutan sebagai dasar penentuan status keberlanjutan pengembangan bioenergi kelapa sawit di Provinsi Riau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan kajian dan analisis pengukuran indeks keberlanjutan bioenergi kelapa sawit</li> <li>- Melaksanakan pembahasan internal tim terhadap hasil analisis yang diperoleh</li> <li>- Penyusunan draft artikel</li> <li>- Melaksanakan submisi artikel pada salah satu jurnal terindeks Scopus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melaksanakan pengolahan data terkumpul</li> <li>- Menyusun laporan survey ke dalam bentuk artikel penelitian</li> <li>- Metode analisis menggunakan Metode MDS dan Rapsfish</li> </ul>	Diterimanya artikel pada satu jurnal terindeks Scopus
6	Melakukan analisis dan penentuan strategi peningkatan keberlanjutan pengembangan bioenergi kelapa sawit di Provinsi Riau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan kajian dan analisis penentuan strategi peningkatan indeks keberlanjutan</li> <li>- Melaksanakan pembahasan internal tim terhadap hasil analisis yang diperoleh</li> <li>- Diseminasi hasil kajian</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perancangan SPK Cerdas dengan menggunakan metode FIS dan ANFIS</li> </ul>	Diterimanya laporan hasil penelitian

*Kedua*, Indikator Keberlanjutan Sosial (S). Perubahan Pendapatan (S1), indikator ini mengkaji dampak pengembangan bioenergi terhadap tingkat pendapatan masyarakat setempat. Pekerjaan di Sektor Bioenergi (S2), indikator ini menilai jumlah pekerjaan yang tercipta di industri bioenergi dan kondisi kerja yang terkait dengan pekerjaan tersebut. Penggunaan Bioenergi untuk Memperluas Akses ke Layanan Energi Modern (S3), indikator ini mengukur kontribusi bioenergi untuk meningkatkan akses terhadap energi modern untuk rumah tangga dan industri.

*Ketiga*, Indikator Keberlanjutan Ekonomi (E). Produktivitas (E1), yang mengukur produktivitas bahan baku bioenergi, seperti jumlah minyak sawit mentah (CPO) dan cangkang sawit yang dihasilkan per hektar. Neraca Energi Bersih (E2) menunjukkan tingkat swasembada energi pabrik kelapa sawit, yang dihitung sebagai rasio kandungan energi dari biomassa yang dihasilkan terhadap input energi yang digunakan untuk produksinya. Nilai Tambah Bruto (E3) yang mencerminkan nilai ekonomi total yang ditambahkan oleh pabrik kelapa sawit setelah memperhitungkan semua *input* dan *output*. Keragaman Energi (E4), yang mengukur seberapa besar kontribusi pengembangan bioenergi terhadap keragaman sumber energi, yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Infrastruktur dan Logistik untuk Distribusi Bioenergi (E5) yang menilai ketersediaan dan kecukupan jaringan distribusi listrik untuk mendukung pengiriman bioenergi ke jaringan listrik nasional.

Indikator-indikator ini digunakan untuk mengevaluasi keberlanjutan pengembangan bioenergi kelapa sawit di dua pabrik kelapa sawit, PKS Terantum dan PKS Tundun, dan hasilnya dikategorikan ke dalam tiga aspek: lingkungan, sosial, ekonomi. Indeks keberlanjutan secara keseluruhan untuk bioenergi kelapa sawit ditemukan cukup berkelanjutan, dengan skor 56,14%; yang dianggap dapat diterima untuk pembangunan berkelanjutan. Indikator lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca, kualitas tanah, kualitas udara, penggunaan air, dan ketertelusuran, telah dinilai di pabrik-pabrik kelapa sawit yang disebutkan di atas pada tahun 2018-2020.

Untuk PKS Terantum, emisi GRK relatif stabil selama beberapa tahun, dengan tidak adanya data khusus untuk emisi industri kelapa sawit. Kualitas tanah, yang ditunjukkan dengan persentase Karbon Organik Tanah (SOC), tidak tersedia. Parameter kualitas udara seperti PM 2.5, PM 10, Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Nitrogen Oksida (NO<sub>2</sub>), Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Timbal (Pb), jamur, dan bakteri patogen telah diukur, yang menunjukkan nilai yang berbeda-beda dari tahun ke tahun. Data penggunaan air dan efisiensi tidak tersedia untuk PKS Terantum.

Untuk PKS Tandun, emisi GRK, khususnya emisi dari industri kelapa sawit, menunjukkan tren yang meningkat dari tahun 2018 hingga 2020. Kualitas tanah, yang ditunjukkan oleh persentase Karbon Organik Tanah (SOC), tidak tersedia. Parameter kualitas udara seperti emisi akibat perubahan penggunaan lahan, emisi dari pembuangan limbah, emisi metana dari limbah, dan emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik diukur, yang menunjukkan tren peningkatan dari tahun ke tahun. Data penggunaan air dan efisiensi tidak tersedia untuk PKS Tandun.

Untuk PKS Lubuk Dalam, emisi GRK, khususnya emisi dari industri kelapa sawit, menunjukkan tren penurunan dari tahun 2018 hingga 2020. Kualitas tanah, yang ditunjukkan dengan persentase Karbon Organik Tanah (SOC), tidak tersedia. Parameter kualitas udara seperti emisi akibat perubahan penggunaan lahan, emisi dari pembuangan limbah, emisi metana dari limbah, dan emisi CO<sub>2</sub> dari pembangkit listrik diukur, dan menunjukkan nilai yang bervariasi dari tahun ke tahun. Data penggunaan air dan efisiensi tidak tersedia untuk

PKS Lubuk Dalam. Secara ringkas, indikator lingkungan bervariasi di seluruh pabrik kelapa sawit yang disebutkan, dengan fluktuasi emisi GRK dan parameter kualitas udara, sementara data spesifik untuk kualitas tanah dan penggunaan air dan efisiensi tidak tersedia untuk semua pabrik. Dampak sosial dan ekonomi dari pengembangan bioenergi di pabrik-pabrik kelapa sawit yang disebutkan di atas meliputi perubahan pendapatan, penciptaan lapangan kerja, dan perluasan layanan energi modern.

Mengenai dampak sosial, pengembangan bioenergi telah berkontribusi pada perubahan pendapatan bagi pekerja lokal, seperti yang ditunjukkan oleh upah minimum yang terkait dengan penyediaan dan produksi biogas di sektor kelapa sawit. Data menunjukkan bahwa upah minimum telah meningkat selama beberapa tahun terakhir, yang mencerminkan potensi dampak positif terhadap pendapatan pekerja di sektor bioenergi. Mengenai penciptaan lapangan kerja, ketersediaan lapangan kerja di sektor bioenergi telah dinilai. Data menunjukkan jumlah atau persentase ketersediaan lapangan kerja di industri kelapa sawit, khususnya di bidang perkebunan kelapa sawit dan sektor agroindustri. Angka-angka tersebut menunjukkan ketersediaan lapangan kerja di sektor-sektor ini, yang mencerminkan potensi peluang kerja yang diciptakan oleh pengembangan bioenergi.

Mengenai dampak ekonomi, perluasan layanan energi modern melalui pengembangan bioenergi telah dievaluasi. Hal ini mencakup jumlah absolut dan pertumbuhan proporsional dalam ketersediaan layanan energi kontemporer, yang diukur dalam konteks energi, rumah tangga, dan industri komersial. Data tersebut juga menunjukkan potensi kontribusi pengembangan bioenergi terhadap bauran energi nasional dan peningkatan rasio elektrifikasi nasional. Secara keseluruhan, pengembangan bioenergi di pabrik kelapa sawit yang disebutkan di atas telah menunjukkan potensi dampak sosial dan ekonomi, termasuk potensi peningkatan pendapatan, penciptaan lapangan kerja, dan perluasan layanan energi modern, yang merupakan komponen penting untuk pembangunan berkelanjutan dan pertumbuhan ekonomi.

## **SIMPULAN**

Bagian ini menyajikan hasil yang diperoleh dari diskusi mengenai penilaian metrik keberlanjutan untuk bioenergi kelapa sawit. Penilaian keberlanjutan melibatkan tiga dimensi utama: lingkungan, sosial, dan ekonomi, yang masing-masing terdiri dari 12 indikator. Hasil penilaian lingkungan, sosial, dan ekonomi masing-masing adalah 54,33%, 50,67%, dan 64,24%. Terdapat lima atribut sensitif dalam aspek lingkungan, yaitu penggunaan dan efisiensi air, emisi gas rumah kaca siklus hidup, dan kualitas udara. Pada aspek sosial, atribut sensitifnya adalah Pekerjaan di Sektor Bioenergi, sedangkan pada aspek ekonomi, atribut sensitifnya adalah Nilai Tambah Bruto. Hasil status keberlanjutan sebesar 56,41% menunjukkan bahwa status keberlanjutan bioenergi di PKS Terantam adalah cukup berkelanjutan. Hasil status keberlanjutan ini menjadi acuan untuk meningkatkan keberlanjutan bioenergi kelapa sawit di PKS Terantam di masa yang akan datang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Alwarritzi, W., Nanseki, T., & Chomei, Y. (2015). Analysis of the factors influencing the technical efficiency among oil palm smallholder farmers in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 28, 630-638. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.074>
- Badan Pusat Statistik [BPS]. (2019). Riau dalam angka tahun 2019.

- Caroko, W., Komarudin, H., Obidzinski, K., & Gunarso, P. (2011). Policy and institutional frameworks for the development of palm oil-based biodiesel in Indonesia. *CIFOR*, 1-40.
- Fitzherbert, E. B., Struebig, M. J., Morel, A., Danielsen, F., Brühl, C. A., Donald, P. F., & Phalan, B. (2008). How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, 23(10), 538-545. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.06.012>.
- Fritsche, U. R., & Iriarte, L. (2014). Sustainability criteria and indicators for the bio-based economy in Europe: State of discussion and way forward. *Energies*, 7(11), 6825-6836. <https://doi.org/10.3390/en7116825>.
- Gosens, J., Lu, Y., He, G., Bluemling, B., & Beckers, T. A. M. (2013). Sustainability effects of household-scale biogas in rural China. *Energy Policy*, 54, 273-287. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.032>.
- Havlík, P., Schneider, U. A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Aoki, K., Cara, S. De, Kindermann, G., Kraxner, F., Leduc, S., McCallum, I., Mosnier, A., Sauer, T., & Obersteiner, M. (2011). Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, 39(10), 5690-5702. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.030>.
- Janaun, J., & Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1312-1320. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.011>.
- Kemausuor, F., Bolwig, S., & Miller, S. (2016). Modelling the socio-economic impacts of modern bioenergy in rural communities in Ghana. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.01.007>.
- Lee, J. S. H., Abood, S., Ghazoul, J., Barus, B., Obidzinski, K., & Koh, L. P. (2014). Environmental impacts of large-scale oil palm enterprises exceed that of smallholdings in Indonesia. *Conservation Letters*, 7(1), 25-33. <https://doi.org/10.1111/conl.12039>.
- Lee, J. S. H., Garcia-Ulloa, J., & Koh, L. P. (2011). Impacts of biofuel expansion in biodiversity hotspots. Dalam F. Zachos & J. Habel (Eds.), *Biodiversity Hotspots* (pp. 277-293). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_15).
- Meyer, M. A., & Priess, J. A. (2014). Indicators of bioenergy-related certification schemes - An analysis of the quality and comprehensiveness for assessing local/regional environmental impacts. *Biomass and Bioenergy*, 65, 151-169. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.041>.
- Obidzinski, K., Andriani, R., Komarudin, H., & Andrianto, A. (2012). Environmental and social impacts of oil palm plantations and their implications for biofuel production in Indonesia. In *Ecology and Society* (Vol. 17, Issue 1). <https://doi.org/10.5751/ES-04775-170125>
- Papilo, P., Marimin, Hambali, E., & Sitanggang, I. S. (2018). Sustainability index assessment of palm oil-based bioenergy in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 196, 808-820. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.072>.
- Papilo, P., Marimin, M., Hambali, E., Machfud, M., Yani, M., Asrol, M., Evanila, E., Prasetya, H., & Mahmud, J. (2022). Palm oil-based bioenergy sustainability and policy in Indonesia and Malaysia: A systematic review and future agendas. *Heliyon*, 8(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10919>.
- Perusahaan Listrik Negara [PLN]. (2020). *Statistik PLN tahun 2020*.
- Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rákos, M., & Fári, M. (2014). The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 32, pp. 559-578). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.056>
- PTPN-5. (2021). *PTPN 5 Targets Four Biogas Generators in 2021*. <https://Ptpn5.Com/>.
- Sopadang, A., Wichaisri, S., & Banomyong, R. (2017, April). Sustainable supply chain performance measurement a case study in sugar industry. In *Proceeding of 7<sup>th</sup> Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. <https://doi.org/10.46254/AN07.20170335>.

Tsoufias, G. T., & Pappis, C. P. (2006). Environmental principles applicable to supply chains design and operation. *Journal of Cleaner Production*, 14(18), 1593-1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.05.021>