



LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT **PENGELOLAAN PALM OIL MILL EFFLUENT DALAM** **PROGRAM DEKARBONISASI PABRIK KELAPA SAWIT**

MUHAMMAD AKMAL AGUSTIRA



ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2026



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “*Life Cycle Sustainability Assessment* Pengelolaan *Palm Oil Mill Effluent* dalam Program Dekarbonisasi Pabrik Kelapa Sawit” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis kepada Institut Pertanian Bogor

Bogor, Juli 2026

Muhammad Akmal Agustira
P0602211028

RINGKASAN

MUHAMMAD AKMAL AGUSTIRA. *Life Cycle Sustainability Assessment* Pengelolaan *Palm Oil Mill Effluent* Dalam Program Dekarbonisasi Pabrik Kelapa Sawit. Dibimbing oleh MOHAMAD YANI, SUDRADJAT, MACHFUD, HERMAWAN PRASETYA.

Limbah cair kelapa sawit atau dikenal *palm oil mill effluent* (POME) menjadi sumber emisi yang berdampak terhadap lingkungan terutama pada gas rumah kaca, eutrofikasi, asidifikasi. POME potensial dimanfaatkan sebagai energi baru terbarukan, sekaligus menurunkan dampak lingkungan dengan memanfaatkan biogas dengan teknologi *methane capture*. Dari perspektif pembangunan *green economy*, proses pemanfaatan POME merupakan transformasi ekonomi sirkular. Pendekatan ini menempatkan limbah sebagai sumber daya yang dapat menghasilkan nilai tambah ekonomi dan sosial dalam mendukung program dekarbonisasi PKS menuju sistem yang lebih berkelanjutan.

Tujuan penelitian menganalisis secara komprehensif terhadap keberlanjutan pengelolaan POME melalui pendekatan *life cycle sustainability assessment* (LCSA) yang mengintegrasikan tiga dimensi utama yaitu lingkungan, ekonomi dan sosial terhadap 4 (empat) skema pemanfaatan biogas POME yaitu *co firing* (skema 1), listrik (skema 2), bio CNG pengganti *gasoline* (skema 3) dan bio CNG pengganti LPG (skema 4). Secara spesifik, terdapat 6 tujuan penelitian yaitu (1) menganalisis dampak lingkungan dengan menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA) (2) menganalisis dampak ekonomi melalui pendekatan *life cycle cost assessment* (LCCA) (3) menganalisis dampak sosial menggunakan *social life cycle assessment* (S-LCA) (4) menganalisis tingkat keberlanjutannya dengan metode LCSA (5) Menilai tingkat penerapan ekonomi sirkular (6) merumuskan kebijakan ekonomi sirkular dalam pemanfaatan POME dalam program dekarbonisasi menuju keberlanjutan sawit Indonesia.

Hasil penelitian menunjukkan pemanfaatan biogas POME berperan dalam mendukung upaya dekarbonisasi PKS dan dapat meminimalkan berbagai dampak lingkungan lainnya. Analisis LCA menyatakan pemanfaatan biogas POME dari pengelolaan 1 ton POME melalui teknologi *methane capture* dapat menurunkan dampak lingkungan berupa *global warming potential* (GWP) dengan mereduksi 474,17-1.045 kg-CO₂eq, eutrofikasi sebesar 4,91 kg PO₄, asidifikasi perairan sebesar 2,12-21,4 kg-SO₂eq, asidifikasi terestrial 2,10-2,17 kg-SO₂eq, dan *respiratory organics* 0,21 kg-C₂H₄eq.

Pemanfaatan biogas POME tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, namun juga berpotensi menjadi sumber energi terbarukan yang bernilai ekonomi. Hasil LCCA menunjukkan bahwa skema 2 (listrik) dan 4 (bio CNG LPG) dinilai layak secara ekonomi, sedangkan skema 1 dan 3 (bio CNG gasoline) belum memenuhi kriteria kelayakan dimana *levelized cost* lebih besar dibandingkan harga jual. Berdasarkan analisis finansial bahwa nilai NPV, IRR, BCR dan *payback period* (PP) skema 1 yaitu Rp. 1,08 miliar, 13,01%, 1,73, dan 7 tahun, skema 2 Rp 10,21 miliar, 16,40%, 1,72 dan 6 tahun, skema 3 Rp -40,5 miliar, 5,71%, 0,52, dan 12 tahun, dan skema 4 Rp 55,78 miliar, 20,72%, 1,76 dan 5 tahun. Berdasarkan indikator finansial tersebut, skema 3 dinyatakan tidak layak dimana NPV bernilai negatif, IRR dibawah *hurdle rate* 11,86%, dan BCR dibawah 1.



Pemanfaatan biogas POME menunjukkan dampak sosial yang positif dimana nilai *product social impact assessment* (PSIA) dalam rentang 0,65-0,71. Hal ini mengindikasikan tingkat keberlanjutan sosial pada kategori stabil.

Pemanfaatan biogas POME memiliki peran yang mendukung dalam pembangunan keberlanjutan pada pabrik kelapa sawit. Hasil analisis LCSA menunjukkan bahwa nilai *composite sustainability index* (CSI) skema 1 memiliki nilai CSI tertinggi namun menunjukan *trade-off partial* yang menunjukan adanya ketimpangan antar dimensi. Skema 4 (0,72) dan skema 2 (0,70) menunjukkan keberlanjutan yang lebih seimbang dan stabil. Sebaliknya, skema 2 (0,40) menunjukkan kegagalan keberlanjutan akibat ketimpangan ekstrim, terutama pada dimensi ekonomi sebagai faktor pembatas. Berdasarkan analisis *composite performance index* (CPI), dengan mengintegrasikan CSI dan *total outcome index* (TOI), urutan keberlanjutan terbaik skema 4, skema 2, skema 1 dan skema 3. Hal ini mengindikasikan bahwa keberlanjutan tidak hanya ditentukan oleh nilai indeks tertinggi, namun terintegrasi yang seimbang antara dimensi lingkungan, ekonomi dan sosial.

Hasil penilaian ekonomi sirkular pada keempat skema menunjukkan nilai berkisar 0,552-0,675 yang mengindikasikan tingkat sirkularitas pada kategori moderat hingga tinggi serta berada pada fase transisi. Hal ini menunjukkan bahwa ekonomi sirkular telah mulai diterapkan dan memberikan manfaat nyata walaupun belum mencapai kondisi optimal.

Hambatan implementasi pengembangan biogas POME bukan pada aspek teknologi namun bersifat sistemik dan multidimensional terkait pasar, pembiayaan, infrastruktur, valuasi dan kelembagaan dan tata aturan yang saling tumpang tindih sehingga memicu *sustainability trap*. Untuk itu dirumuskan kebijakan *integrated policy response* (IPR) yang mengintegrasikan instrumen kebijakan yaitu *mandatory*, pembentukan pasar energi, dukungan fiskal dan pembiayaan, pengembangan infrastruktur ekonomi karbon serta penguatan kelembagaan dan kapasitas teknologi pembiayaan.

Kata Kunci : dekarbonisasi, ekonomi sirkular, LCSA, POME, *sustainability*

SUMMARY

MUHAMMAD AKMAL AGUSTIRA. Life Cycle Sustainability Assessment of Palm Oil Mill Effluent in the Palm Oil Mill Decarbonization Program. Supervised by MOHAMAD YANI, SUDRADJAT, MACHFUD, and HERMAWAN PRASETYA.

Palm oil mill effluent (POME) is a source of emissions that impact the environment, particularly greenhouse gases, eutrophication, and acidification. POME can be used as a new energy source while reducing environmental impacts through biogas technology for *methane capture*. In the economic development perspective, the POME utilization process is part of a circular economy transformation. This approach positions waste as a resource that can generate added economic and social value, supporting the palm oil mill decarbonization program toward a more sustainable system.

This study aims to comprehensively evaluate the sustainability of palm oil mill effluent (POME) management using a life cycle sustainability assessment (LCSA) framework that integrates environmental, economic, and social dimensions. Four POME biogas utilization schemes are considered: *co firing* (scheme 1), electricity generation (scheme 2), bio-compressed natural gas (bio-CNG) as a gasoline substitute (scheme 3), and bio-CNG as a liquefied petroleum gas (LPG) substitute (scheme 4). The specific objectives are: (1) to analyse environmental impacts using the life cycle assessment (LCA) method; (2) to assess economic impacts through life cycle *cost* assessment (LCCA); (3) to evaluate social impacts using social life cycle assessment (S-LCA); (4) to determine the overall level of sustainability via the LCSA method; (5) to assess the extent of circular economy implementation; and (6) to formulate circular economy policies for POME utilization within the decarbonization program for sustainable Indonesian palm oil.

The findings indicate that POME biogas utilization contributes to palm oil mill (PKS) decarbonization efforts and reduces additional environmental impacts. Life cycle assessment (LCA) results demonstrate that managing 1 ton of POME using *methane capture* technology can decrease global warming potential (GWP) by 474.17 to 1,045 kg-CO_{2eq}, eutrophication by 4.91 kg-PO₄, aquatic acidification by 2.12 to 21.4 kg-SO_{2eq}, terrestrial acidification by 2.10 to 2.17 kg-SO_{2eq}, and *respiratory organics* by 0.21 kg C₂H_{4eq}.

Utilizing POME biogas reduces environmental impacts and presents significant potential as a renewable energy source with economic value. Life Cycle *Cost* Analysis (LCCA) indicates that Scheme 2 (electricity) and Scheme 4 (bio-CNG LPG) are economically viable, whereas Scheme 1 and Scheme 3 (bio-CNG gasoline) are not, as their *levelized costs* surpass the selling price. Financial analysis reveals that the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), and Payback Period (PP) for Scheme 1 are IDR 1.08 billion, 13.01%, 1.73, and 7 years, respectively. For Scheme 2, these values are IDR 10.21 billion, 16.40%, 1.72, and 6 years; for Scheme 3, IDR -40.5 billion, 5.71%, 0.52, and 12 years; and for Scheme 4 IDR 55.78 billion, 20.72%, 1.76 and 5 years.

The application of POME biogas yields positive social impacts, as evidenced by Product Social Impact Assessment (PSIA) values ranging from 0.65 to 0.71. It indicated a consistent level of social sustainability.

Utilization of POME biogas contributes to poverty reduction initiatives within palm oil mills. Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) results show that



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Scheme 1 attains the highest Composite Sustainability Index (CSI) score but involves trade-offs, indicating disparities among sustainability dimensions. Scheme 4 (0.72) and Scheme 2 (0.70) provide more balanced and stable results. Conversely, Scheme 2 (0.40) displays considerable inequality, especially in the economic dimension, which limits its effectiveness. Composite Performance Index (CPI) analysis, which combines CSI and Total Outcome Index (TOI), ranks the schemes from best to worst as follows: Scheme 4, Scheme 2, Scheme 1, and Scheme 3. These results indicate that overall desirability is determined by the balanced integration of environmental, economic, and social factors, rather than by a single index value.

Circular economy assessment of the four schemes yields scores between 0.552 and 0.675, reflecting a moderate to high degree of circularity and indicating a transitional stage. These findings demonstrate that circular economy principles are being adopted and are delivering measurable *benefits*, although optimal circularity has not yet been reached.

The main barriers to POME biogas development are systemic and multidimensional, encompassing market dynamics, financing, infrastructure, valuation, institutional frameworks, and overlapping regulations, all of which contribute to sustainability traps. To overcome these challenges, an Integrated Policy Response (IPR) has been developed, comprising *mandatory* policy instruments, energy market development, fiscal and financial support, carbon-economy infrastructure, and enhanced institutional and technological financing capacity.

Key words : *circular economic, decarbonization, LCSA , POME, sustainability*



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT
PENGELOLAAN *PALM OIL MILL EFFLUENT* DALAM
PROGRAM DEKARBONISASI PABRIK KELAPA SAWIT

MUHAMMAD AKMAL AGUSTIRA

Disertasi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Doktor pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN
LINGKUNGAN SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2026

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

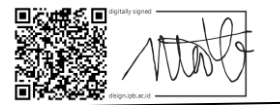


Judul Disertasi : *Life Cycle Sustainability Assessment* Pengelolaan *Palm Oil Mill Effluent* pada Program Dekarbonisasi Pabrik Kelapa Sawit

Nama : MUHAMMAD AKMAL AGUSTIRA
NIM : P0602211028

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Mohamad Yani, M.Eng



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir Sudradjat, M.S



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Machfud, M.S



Pembimbing 4 :
Dr. Hermawan Prasetya, S.Si, M.T



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pengelolaan
Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Prof. Dr. Lina Karlinasari, S Hut.,M.Sc.F.Trop
NIP. 197311261998022001

Dekan Sekolah Pascasarjana
Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc
NIP. 19660728191031002

Tanggal Ujian:
10 Juni 2026

Tanggal Pengesahan : 17 Juli 2026



PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT atas anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Disertasi berjudul *Life Cycle Sustainability Assessment* Pengelolaan *Palm Oil Mill Effluent* pada Program Dekarbonisasi Pabrik Kelapa Sawit. Penelitian ini menunjukkan bahwa POME secara perspektif tidak hanya sebagai sumber emisi dan pencemaran lingkungan, namun dapat dijadikan aset strategis pembangunan sawit berkelanjutan melalui kerangka ekonomi sirkular dengan pengurangan dampak lingkungan, memperpanjang dan mengefisienkan penggunaan sumber daya dan menjadikan sebagai sumber ekonomi baru yang rendah karbon.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir Mohamad Yani sebagai ketua komisi pembimbing, Prof Dr. Sudradjat, MS, Prof. Dr. Ir Machfud, MS, Dr Hermawan Prasetya, SSi. MT sebagai anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, memberikan saran dan proses pembimbingannya secara sabar selama pelaksanaan penelitian, proses penulisan disertasi dan penulisan karya ilmiah.
2. Prof Dr. Ir. Lina Karlina, S.hut M.Sc.F.Trop selaku ketua program studi dan sekretaris Dr.drh. Ardilasunu Wicaksono, M. Si dan jajarannya
3. Dr. Iman Yani Harahap direktur PT. Riset Perkebunan Nusantara (RPN) dan jajaran *board of management* Dr Edwin Lubis, Dr. Tjahyono Herawan dan Dr. Misnawi serta Dr. Winarna Kepala Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) yang telah memberi kesempatan penulis melanjutkan studi program Doktor SPs IPB
4. Direktur utama *Palm Co* Bapak Jatmiko, direktur *sustainability* Palm Co bapak Ugun beserta jajarannya yang telah mengizinkan penelitian di lapangan.
5. Rekan Rekan peneliti sosial ekonomi PPKS yang telah membantu proses penelitian.
6. Istri tercinta Samira Ulfa, anak anak (Nadif, Rais dan Maher) yang selalu memberi semangat dan dukungan.
7. Teman teman seperjuangan program Doktor PSL Angkatan 2021
8. Rekan rekan di kantor Direksi PT. RPN, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK)

Semoga karya ilmiah ini diharapkan dapat bermanfaat bagi industri minyak sawit Indonesia, pemerintah, semua *stakeholder* perkelapasawitan yang terus membangun dan mengembangkan minyak sawit berkelanjutan. Aamiin.

Bogor, Juli 2026

Muhammad Akmal Agustira

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	13
DAFTAR GAMBAR	15
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.5 Ruang Lingkup	8
1.6 Kerangka Pemikiran	8
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Emisi Karbon dan Gas Rumah Kaca	12
2.2 Sumber Emisi Karbon	14
2.3. Dekarbonisasi	15
2.4 Emisi Karbon Industri Kelapa Sawit	16
2.5 Limbah Kelapa Sawit (<i>Palm Oil Mill Effluent</i>)	17
2.6 Pengolahan POME	18
2.8 <i>Life Cycle Sustainability Assessment</i>	25
III METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Metode Pengumpulan Data	29
3.3 Metode Analisis Data	29
IV ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PEMANFAATAN BIOGAS POME DENGAN METODE <i>LIFE CYCLE ASSESSMENT</i>	33
4.1 Abstrak	33
4.2 Pendahuluan	33
4.3 Metode	35
4.5 Simpulan	54
V ANALISIS DAMPAK EKONOMI PEMANFAATAN BIOGAS POME DENGAN METODE <i>LIFE CYCLE COST ASSESSMENT</i>	55
5.1 Abstrak	55
5.2 Pendahuluan	55
5.3 Metode	58
5.4 Hasil dan Pembahasan	60
5.5 Simpulan	73
VI ANALISIS DAMPAK SOSIAL PEMANFAATAN BIOGAS POME DENGAN METODE <i>SOCIAL LIFE CYCLE ASSESSMENT</i>	74
6.1 Abstrak	74
6.2 Pendahuluan	74



6.3 Metode	77
6.4 Hasil dan Pembahasan	82
6.5. Simpulan	103
VII ANALISIS KEBERLANJUTAN PEMANFAATAN POME DENGAN METODE <i>LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT</i>	105
7.1 Abstrak	105
7.2 Pendahuluan	105
7.3 Metode	109
7.4 Hasil dan Pembahasan	114
7.5 Simpulan	125
VIII PENILAIAN DAN STRATEGI EKONOMI SIRKULAR PADA PEMANFAATAN BIOGAS POME	126
8.1 Abstrak	126
8.2 Pendahuluan	126
8.3 Metode	128
8.4 Hasil dan Pembahasan	130
8.5 Simpulan	147
IX KEBIJAKAN PEMANFAATAN POME DALAM PROGRAM DEKARBONISASI MENUJU INDUSTRI KELAPA SAWIT BERKELANJUTAN	148
9.1 Abstrak	148
9.2 Pendahuluan	148
9.3 Metode	151
9.4 Hasil dan Pembahasan	152
9.5 Simpulan	182
X PEMBAHASAN UMUM	184
XI SIMPULAN UMUM DAN SARAN	190

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1.1	Penelitian terdahulu topik LCA , LCCA, S-LCA dan LCSA	10
2.1	Potensi pemanasan global dari berbagai jenis GRK	12
2.2	Karakteristik dan bahan baku POME	18
2.3	Komposisi biogas	19
2.4	Parameter proses pada instalasi pemanfaatan biogas	20
2.5	Teknologi pengolahan limbah anaerob	22
2.6	Parameter potensi energi listrik biogas	24
3.1	Lokasi Penelitian	29
3.2	Matrik pencapaian tujuan	30
4.1	Lokasi Penelitian	36
4.2	Nilai kalor energi bahan bakar	38
4.3	Faktor emisi GRK bahan bakar peralatan bergerak dan tak bergerak IPC 2006	39
4.4	Klasifikasi dampak berdasarkan kategori penilaian dampak	39
4.5	Life cycle inventory pembibitan dan perkebunan kelapa sawit	41
4.6	Life cycle inventory pabrik kelapa sawit	42
4.7	Hasil perhitungan LCA pada pemanfaatan POME terhadap dampak lingkungan dengan metode IMPACT2002+	45
4.8	Dampak kerusakan (end point) pada produksi minyak sawit	45
4.9	Pengurangan emisi pada methan capture pada pengelolaan POME	48
4.10	Life cycle inventory biogas plan dengan berbagai pola pemanfaatan	48
4.11	Perbandingan kategori dampak POME BAU dengan berbagai skema pemanfaatan biogas	51
4.12	Perbandingan kategori dampak agregat (<i>endpoint</i>) POME BAU dengan berbagai skema pemanfaatan biogas	51
5.1	Skema pemanfaatan biogas POME yang diteliti	62
5.2	Perbedaan teknis skema pemanfaatan biogas pome	63
5.3	Parameter teknis POME biogas dan CH ₄	64
5.4	Parameter bahan baku dan potensi pembentukan biogas dan CH ₄	65
5.5	Capex pembangunan instalasi biogas POME skema 1	66
5.6	Capex pembangunan instalasi biogas POME skema 2	66
5.7	Capex pembangunan instalasi biogas POME skema 3 dan 4	66
5.8	Biaya opex berbagai skema Pemanfaatan biogas POME	67
5.9	Analisis LCC dan analisis kelayakan finansial biogas pome dengan berbagai skema	69
5.10	Analisis sensitivitas LC dengan berbagai skema pemanfaatan POME	70
5.11	Analisis sensitivitas finansial dengan berbagai skema pemanfaatan POME	71
5.12	Penurunan emisi pengolahan POME dengan berbagai skema teknologi pemanfaatan POME (per Tahun)	71

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



5.13	Biaya pengurangan emisi dari skema teknologi pemanfaatan biogas POME	72
6.1	Pemangku kepentingan, variabel sosial dan indikator s-lca penelitian	79
6.2	Struktur skala likert penilaian product social impact assessment	80
6.3	Interpretasi penilaian skala indeks PSIA	81
6.4	Penilaian tingkat keberlanjutan sosial	81
6.5	Jumlah pekerja pengolahan biogas POME setiap skema	83
6.6	Hasil analisis PSIA pemangku kepentingan tenaga kerja dengan berbagai skema pemanfaatan biogas POME	95
6.7	Hasil analisis PSIA pemangku kepentingan tenaga kerja dengan berbagai skema pemanfaatan biogas POME	97
6.8	Nilai <i>social sustainability index</i> skema pemanfaatan biogas POME	100
7.1	Skema pemanfaatan biogas POME yang diteliti	110
7.2	Interpretasi nilai <i>composite sustainability index</i>	113
7.3	Interpretasi trade-off skema pemanfaatan biogas POME	113
7.4	Perbandingan kategori dampak POME berbagai skema pemanfaatan biogas dengan teknologi <i>methane capture</i> per ton POME	115
7.5	Indikator keberlanjutan life cycle <i>cost</i> assessment (LCCA)	117
7.6	Analisis composite performance index skema tingkat keberlanjutan pemanfaatan biogas POME	121
8.1	Indikator penilaian CECI	130
8.2	Indeks MCI skema pemanfaatan POME	131
8.3	Perbandingan Produksi Penerapan Land Application POME	131
8.4	Indeks ECI skema pemanfaatan POME	133
8.5	Perbandingan kategori dampak POME business as usual dengan berbagai scenario pemanfaatan biogas dengan teknologi <i>methane capture</i> per ton POME	134
8.6	Indeks CE skema Pemanfaatan POME	137
8.7	Strategi Skema Optimalisasi Investasi Pemanfaatan Biogas POME	139
8.8	Strategi kebijakan perusahaan dalam ekonomi sirkular dalam pemanfaatan POME	141
8.9	Kebijakan strategis ekosistem multipihak	142
8.10	Inovasi Produk POME yang berpotensi dalam Pengembangan Ekonomi Sirkular	143
8.11	Strategi monetisasi pemanfaatan POME	145
9.1	Regulasi dan kebijakan terkait pemanfaatan biogas POME	158
9.2	Permasalahan dalam sistem pengembangan biogas POME berdasarkan analisis MLP	169



DAFTAR GAMBAR

1.1 Kerangka pemikiran	9
2.1 Sektor utama penyumbang emisi karbon global	14
4.1 Batas ruang lingkup penelitian	37
4.2 Skema instalasi biogas	46
4.3 Perbandingan dampak kerusakan lingkungan POME	52
5.1 Proses pengolahan dan pemanfaatan POME	61
5.2 Biaya pengurangan dampak kerusakan lingkungan	72
6.1 Tahapan penelitian	78
6.2 Sebaran responden pekerja berdasarkan usia	84
6.3 Tingkat pendidikan responden	85
6.4 Sebaran responden berdasarkan asal daerah pekerja	85
6.5 Status karyawan responden	86
6.6 Distribusi umur responden	87
6.7 Karakteristik responden berdasarkan tingkat pendidikan	88
6.8 Karakteristik responden berdasarkan jenis mata pencaharian	89
6.9 Identifikasi indikator dominan dampak sosial tenaga kerja	96
6.10 Identifikasi indikator dominan dampak sosial masyarakat lokal	98
6.11 Identifikasi sub indikator dampak lingkungan biogas POME	99
6.12 Identifikasi indikator SCI pemanfaatan biogas POME	101
7.1 Nilai <i>environmental index</i> skema pemanfaatan biogas POME	116
7.2 Nilai <i>economy index</i> skema pemanfaatan biogas POME	117
7.3 Nilai <i>social index</i> skema pemanfaatan biogas POME	119
7.4 Nilai CSI skema pemanfaatan Biogas POME	120
7.5 Sensitivitas Nilai CSI Atas Perubahan Harga Energi	124
7.6 Sensitivitas Nilai CSI pada Skema 2 untuk Peruntukan Energi	124

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.