

- 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.

***LIFE CYCLE ASSESSMENT* PEMANFAATAN LIMBAH ORGANIK SEBAGAI BAHAN BAKAR PADAT ALTERNATIF**

SRI MULYANI



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “*Life Cycle Assessment* Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Bahan Bakar Padat Alternatif” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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 tesis ini.

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

Bogor, Juni 2025

Sri Mulyani
P0502231037

RINGKASAN

SRI MULYANI. *Life Cycle Assessment* Pemanfaatan Limbah Organik sebagai Bahan Bakar Padat Alternatif. Dibimbing oleh EDY HARTULISTIYOSO, dan SUPRIYANTO.

Ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil dalam skala besar menguras cadangan energi dan menimbulkan permasalahan lingkungan akibat meningkatnya emisi zat pencemar seperti SO₂, NO₂ dan CO₂. Untuk mengurangi emisi CO₂ dan mitigasi pemanasan global, diperlukan adopsi energi alternatif netral karbon seperti biopelet berbasis biomassa yang dapat menjadi strategi penting dalam mendukung transisi menuju sistem energi yang bersih dan berkelanjutan. Kawasan kampus IPB University sebagai institusi berbasis pertanian dengan luas lahan 267 hektar, menghasilkan limbah biomassa khususnya ranting dan daun yang cukup besar dan dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan berupa biopelet.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan dampak lingkungan dari setiap tahap produksi pelet menggunakan pendekatan LCA dengan bahan baku limbah ranting dan daun, serta menghasilkan biopelet yang sesuai dengan standar untuk dijadikan sebagai alternatif energi. Selain itu, tujuan penelitian ini adalah merancang model bisnis biopelet dari limbah organik dengan pendekatan Business Model Canvas (BMC). Pendekatan LCA terdiri dari empat tahapan yaitu penentuan tujuan dan batasan sistem, analisis inventori, penilaian dampak lingkungan dan interpretasi. Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas untuk skenario perbaikan setiap proses dalam produksi biopelet yang paling signifikan menyumbangkan dampak lingkungan.

Hasil menunjukkan bahwa dampak lingkungan dari produksi pelet ranting rata-rata lebih tinggi daripada pelet daun. Untuk setiap kg pelet ranting berkontribusi terhadap pemanasan global sebesar 3,05 kg CO₂ eq, SOD sebesar 1,3 × 10⁻⁶ kg CFC11 eq, TAC sebesar 0,011 kg SO₂ eq, FEU sebesar 0,005 kg P eq, dan HCT sebesar 0,538 kg 1,4-DCB eq. Sementara itu, per kg pelet daun memberikan kontribusi terhadap pemanasan global sebesar 0,54 kg CO₂ eq, SOD sebesar 1,35 × 10⁻⁷ kg CFC11 eq, TAC sebesar 0,0018 kg SO₂ eq, FEU sebesar 0,0006 kg P eq, dan HCT sebesar 0,130 kg 1,4-DCB eq. Mayoritas kontribusi terhadap dampak lingkungan dari kedua proses produksi pelet berasal dari tahap penghalusan bahan, yang menggunakan bahan bakar solar sebagai sumber energi utama. Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam pengelolaan berkelanjutan untuk mengurangi potensi limbah organik terutama kategori limbah ranting dan daun di wilayah kampus IPB Dramaga, dimana potensi ini dapat dimanfaatkan atau dikonversi untuk menjadi bahan bakar padat dalam hal penggunaan alternatif energi atau energi terbarukan. Di sisi lain, analisis BMC mengidentifikasi bahwa pengembangan model bisnis biopelet di kawasan kampus IPB memiliki potensi besar untuk diimplementasikan secara berkelanjutan. Ketersediaan bahan baku yang stabil, dukungan infrastruktur kampus, serta peluang besar pasar dari kalangan rumah tangga, UMKM, hingga institusi, menjadi kekuatan utama dalam mendukung keberlanjutan usaha.

Seluruh elemen BMC mulai dari proporsi nilai, segmen pelanggan, saluran distribusi, hingga struktur biaya dan mitra kunci telah dirancang untuk mendorong



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.

efisiensi pengelolaan limbah organik sekaligus menciptakan nilai ekonomi dan sosial di tingkat lokal. Dengan mengintegrasikan hasil analisis lingkungan dan perencanaan bisnis melalui BMC, penelitian ini memberikan dasar strategis dalam merekomendasikan pengembangan biopelet sebagai solusi dual proses yaitu mengurangi akumulasi limbah organik dan memperkuat kemandirian energi berbasis sumber daya lokal. Impelementasi model bisnis di harapkan dapat menjadi contoh replika energi terbarukan yang inklusif, berkelanjutan, dan adaptif terhadap tantangan ekonomi dan lingkungan masa depan.

Kata kunci: Biopelet, business model canvas, energi terbarukan, dampak lingkungan, limbah organik, *life cycle assesment*, gwp.

SUMMARY

SRI MULYANI. Life Cycle Assessment of Organic Waste Utilization as Alternative Solid Fuel. Supervised by EDY HARTULISTIYOSO of 1st SUPERVISOR 1st, and SUPRIYANTO of 2nd.

The heavy reliance on fossil fuels is depleting energy reserves and causing environmental problems due to increased emissions of pollutants such as SO₂, NO₂, and CO₂. To mitigate CO₂ emissions and global warming, it is necessary to adopt carbon-neutral alternative energy sources such as biomass-based biopellets, which can be an important strategy in supporting the transition to a clean and sustainable energy system. The IPB University campus area, as an agriculture-based institution spanning 267 hectares, generates significant amounts of biomass waste, particularly branches and leaves, which can be utilized as a renewable energy source in the form of biopellets.

This study was conducted to analyze and compare the environmental impact of each stage of pellet production using the LCA approach with branch and leaf waste as raw materials and to produce biopellets that meet standards to be used as an energy alternative. In addition, the purpose of this study was to design a biopellet business model from organic waste using the Business Model Canvas (BMC) approach. The LCA approach consists of four stages: defining the objectives and system boundaries, conducting an inventory analysis, assessing environmental impacts, and interpreting the results. Additionally, a sensitivity analysis was performed for improvement scenarios in each process of biopellet production that significantly contributes to environmental impacts.

The results show that the environmental impact of branch pellet production is on average higher than that of leaf pellet production. For every kilogram of branch pellets, the contribution to global warming is 3.05 kg CO₂ eq, SOD is 1.3×10^{-6} kg CFC11 eq, TAC is 0.011 kg SO₂ eq, FEU is 0.005 kg P eq, and HCT is 0.538 kg 1,4-DCB eq. Meanwhile, per kilogram of leaf pellets contributes to global warming by 0.54 kg CO₂ eq, SOD by 1.35×10^{-7} kg CFC11 eq, TAC by 0.0018 kg SO₂ eq, FEU by 0.0006 kg P eq, and HCT of 0.130 kg 1,4-DCB eq. The majority of the environmental impact from both pellet production processes stems from the material grinding stage, which uses diesel fuel as the primary energy source. This study is expected to assist in sustainable management to reduce the potential for organic waste, particularly branches and leaves, in the IPB Dramaga campus area, where this potential can be utilised or converted into solid fuel for alternative energy or renewable energy use.

On the other hand, BMC analysis identified that the development of a biopellet business model in the IPB campus area has significant potential for sustainable implementation. The availability of stable raw materials, campus infrastructure support, and significant market opportunities from households, SMEs, to institutions, are the main strengths in supporting the sustainability of the business.

The entire BMC elements, ranging from value proposition customer segments and distribution channel to cost structure and key partners, have been designed to promote efficiency in organic waste management while creating economic and social value at the local level. By integrating environmental analysis



results and business planning through the BMC, this study provides a strategic foundation for recommending the development of biopellets as a dual-process solution: reducing organic waste accumulation and strengthening energy independence based on local resources. The implementation of the business model is expected to serve as a replicable model for inclusive, sustainable, and adaptive renewable energy solutions to future economic and environmental challenges.

Keywords: Biopellets, business model canvas, environmental impact, gwp, life cycle assessment, organic waste, renewable energy.

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 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 2025
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 apa pun tanpa izin IPB.

LIFE CYCLE ASSESSMENT PEMANFAATAN LIMBAH ORGANIK SEBAGAI BAHAN BAKAR PADAT ALTERNATIF

SRI MULYANI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan
Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin M.S.

2 Prof. Dr. Efi Yuliati Yovi S.Hut., M.Life.Env.Sc.



Judul Tesis : *Life Cycle Assessment* Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Bahan Bakar Padat Alternatif

Nama : Sri Mulyani

NIM : P0502231037

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr.



Pembimbing 2:

Supriyanto, S.T.P., M.Kom., IPM., Ph.D.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, MS.

NIP. 19591106 1985011001



Dekan Sekolah Pascasarjana:

Prof. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop

NIP. 19700329 1996081001



Tanggal Ujian: 10 Juni 2025

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2024 sampai bulan Desember 2024 ini adalah Pengelolaan dan Pemanfaatan Limbah organik sebagai Alternatif Energi, dengan judul “*Life Cycle Assessment* Pemanfaatan Limbah Organik sebagai Bahan Bakar Padat Alternatif”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr. dan Supriyanto, S.T.P., M.Kom., IPM.,Ph.D. yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan banyak masukan yang sangat berharga selama proses penulisan karya ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, penguji luar komisi pembimbing, dan seluruh dosen pengajar Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan yang berharga selama perkuliahan. Disamping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Institut Pertanian Bogor, Badan Amil Zakat Nasional (BAZNAS), Direktorat Umum dan Infrastruktur IPB, Pihak Pengelolaan Taman Semangat IPB, Pengelolaan dan Laboran Laboratorium Divisi Teknik Energi Terbarukan Leuwikopo Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB, dan Laboratorium Pusat Standarisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan Kota Bogor yang telah memberikan izin dan memfasilitasi dilaksanakannya penelitian. Terima kasih penulis sampaikan kepada staf akademik dan seluruh pihak yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta kepada keluarga dan teman – teman yang telah memberikan dukungan, doa, motivasi dan kasih sayangnya yang tidak pernah putus selama penyelesaian studi ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan, memajukan ilmu pengetahuan, menjadikan rujukan penelitian selanjutnya, serta dapat menginspirasi penelitian-penelitian lain di bidang yang relevan.

Bogor, Juni 2025

Sri Mulyani



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Kerangka Pikir	5
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kebutuhan Energi	8
2.2 Limbah Organik	8
2.3 Biopelet	9
2.4 Penilaian Daur Hidup	10
2.5 Perangkat Lunak SimaPro	15
2.6 Business Model Canvas	16
III METODE	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Teknik Pengumpulan Data	19
3.4 Analisis data dan Penyajian data	27
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Karakteristik Biopelet	28
4.2 Inventori Daur Hidup Biopelet Limbah Organik	35
4.3 Penilaian Dampak Lingkungan Biopelet	43
4.4 Interpretasi Hasil	55
4.5 Analisis Sensitivitas	56
4.6 Analisis Business Model Canvas	57
V SIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Simpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	69
RIWAYAT HIDUP	84

DAFTAR TABEL

1	Data kuantifikasi inventori produksi biopelet ranting	23
2	Data kuantifikasi inventori produksi biopelet daun	24
3	Jenis data dan pengumpulan data BMC	27
4	Karakteristik fisik biopelet	28
5	Kategori kelas pada SNI 8966:2021 untuk bahan bakar jumputan padat	29
6	Perbandingan biopelet dengan SNI 8966:2021	30
7	Inventori masukan dan keluaran produksi biopelet ranting	37
8	Inventori masukan dan keluaran produksi biopelet daun	40
9	Sumber data masukan	41
10	Sumber data keluaran	42
11	Karakterisasi dampak per kg biopelet ranting dan daun	44
12	Karakterisasi dampak setiap tahap proses per kg biopelet ranting dan daun	46
13	Normalisasi dampak per kg biopelet	54
14	Normalisasi dampak setiap proses per kg biopelet	55
15	Karakterisasi dampak lingkungan aktual dan skenario biopelet	56
16	Hasil analisis perancangan model bisnis canvas untuk biopelet	58

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pikir penelitian	7
2	Tahapan analisis LCA	11
3	Kerangka model bisnis canvas	17
4	Lokasi Penelitian	18
5	Diagram alir produksi biopelet	19
6	Batasan sistem kajian produksi biopelet limbah organik	21
7	Visualisasi bentuk biopelet ranting, daun dan campuran	28
8	Data hasil pengujian kadar air biopelet	31
9	Data hasil pengujian kadar abu biopelet	32
10	Data hasil pengujian zat terbang biopelet	33
11	Data hasil pengujian kadar karbon terikat biopelet	34
12	Data hasil pengujian nilai kalor biopelet	35
13	Grafik karakterisasi dampak dari setiap inventaris produksi biopelet ranting per kg	45
14	Grafik karakterisasi dampak dari setiap inventaris produksi biopelet daun per kg	46
15	Kontribusi proses terhadap GWP biopelet ranting	47
16	Kontribusi proses terhadap GWP biopelet daun	48
17	Kontribusi proses terhadap SOD biopelet ranting	49
18	Kontribusi proses terhadap SOD biopelet daun	49
19	Kontribusi proses terhadap TAC biopelet ranting	50
20	Kontribusi proses terhadap TAC biopelet daun	50
21	Kontribusi proses terhadap FEU biopelet ranting	52

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

22	Kontribusi proses terhadap FEU biopelet daun	52
23	Kontribusi proses terhadap HCT biopelet ranting	53
24	Kontribusi proses terhadap HCT biopelet daun	53

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Data pengujian kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, dan nilai kalor	69
2	Lampiran 2 Data perhitungan nilai energi diesel mesin pencacah pada proses penghalusan bahan	70
3	Lampiran 3 Data konsumsi listrik mesin pelletizer pada proses pencetakan diukur menggunakan <i>watt metter</i>	71
4	Lampiran 4 Tampilan <i>interface</i> SimaPro	71
5	Lampiran 5 Rincian hasil karakterisasi dampak lingkungan metode ReCiPe 2016 setiap proses per kg	73
6	Lampiran 6 Network GWP daur hidup biopelet ranting dan daun per kg	75
7	Lampiran 7 Network SOD daur hidup biopelet ranting dan daun per kg	77
8	Lampiran 8 Network TAC daur hidup biopelet ranting dan daun per kg	78
9	Lampiran 9 Network FEU daur hidup biopelet ranting dan daun per kg	80
10	Lampiran 10 Network HCT daur hidup biopelet ranting dan daun per kg	81
11	Lampiran 11 FN <i>World (H)</i> 2010	83