



ANALISIS PENILAIAN DAUR HIDUP (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*) PRODUK SIRUP KALAMANSI (*Citrus microcarpa*) BENGKULU

DHISTI KHAIRUNNISA FAHLIN



**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
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 “Analisis Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Produk Sirup Kalamansi (*Citrus Microcarpa*) Bengkulu” 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, Februari 2025

Dhisti Khairunnisa Fahlin
F3501222014

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

RINGKASAN

DHISTI KHAIRUNNISA FAHLIN. Analisis Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Produk Sirup Kalamansi (*Citrus Microcarpa*) Bengkulu. Dibimbing oleh ANDES ISMAYANA dan MUHAMMAD ROMLI.

Kota Bengkulu merupakan salah satu kota di Provinsi Bengkulu yang memiliki jumlah Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) terbesar. Salah satu usaha kecil yang memiliki potensi untuk dikembangkan di kota ini adalah industri sirup kalamansi. Jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*) merupakan komoditas pertanian yang dapat diolah menjadi berbagai produk bernilai jual tinggi, seperti selai kalamansi, pengharum ruangan kalamansi, dan sirup kalamansi yang saat ini menjadi produk unggulan Kota Bengkulu. Agroindustri sirup kalamansi hingga saat ini memberikan keuntungan yang cukup besar. Setiap kegiatan agroindustri akan menghasilkan output berupa limbah padat dan cair, serta penggunaan sumber daya dan energi dalam proses kegiatan industrinya. Oleh karena itu, kinerja lingkungan agroindustri sirup kalamansi perlu dievaluasi untuk menuju industri yang ramah lingkungan. Dampak pada siklus hidup industri sirup kalamansi dinilai dari hulu hingga hilir dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA adalah metode yang dirancang untuk mengevaluasi dan mengkaji dampak lingkungan yang dihasilkan oleh suatu produk dan aktivitas produksinya selama daur hidup.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis daur hidup pada setiap tahapan proses, aliran bahan baku, serta konsumsi energi, menganalisis besaran dampak yang dihasilkan, serta menentukan skenario perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi yang dihasilkan dari agroindustri sirup kalamansi. Penelitian ini menilai kinerja lingkungan agroindustri sirup kalamansi yang ada di Padang Serai, Kota Bengkulu. Tahapan penelitian dimulai dengan penentuan tujuan dan ruang lingkup yang akan diteliti (*goal and scope*), identifikasi aliran proses dan material yang digunakan pada tahap inventarisasi (*life cycle inventory analysis*) yang disusun dalam neraca massa, dan dilanjutkan dengan tahap analisis dampak lingkungan (*life cycle impact assessment*) menggunakan *software* SimaPro 9.4.0.2. Tahapan terakhir adalah interpretasi dampak yang dihasilkan berdasarkan analisis (*Interpretation*). Metode yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan adalah CML-IA Baseline, dengan dampak yang dianalisis meliputi *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification Potential* (AP), *Eutrophication Potential* (EP), dan *Ozone Layer Depletion Potential* (ODP).

Hasil penilaian daur hidup sirup kalamansi dengan ruang lingkup *cradle to grave* dan unit fungsi 500 mL/botol sirup kalamansi menunjukkan dampak pada setiap kemasan sirup kalamansi, dengan hasil GWP sebesar 4,98483E-14 kg CO₂ eq, AP sebesar 3,04384E-14 kg SO₂ eq, ODP sebesar 1,40336E-15 kg CFC-11 eq, dan EP sebesar 5,43431E-14 kg PO₄ eq, dengan penyumbang terbesar dampak terletak pada proses produksi sirup kalamansi. Interpretasi hasil penelitian menghasilkan hotspot dampak terbesar pada tahapan produksi, khususnya akibat penggunaan gula. Skenario perbaikan pada perkebunan yang meliputi penggantian

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



pupuk kimia dengan pupuk organik dan pengomposan limbah padat perkebunan menunjukkan penurunan dampak GWP, AP, EP, dan ODP masing-masing sebesar 99%, 98%, 99%, dan 82%. Skenario pemanfaatan limbah kulit jeruk sebagai imbuhan pakan ternak dapat menurunkan dampak GWP, EP, dan ODP sebesar 98%, serta AP sebesar 97%. Sementara itu, skenario substitusi kemasan sirup kalamansi dapat mengurangi dampak GWP sebesar 11%, AP sebesar 5%, EP sebesar 7%, dan ODP sebesar 89%.

Kata kunci: Kemasan, LCA, simapro, sirup kalamansi

SUMMARY

DHISTI KHAIRUNNISA FAHLIN. Life Cycle Assessment (LCA) of Kalamansi Syrup Product (*Citrus microcarpa*) in Bengkulu. Supervised by ANDES ISMAYANA and MUHAMMAD ROMLI.

Bengkulu City is one of the cities in Bengkulu Province with the highest number of Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). One of the small businesses with great potential for development in this city is the kalamansi syrup industry. Kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*) is an agricultural commodity that can be processed into various high-value products such as kalamansi jam, kalamansi air fresheners, and kalamansi syrup, which is currently a flagship product of Bengkulu City. The kalamansi syrup agroindustry has been highly profitable to date. Every agroindustrial activity generates output in the form of solid and liquid waste and the consumption of resources and energy in its production process. Therefore, the kalamansi syrup agroindustry's environmental performance needs to be evaluated to move towards a more environmentally friendly industry. The life cycle impact of the kalamansi syrup industry is assessed from cradle to grave using the Life Cycle Assessment (LCA) method. LCA is a method designed to evaluate and assess the environmental impacts generated by a product and its production activities throughout its life cycle.

This research aims to analyze the life cycle at each stage of the process, the flow of raw materials, and energy consumption to assess the magnitude of the impacts generated and to determine improvement scenarios to increase efficiency and reduce emissions from the kalamansi syrup agroindustry. This study evaluates the environmental performance of the kalamansi syrup agroindustry located in Padang Serai, Bengkulu City. The research begins with determining the study's goal and scope, identifying process flows and materials used in the life cycle inventory analysis, presented in a mass balance, followed by the life cycle impact assessment using SimaPro 9.4.0.2 software. The final stage involves the interpretation of the impacts based on the analysis. The method used to analyze the environmental impact is the CML-IA Baseline, with the impacts analyzed including Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP), and Ozone Layer Depletion Potential (ODP).

The life cycle assessment results of kalamansi syrup, using a cradle-to-grave scope and a functional unit of 500 mL per bottle of syrup, show the impacts of each kalamansi syrup packaging. The results are as follows: GWP of 4.98483E-14 kg CO₂ eq, AP of 3.04384E-14 kg SO₂ eq, ODP of 1.40336E-15 kg CFC-11 eq, and EP of 5.43431E-14 kg PO₄ eq, with the most significant impact contributors being the syrup production process. The interpretation of the results identified the hotspot with the most significant impact at the production stage, mainly due to the use of sugar. Improvement scenarios for the plantation, including substituting chemical fertilizers with organic fertilizers and composting solid waste, showed a reduction in GWP, AP, EP, and ODP by 99%, 98%, 99%, and 82%, respectively. Utilizing orange peel waste as animal feed additives can reduce GWP, EP, and ODP by 98%

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

and AP by 97%. Meanwhile, substituting kalamansi syrup packaging can reduce GWP by 11%, AP by 5%, EP by 7%, and ODP by 89%.

Keywords: Packaging, LCA, simapro, kalamansi syrup.

@Hak cipta milik IPB University

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 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.

ANALISIS PENILAIAN DAUR HIDUP (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*) PRODUK SIRUP KALAMANSI (*Citrus microcarpa*) BENGKULU

DHISTI KHAIRUNNISA FAHLIN

Tesis
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr.-Ing. Ir. Suprihatin, IPU
2. Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, M. Eng.



Judul Penelitian : Analisis Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*)
Produk Sirup Kalamansi (*Citrus Microcarpa*) Bengkulu
Nama Mahasiswa : Dhisti Khairunnisa Fahlin
NIM : F3501222014

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing I:
Dr. Andes Ismayana, STP, MT

Pembimbing II:
Prof. Dr. Ir. Muhammad Romli, M.Sc.St.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Illah Sailah, M.S
NIP. 195805211982112001



Dekan Fakultas Teknologi Pertanian
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M. Agr
NIP. 196105021986031002



Tanggal Ujian:
12 Februari 2025

Tanggal Lulus:

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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga penulisan karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian dengan tema *life cycle assessment* dilaksanakan pada bulan September 2023 hingga bulan September 2024 dengan judul “Analisis Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assessment*) Produk Sirup Kalamansi (*Citrus Microcarpa*) Bengkulu”

Terima kasih penulis ucapkan kepada pembimbing yaitu Bapak Dr. Andes Ismayana STP, MT selaku ketua komisi pembimbing dan Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Romli M.Sc.St. selaku anggota komisi pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan, saran, dan motivasi dalam penyelesaian penulisan karya ilmiah ini. Penulis sampaikan terima kasih terbesar kepada orang tua, Ibu Asmalina dan Abang Aulia Habib Magribbi Fahlin untuk segala dukungan, sayang, doa dan ketulusannya selama mendidik saya hingga sampai ke tahap ini.

Semoga hasil penulisan karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan tentang metode *life cycle assessment*.

Bogor, Februari 2025

Dhisti Khairunnisa Fahlin

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sirup	4
2.2 Jeruk Kalamansi (<i>Citrus microcarpa</i>)	5
2.3 <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	6
III METODOLOGI	11
3.1 Kerangka Pemikiran	11
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	12
3.3 Jenis dan Sumber Data	12
3.4 Metode Pengumpulan Data	13
3.5 Tahapan Penelitian	13
3.6 Pengolahan dan Penyajian Data	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Daur Hidup Sirup Kalamansi	18
4.2 Tujuan dan Ruang Lingkup	24
4.3 Inventori Industri Sirup Kalamansi	25
4.5 Analisis Dampak Sirup Kalamansi Per 500 mL/Kemasan	29
4.5.1 Analisis Dampak Perkebunan Jeruk Kalamansi	30
4.5.2 Analisis Dampak Transportasi Perkebunan - Industri	33
4.5.3 Analisis Dampak Industri Jeruk Kalamansi	34
4.5.4 Analisis Dampak Distribusi Industri-Pusat Oleh-oleh	36
4.6 Interpretasi Hasil	36
4.7 Skenario Perbaikan	38
4.7.1 Skenario Perbaikan 1: Penggantian Pupuk Kimia dengan Pupuk Organik	38
4.7.2 Skenario Perbaikan 2: Pemanfaatan Kulit Jeruk Menjadi Imbuhan Pakan Ternak	39
4.7.3 Penggantian Kemasan Botol PET Menjadi Tetrapack	41
V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44

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

LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP	57

DAFTAR TABEL

1. Ringkuman literatur LCA pada berbagai produk yang relevan	9
2. Kebutuhan data di UMKM Sirup Kalamansi	13
3. Jumlah responden	13
4. Kategori dampak dan satuannya dalam Metode CML 2001-IA	16
5. Matriks tujuan pada kajian LCA	17
6. Data ringkasan inventori sirup kalamansi per 500 mL kemsan botol	28
7. Nilai karakterisasi dampak sirup kalamansi 500 mL/botol	29
8. Nilai normalisasi dampak sirup kalamansi 500 mL/botol	29
9. Hasil karakterisasi dampak budidaya jeruk kalamansi per 500 mL sirup	30
10. Hasil normalisasi kategori dampak dari perkebunan jeruk kalamansi	32
11. Hasil karakteristik kategori dampak transportasi	33
12. Hasil normalisasi kategori dampak transportasi	33
13. Karakterisasi dampak per 500 mL sirup kalamansi	34
14. Hasil normalisasi kategori dampak dari produksi sirup kalamansi	35
15. Hasil karakteristik kategori dampak distribusi	36
16. Hasil normalisasi kategori dampak normalisasi	36
17. Nilai dampak normalisasi sirup kalamansi per botol	37
18. Rincian substitusi pupuk perkebunan pada skenario perbaikan	39
19. Nilai dampak skenario substitusi secara normalisasi	39
20. Nilai dampak skenario pakan ternak secara normalisasi	41
21. Nilai dampak skenario penggantian kemasan secara normalisasi	42

DAFTAR GAMBAR

1. Jeruk kalamansi (<i>Citrus microcarpa</i>)	5
2. Kerangka kerja LCA (BSN 2016)	8
3. Kerangka pemikiran penelitian	12
4. Tahapan penelitian LCA sirup kalamansi	14
5. Daur hidup agroindustri sirup kalamansi	15
6. Daur hidup hasil pengamatan agroindustri sirup kalamansi	18
7. Aktivitas proses perkebunan jeruk kalamansi	19
8. Aktivitas transportasi jeruk kalamansi	20
9. Tampak depan rumah produksi	21
10. Tampak samping rumah produksi	21
11. (a) Proses pengirisan (b) Proses pemerasan	22
12. Produk sirup jeruk kalamansi	23
13. Alur aktivitas distribusi sirup kalamansi	24
14. Proses produksi sirup kalamansi	27
15. Kontribusi dampak produksi sirup kalamansi	38

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 LAMPIRAN

1	Matriks Tujuan dan Metodologi Penelitian	52
2	Diagram SimaPro dampak Perkebunan pada sirup kalamansi	53
3	Diagram SimaPro dampak Transportasi pada sirup kalamansi	54
4	Diagram SimaPro dampak Produksi pada sirup kalamansi	56
5	Diagram SimaPro dampak Distribusi pada sirup kalamansi	57

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.