

Potensi Dampak Lingkungan *Energy Corrected Milk* Produksi Susu Segar Menggunakan Metode Penilaian Daur Hidup

Ahmad Erlan Afiuddin^{1*}, Tanti Utami Dewi¹, Am Maisarah Disrinama¹, Dwi Ratri Mitha
Isnadina², Krisna Sindu Alan Darmasaputra¹, dan Muhamad Hanif Dzulfikar¹

¹ Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

² Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Airlangga, Kampus Merr C, Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Mulyorejo Surabaya, 60115, Indonesia

Email: erlan.ahmad@ppns.ac.id*, tanti.dewi@ppns.ac.id, dokteram@ppns.ac.id, ratriisnadina@yahoo.co.id, sindu.alan@student.ppns.ac.id, muhamadhanif@student.ppns.ac.id

Abstrak

Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan merupakan salah satu koperasi yang bergerak di bidang produksi susu. Kegiatan ini mulai dari peternakan sampai dengan distribusi susu ke pabrik menimbulkan emisi dan limbah yang mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan pada peternakan di KPSP Setia Kawan dengan analisa *Life Cycle Assessment*. Lingkup kajian pada penelitian ini adalah kegiatan peternakan, Transportasi susu ke Pos Wonosari, penampungan susu di Pos Wonosari dan KPSP Setia Kawan, dan Transportasi susu ke industri pengolahan susu. Analisis dampak lingkungan menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 menggunakan metode CML-IA *Baseline*. Nilai dampak untuk setiap 1 kg ECM susu segar pada salah satu peternakan di KPSP Setia Kawan yaitu *Global Warming Potential* sebesar $1,51 \times 10^2$ Kg CO₂ eq, eutrofikasi sebesar $1,97 \times 10^{-1}$ Kg PO₄ eq, asidifikasi sebesar $2,35 \times 10^{-1}$ Kg SO₂ eq, *Human Toxicity* sebesar $5,42 \times 10^{-1}$ Kg 1,4-DB eq, *Photochemical Oxidation* sebesar $3,67 \times 10^{-2}$ Kg CO₂ eq. *Hotspot* proses produksi susu segar terletak pada kegiatan peternakan dengan dampak *Global Warming Potential* sebesar $3,62 \times 10^{-12}$ dari substansi pencemar CH₄.

Kata kunci: CML-IA *Baseline*, Dampak Lingkungan, *Energy Corrected Milk* (ECM), *Life Cycle Assessment* (LCA), Peternakan Sapi Perah.

Abstract

Setia Kawan Dairy Farming Coop is a cooperative that operates based on the milk production. The activities from dairy farming to distribution of milk to factories, cause emissions and waste that pollute the environment. This research aims to identify the environmental impact on dairy farming at KPSP Setia Kawan using the Life Cycle Assessment analysis. The scope limitation of this research is dairy farming activities, milk transportation to Wonosari Post, milk storage at Wonosari Post and KPSP Setia Kawan, and milk transportation to the milk processing industry.. Environmental impact analysis using OpenLCA 1.11.0 software using the CML-IA Baseline method. The impact value for every 1 kg of fresh milk ECM on one of the farms at KPSP Setia Kawan is Global Warming Potential sebesar $1,51 \times 10^2$ Kg CO₂ eq, eutrofikasi sebesar $1,97 \times 10^{-1}$ Kg PO₄ eq, asidifikasi of $2,35 \times 10^{-1}$ Kg SO₂ eq, Human Toxicity of $5,42 \times 10^{-1}$ Kg 1,4-DB eq, Photochemical Oxidation of $3,67 \times 10^{-2}$ Kg CO₂ eq. The hotspot for the fresh milk production process lies in dairy milk activities with a Global Warming Potential impact of $3,62 \times 10^{-12}$ from CH₄ pollutant substances.

Keywords: CML-IA *Baseline*, Dairy Farming, *Energy Corrected*, Environmental Impact, *Life Cycle Assessment* (LCA), Milk (ECM),

^{1*} erlan.ahmad@ppns.ac.id

1. Pendahuluan

Koperasi Peternakan Sapi Perah (KPSP) Setia Kawan merupakan salah satu koperasi yang bergerak di bidang industri produksi dan distribusi susu. KPSP Setia Kawan menyediakan Pos Penampungan Susu (PPS) dengan fasilitas genset, kulkas, dan alat uji kualitas. Pengolahan susu segar menjadi susu yang siap dikonsumsi, dikelola melalui proses yang menghasilkan emisi dan berdampak pada lingkungan. Sektor peternakan sapi perah di Indonesia memberikan kontribusi emisi gas rumah kaca sebesar 3,8% (Permana, dkk., 2012). Proses produksi susu 1 kg ECM (*Energy Corrected Milk*) yang dikirimkan pada gerbang pertanian pada tahun 2010 selama 1 tahun, menghasilkan jejak karbon total susu yang diproduksi sebesar $1,23 \pm 0,04$ kg CO₂ eq/kg ECM, dengan 80% berasal dari kegiatan *on-farm* (Brilianty, dkk., 2022). Menurut penelitian yang dilakukan Cahyaputri (2021), aktivitas produksi susu atau peternakan sapi perah seperti aktivitas pendinginan, penyediaan konsentrat, dan adanya kegiatan transportasi untuk pengumpulan susu dari peternak dapat menyebabkan masalah baru yaitu pencemaran lingkungan. Kegiatan peternakan dapat menghasilkan beberapa emisi gas berupa hidrogen sulfida (H₂S), nitrogen (N), karbon dioksida (CO₂), dan metana (CH₄). Hasil analisis LCA dengan *scope cradle to gate* pada 1 kg produk susu segar memberikan dampak pada lingkungan untuk kategori GRK sebesar 3,16 kg CO₂ eq, kategori asidifikasi sebesar 0,00639 kg SO₂ eq, dan kategori eutrofikasi sebesar 0,0119 kg PO₄³⁻.

Metode pendekatan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan perlu dilakukan untuk mengatasi persoalan pada proses kegiatan produksi susu segar. Metode yang digunakan yakni *Life Cycle Assessment* (LCA). Analisis dampak lingkungan dapat menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan metode CML-IA *Baseline*. Metode ini dapat mengevaluasi kategori dampak berdasarkan unit per unit dan dapat menilai kategori dampak berdasarkan satuannya, yaitu meliputi perubahan iklim (kg CO₂ eq), penipisan lapisan ozon (kg CFC₁₁ eq), pengasaman atau asidifikasi (kg SO₂ eq), eutrofikasi (kg PO₄ eq), potensi pembentukan oksidan fotokimia (kg C₂H₄ eq), serta penipisan abiotik dari sumber fosil (MJ). Metode ini umumnya dapat digunakan untuk studi LCA pada sektor susu sehingga paling cocok untuk studi perbandingan (Santos, 2022).

Penerapan metode penilaian daur hidup memiliki hubungan yang erat terhadap semua rantai produksi, dan pentingnya hal ini dapat dilihat dari eksternalitas pada pasar: a) konsumen menginginkan produk ramah lingkungan dan bersedia membayar lebih untuk produk tersebut, b) produsen yang tidak mampu menunjukkan bahwa produk mereka ditanam secara berkelanjutan, mengalami kesulitan dalam mengakses pasar-pasar penting, dan c) kriteria lingkungan hidup secara bertahap ditambahkan oleh negara-negara ke dalam persyaratan impor produk pertanian mereka (F.Ruviaro., 2012). Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat strategi mitigasi pencemaran emisi dari aktivitas produksi susu, membuat strategi efisiensi dari sumber daya contohnya air, energi, dan bahan pakan yang digunakan dalam kegiatan produksi susu, memberikan informasi dan edukasi dampak kajian LCA kepada peternak sapi perah yang dapat mempromosikan sebagai produk yang memperhatikan aspek lingkungan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada salah satu anggota peternak di KPSP Setia Kawan Desa Wonosari, Kecamatan Tutur, Kabupaten Pasuruan Jawa Timur.. Terdapat 4 komponen utama yang dilakukan dalam kajian LCA, diantaranya yaitu: 1) penentuan goal dan scope; 2) LCI; 3) LCIA; dan 4) interpretasi dan kesimpulan:



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan LCA

Sumber: SNI-ISO 14040:2016

1. *Goals and Scope Definition*

Penentuan tujuan dan ruang lingkup merupakan tahap awal dalam melakukan analisis LCA. LCA yang dikaji dibatasi dalam lingkup *cradle to gate*, yaitu dari produksi pakan terutama rumput, kegiatan peternakan sapi perah sampai perah susu murni, kegiatan di koperasi sampai transportasi ke IPS. Unit fungsi berguna untuk memberikan kondisi perbandingan yang terhubung ke input dan output. Unit fungsi yang digunakan dalam kajian LCA ini yaitu satu kg ECM susu segar. Tujuan analisis LCA yang dilakukan adalah untuk mengetahui dampak lingkungan dalam satu siklus produksi susu segar.

2. *Life Cycle Inventory (LCI)*

Analisis inventori merupakan tahapan pengumpulan data berupa jumlah *input* dan *output* dari daur hidup produk dalam satu tahun. Data diperoleh dari perhitungan dan data dari penelitian sebelumnya. Data sapi didapatkan dari sapi perah yang sedang berproduksi.

3. *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Analisis dampak bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan berdasarkan hasil analisis inventori. Pada setiap *input* dan *output* maupun proses dilakukan analisis emisi yang ditimbulkan dari masing-masing kegiatan. Kemudian parameter emisi dikelompokkan berdasarkan kategori dampak. Kategori dampak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : *photochemical oxidation, human toxicity, global warming, abiotic depletion, ozone layer depletion, fresh water aquatic ecotox, eutrophication, marine aquatic ecotoxicity, acidification, terrestrial ecotoxicity*. Jenis baseline yang digunakan adalah Agribalyse, yang dapat digunakan pada sektor pertanian dan pangan.

4. Interpretasi Data

Hasil dari analisis dampak selanjutnya dilakukan identifikasi tahapan proses yang memberikan dampak signifikan terhadap perubahan lingkungan (*hotspot*). Kemudian melakukan analisis dengan beberapa alternatif perbaikan untuk melihat penurunan dampak lingkungan yang terjadi. Data-data yang digunakan dalam kajian LCA dimasukkan kedalam data inventori sebagai data kuantitatif untuk melihat *input* dan *output* yang dihasilkan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan aplikasi OpenLCA 1.11.0 dengan menggunakan metode CML-IA *Baseline*.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. *Goals and Scope*

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses produksi susu segar pada salah satu peternakan di KPSP Setia Kawan dan mengidentifikasi titik *hotspot*. Batasan sistem yang dikaji dalam penelitian ini adalah *cradle to gate* meliputi kegiatan pemeliharaan sapi, proses pemerahan susu sapi di peternakan hingga menghasilkan susu segar siap konsumsi, penampungan susu, dan kegiatan transportasi hingga ke pabrik pengolahan susu. Unit fungsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1 kg ECM susu segar. Pendekatan yang paling umum adalah dengan modifikasi massa susu menggunakan 1 kg susu yang dikoreksi energi (ECM) (Sjaunja dkk., 1990). Sehingga, hasil dampak lingkungan yang dihasilkan adalah dampak dari setiap 1 kg ECM susu segar yang diproduksi. Berikut merupakan rumus konversi satuan susu menjadi *Energy Corrected Milk* (ECM) (Sjaunja dkk., 1990).

$$\text{kg ECM} = \text{kg milk} \times (0,25 + 0,122 \times \text{Fat}\% + 0,077 \times \text{Protein}\%)$$

Dimana:

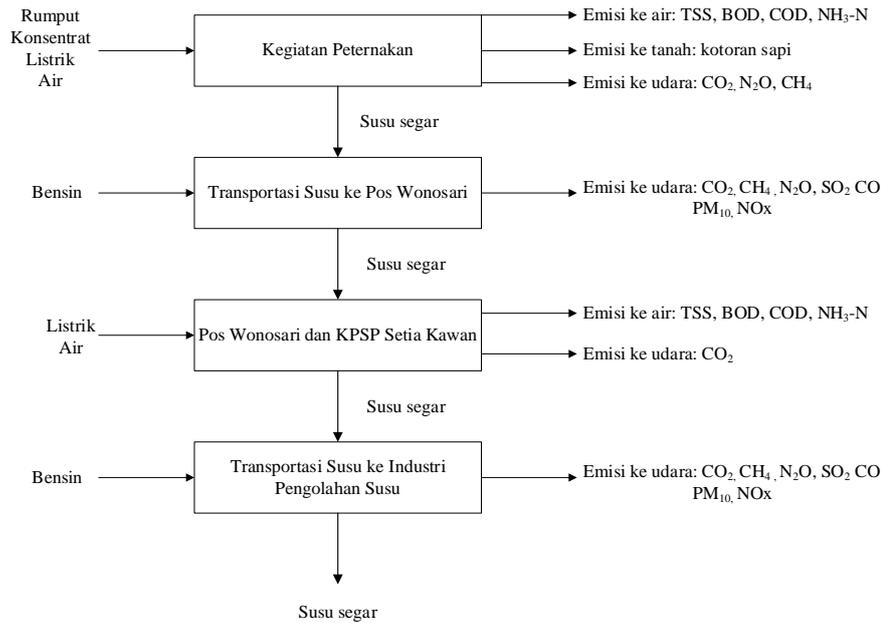
kg milk = Berat susu

fat % = persentase lemak

protein % = persentase protein

3.2. Life Cycle Inventory

Life Cycle Inventory (LCI) adalah tahapan pengumpulan data berupa jumlah *input* dan *output* dalam ekstraksi susu segar sebagai bahan baku utama, proses pendinginan susu segar di koperasi, dan pengangkutan susu segar. Data yang digunakan adalah data dalam satu tahun yaitu 2023. Sedangkan data lain seperti pakan, air, listrik, dan bahan bakar merupakan data hasil generalisasi. Data *input* dan *output* pada kegiatan peternakan, kegiatan pos penampungan susu, dan kegiatan transportasi susu terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur produksi susu segar dan koperasi

Inventarisasi data produksi susu segar pada Tahun 2023 dan neraca massa proses produksi susu segar berdasarkan functional unit dapat dilihat pada Tabel 1.

Table 1. Neraca Massa Proses Produksi Susu Segar

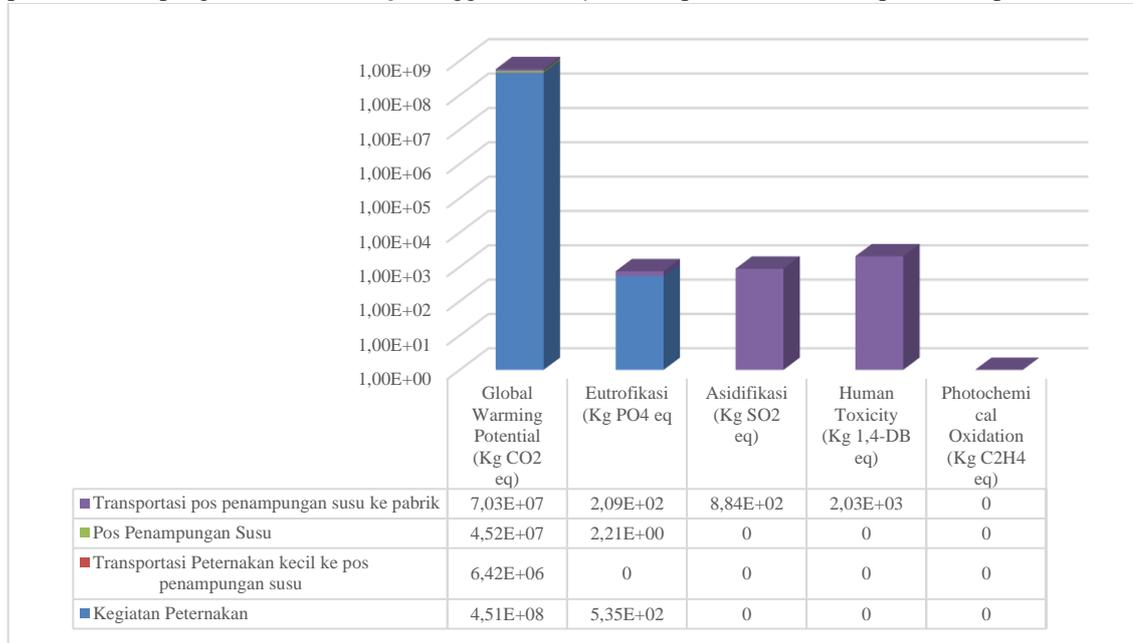
Unit Kegiatan	Input-Output	Data Inventori	Satuan	Jumlah
Kegiatan Peternakan	Input	Rumput	Ton	6.052
		Konsentrat	Ton	4.145,3
		Air pakan dan minum sapi	m ³	405,15
		Air pembersihan kandang	m ³	688,76
	Output	Listrik	kWh	751,17
		Air Limbah	m ³	516,57
	Emisi ke Udara	Susu segar	Kg ECM	3.789,2
		CO ₂	Ton CO ₂	0,654
		N ₂ O	Ton N ₂ O	0,000115
	Emisi ke Tanah	CH ₄	Ton CH ₄	2,375
		Kotoran sapi	Ton	337,625
	Emisi ke Air	TSS	Ton	13
		BOD	Ton	1,9
		COD	Ton	3,3

		NH ₃ -N	Ton	0,02
		pH	-	9
Pos Penampungan Susu Wonosari	<i>Input</i>	Susu segar	kg ECM	25.455,9
		Listrik	kWh	51.894,24
		Air pembersihan bejana susu	m ³	182,5
	<i>Output</i>	Susu segar	kg ECM	25.455,9
		Air limbah	m ³	136,8
	Emisi ke udara	CO ₂	Ton CO ₂	45,147
	Emisi ke Air	TSS	Ton	0,2
		BOD	Ton	0,05
		COD	Ton	0,1
		NH ₃ -N	Ton	0,00003
		pH	-	9
Transportasi peternakan ke Pos Penampungan Susu Wonosari	<i>Input</i>	Susu segar	Kg ECM	3.789,2
		Kendaraan peternak	t.km	131.978,16
		BBM	L	730
	<i>Output</i>	Susu segar	Kg ECM	3.789,2
	Emisi	CH ₄	Ton CH ₄	0,002
		CO ₂	Ton CO ₂	0,9
		N ₂ O	Ton N ₂ O	0,00002
		SO ₂	Ton SO ₂	0,00007
		CO	Ton CO	0,11
		PM ₁₀	Ton PM ₁₀	0,0020
NO _x		Ton NO _x	0,002	
Transportasi Pos Penampungan Susu Wonosari ke pabrik	<i>Input</i>	Susu segar	Kg ECM	25.455,9
		Kendaraan peternak	t.km	9.539.640
		BBM	L	59.130
	<i>Output</i>	Susu segar	Kg ECM	25.455,9
	Emisi	CH ₄	Ton CH ₄	0,001
		CO ₂	Ton CO ₂	69,5
		N ₂ O	Ton N ₂ O	0,00272
		SO ₂	Ton SO ₂	0,07
		CO	Ton CO	0,74
		PM ₁₀	Ton PM ₁₀	0,12
NO _x		Ton NO _x	1,6	

3.3. Life Cycle Impact Assessment

Penilaian potensi dampak lingkungan pada proses produksi susu segar di KPSP Setia Kawan menggunakan bantuan *software* OpenLCA 1.11.0 menggunakan metode CML-IA *Baseline*. Metode ini dapat digunakan untuk melakukan penilaian dampak pada sektor peternakan sehingga umum untuk studi LCA pada sektor susu sehingga cocok untuk dilakukan studi perbandingan (Santos, 2022). Berdasarkan hasil running

dengan *software* OpenLCA 1.11.0, kategori dampak yang muncul untuk proses produksi susu segar ini diantaranya *photochemical oxidation*, *human toxicity*, *global warming*, *eutrophication*, *acidification*. Jenis *baseline* yang digunakan pada penelitian ini adalah Agribalyse. *Baseline* ini dapat digunakan pada sektor pertanian dan pangan. Hasil *running* menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram *Direct Contribution* Hasil *Network*

Kategori dampak *global warming potential* (GWP) dihasilkan dari seluruh unit kegiatan dengan kontribusi terbesar berasal dari kegiatan peternakan. Kegiatan peternakan menjadi penyumbang emisi GRK terbesar dengan nilai dampak $4,513 \times 10^5$ Kg CO₂ eq. Hal ini dikarenakan kotoran sapi dan fermentasi enterik yang menghasilkan emisi CH₄. Besarnya emisi ini juga dipengaruhi karena tidak dilakukan pengolahan terhadap kotoran sapi. Peternak rata-rata tidak mengolah kotoran sapi melainkan hanya dikumpulkan di dekat kandang dan dibiarkan mengering dan selanjutnya dibawa ke kebun untuk dijadikan pupuk. Selain itu, sapi perah membutuhkan lebih banyak nutrisi dalam pakannya untuk memproduksi susu, sehingga proses metabolisme dan kotoran yang dihasilkan juga akan semakin banyak (Brilianty, 2022).

Kategori dampak eutrofikasi dihasilkan dari seluruh unit kegiatan dengan kontribusi terbesar berasal dari kegiatan peternakan. Kegiatan peternakan menjadi penyumbang emisi eutrofikasi terbesar dengan nilai dampak $5,35 \times 10^2$ Kg PO₄ eq. Hal ini dikarenakan oleh kotoran sapi yang dibuang langsung ke badan air tanpa dilakukan pengolahan sehingga menyebabkan penurunan kualitas perairan. Kotoran sapi yang sudah bercampur dengan air limbah maupun air alami dari aktivitas peternakan menjadi sumber emisi fosfat dan COD (Brilianty, 2022). Kategori dampak asidifikasi terbesar berasal dari transportasi pos penampungan susu ke pabrik. Kegiatan transportasi pos penampungan susu ke pabrik menjadi penyumbang emisi asidifikasi dengan nilai dampak $8,84 \times 10^2$ Kg SO₂ eq. hal ini dikarenakan pada kegiatan transportasi pos penampungan susu ke pabrik menghasilkan polutan SO₂ dan NO_x yaitu berasal dari penggunaan bahan bakar solar. Penggunaan bahan bakar solar ini menghasilkan emisi pencemar penyebab asidifikasi lebih besar dibandingkan motor maupun mobil *pick up* dengan bahan bakar bensin (Cahyaputri, 2021).

Kategori dampak *human toxicity* atau toksisitas terhadap manusia terbesar berasal dari transportasi pos penampungan susu ke pabrik. Kegiatan transportasi pos penampungan susu ke pabrik menjadi penyumbang dampak *human toxicity* dengan nilai dampak $2,03 \times 10^3$ Kg 1,4-DB eq. Hal ini disebabkan karena adanya gas NO_x dan partikulat yang dihasilkan dari kegiatan transportasi. Emisi gas-gas tersebut memiliki pengaruh terhadap kesehatan manusia terutama pada sistem pernapasan. Nitrogen oksida yang ada pada udara selanjutnya dihiruo manusia dapat menimbulkan kerusakan pada paru-paru. NO_x juga dapat memperburuk penyakit paru-paru yang mengarah ke gejala penyakit penyakit pernafasan dan kerentanan terhadap infeksi pernafasan. Selain itu, NO_x berkontribusi terhadap pengasaman dan pengayaan nutrisi (eutrofikasi dan saturasi nitrogen) air tanah dan permukaan, serta menyebabkan kerugian keanekaragaman hayati (Wardoyo, 2016).

Kategori dampak *photochemical oxidation* terbesar berasal dari kegiatan peternakan. Kegiatan peternakan menjadi penyumbang dampak *photochemical oxidation* dengan nilai dampak $3,21 \times 10^1$ Kg 1,4-DB eq. Hal ini disebabkan karena tingginya emisi metana dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak. Biasanya terjadi di udara pada saat ada sinar matahari dengan kelembaban rendah. Hal tersebut terjadi karena adanya oksida nitrogen yang mudah menguap. *Photochemical oxidation* atau asap fotokimia dapat menyebabkan masalah pernapasan, iritasi mata, dan lain sebagainya (Lolo, dkk., 2021).

a) Karakterisasi

Nilai karakterisasi yang muncul dari hasil *running software* merupakan nilai dampak untuk total produksi susu segar. Sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dampak dari 1 kg ECM produksi susu segar. Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara membagi nilai karakterisasi dari *software* dengan total produksi susu segar pada peternakan sapi perah. Berikut merupakan perhitungan dari karakterisasi dari kategori dampak global warming potential pada unit kegiatan peternakan:

Dampak *Global Warming Potential* kegiatan peternakan sebagai berikut:

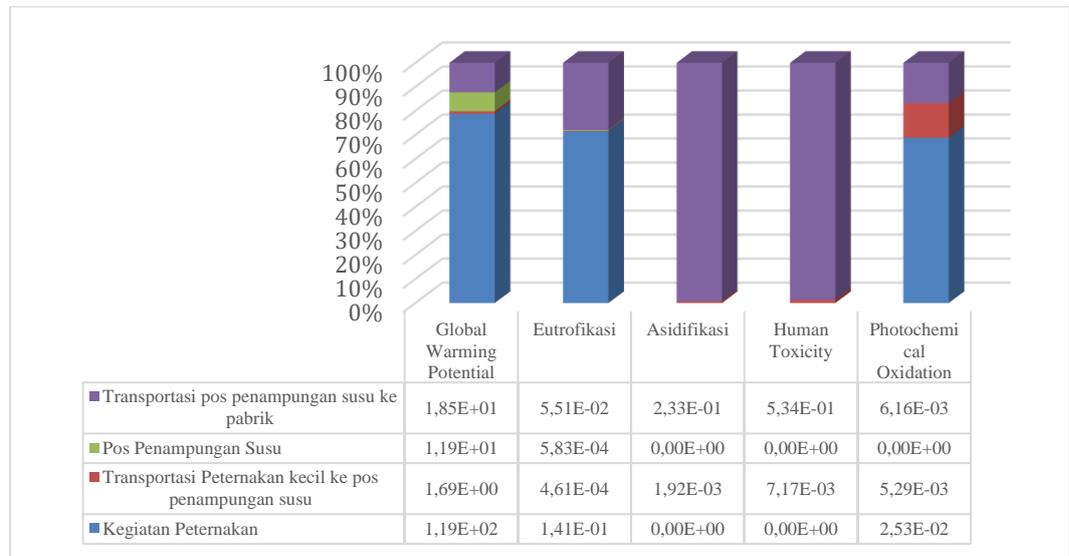
$$\text{GWP} = 4,513 \times 10^5 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq}$$

$$\text{Total produksi susu} = 3.789,2 \text{ Kg ECM}$$

Nilai Karakterisasi GWP unit kegiatan peternakan pada peternakan :

$$\text{GWP} = \frac{4,51 \times 10^5 \text{ CO}_2 \text{ eq}}{3.789,2 \text{ Kg ECM}}$$

$$\text{GWP} = 1.191 \times 10^{-1} \text{ Kg CO}_2 \text{ Kg/kg ECM susu segar}$$



Gambar 4. Diagram Analisis *Characterization*

b) Normalisasi

Normalisasi adalah perhitungan besarnya hasil indikator kategori relatif terhadap beberapa informasi acuan. Tujuan dari normalisasi adalah untuk memahami dengan lebih baik besaran relatif setiap hasil indikator dari sistem produk yang dikaji (SNI ISO 14044:2017). Tahap normalisasi juga dapat digunakan sebagai penentuan titik *hospot* atau unit proses kegiatan mana yang berdampak paling besar terhadap lingkungan pada produksi susu segar.

$$\text{Characterization Global Warming Potential} = 1,19 \times 10^2 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/Kg ECM}$$

$$\text{Faktor Normalization} = 4,18 \times 10^{13}$$

Perhitungan:

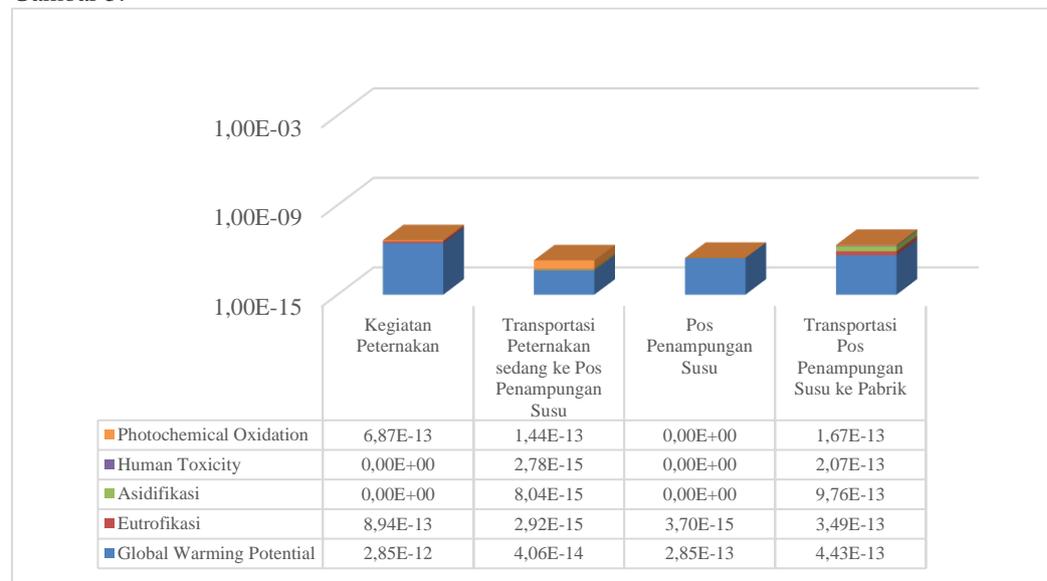
Nilai *Normalization Global Warming Potential* Kegiatan Peternakan:

$$\text{Global Warming Potential} = \frac{\text{Nilai Karakterisasi Global Warming Potential}}{\text{Faktor Normalisasi Global Warming Potential}}$$

$$\text{Global Warming Potential} = \frac{1,19 \times 10^{-2}}{4,18 \times 10^{13}}$$

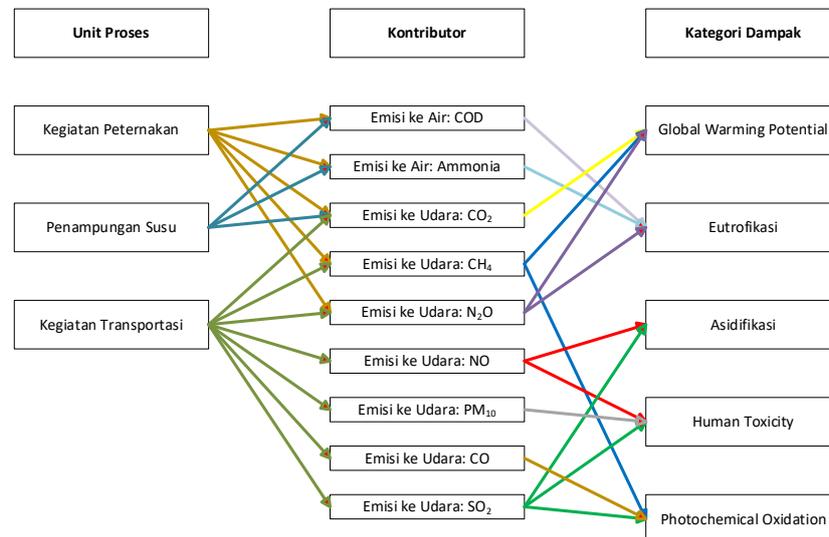
$$\text{Global Warming Potential} = 2,85 \times 10^{-12}$$

Hasil perhitungan *Normalization* setiap kegiatan produksi susu segar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Analisis *Normalization*

Keterkaitan inventory dengan kategori dampak



Gambar 6. Skema Proyeksi dan Pemetaan Potensi Dampak

Gambar 6 merupakan skema proyeksi dan pemetaan dampak dari hasil analisis dengan *software* OpenLCA 1.11.0. Skema ini menunjukkan adanya keterkaitan LCIA dengan hasil LCI yaitu seluruh dampak yang muncul berasal dari inventori yang ada dalam kajian penelitian ini. Setiap dampak yang muncul akan dikaitkan dengan seluruh data yang telah diinputkan ketika melakukan *running* di *software* OpenLCA 1.11.0.

Kegiatan transportasi memiliki emisi paling variatif yang terdiri dari CO₂, CH₄, N₂O, NO, PM₁₀, CO, dan SO₂. Emisi tersebut adalah substansi penyebab dari beberapa dampak kategori yang muncul dari kegiatan transportasi. Unit kegiatan transportasi berkontribusi pada kelima kategori dampak yang dikaji dalam penelitian ini. Pada unit kegiatan peternakan tidak berkontribusi pada dampak asidifikasi dan *human toxicity* karena tidak mengeluarkan emisi NO dan SO₂ yang merupakan substansi penyebab dampak tersebut. Sedangkan pada unit pos penampungan susu berkontribusi pada emisi ke udara berupa CO₂ dari penggunaan listrik dan emisi ke air berupa COD dan ammonia dari pencucian *milkcan* peternak.

3.4. Analisis Hotspot

Hotspot pada kegiatan peternakan sapi perah berdasarkan kategori dampak terdapat pada *Global Warming Potensial* dengan nilai normalisasi $3,62 \times 10^{-12}$. Berdasarkan unit proses hotspot terletak pada kegiatan peternakan dengan nilai normalisasi sebesar $4,43 \times 10^{-12}$ dari substansi pencemar CH₄. Jenis pakan yang digunakan adalah tanaman rumput gajah yang bernutrisi rendah sehingga berpotensi menyumbangkan gas metana lebih tinggi. Jenis pakan pada peternakan sapi perah mempengaruhi produksi gas metana dikarenakan kandungan bahan organik dan serat. Semakin tinggi kandungan serat kasar maka semakin besar gas metana yang dihasilkan. Produksi metana yang dihasilkan ternak dipengaruhi oleh kandungan serat pada pakan yang dikonsumsinya. Peningkatan konsumsi serat kasar berkaitan dengan terjadinya peningkatan produksi metana (Brilianty, 2022).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis LCA pada produksi susu segar di peternakan sapi perah pada KPSP Setia Kawan menggunakan software OpenLCA 1.11.0, dihasilkan 5 kategori dampak yaitu *Global Warming Potential* (GWP), eutrofikasi, asidifikasi, *human toxicity*, dan *photochemical oxidation*. Nilai dampak terbesar untuk setiap 1 kg ECM susu segar pada peternakan sapi perah adalah *Global Warming Potential* sebesar $1,51 \times 10^2$ Kg CO₂ eq., eutrofikasi sebesar $1,97 \times 10^{-1}$, asidifikasi sebesar $2,35 \times 10^{-1}$, *human toxicity* sebesar $5,42 \times 10^{-1}$, *photochemical oxidation* $3,67 \times 10^{-2}$. *Hotspot* pada kegiatan peternakan sapi perah berdasarkan kategori dampak terdapat pada *Global Warming Potensial* dengan nilai normalisasi $3,62 \times 10^{-12}$. Berdasarkan unit proses hotspot terletak pada kegiatan peternakan dengan nilai normalisasi sebesar $4,43 \times 10^{-12}$ dari substansi pencemar CH₄.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada peternakan sapi perah KPSP setia kawan dan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya melalui Program DIPA PPNS 2024 yang telah memberikan bantuan pendanaan sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- Brilianty, S. L., Suprihatin, S., & Purwoko, P. (2022). Penilaian Daur Hidup Produk Susu Sapi Segar: Studi Kasus Di KPBS Pangalengan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(3), 220-228.
- Cahyaputri, B. dan Yani, M. (2021) "Implementasi Penilaian Daur Hidup Produk Susu Sapi Segar (Studi Kasus Koperasi Peternak Mjm)," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), hal. 78–87.
- Lolo, E. U., Gunawan, R. I., Krismani, A. Y., & Pambudi, Y. S. (2021). Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan Life Cycle Assessment (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta). *Jurnal Serambi Engineering*. 6(4).
- Permana, I. G., & Qurimanasari, E. (2012). Greenhouses gases emissions from dairy cattle in Indonesia.
- Ruviaro, C. F., Gianezini, M., Brandão, F. S., Winck, C. A., & Dewes, H. (2012). Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production*, 28, 9-24.
- Santos, L. de L.C. dos dkk. (2022). "Life Cycle Assessment of Dairy Products: A Case Study of a Dairy Factory in Brazil,". *Sustainability (Switzerland)*, 14(15).
- Sjaunja, L. O., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J., & Setälä, J. (1990). A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula.
- SNI ISO 14044:2017

- ISO. (2016). ISO 14040: 2016 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Second edition. Goedkoop, Mark., Martinez E, de Beer I (2017). LCA as the tool to measure progress towards the Sustainable Development Goals. LIST, Luxembourg
- Wardoyo, A. Y. P. (2016). Emisi partikulat kendaraan bermotor dan dampak kesehatan. Universitas Brawijaya Press.