

## ANALISIS PERBANDINGAN EMISI DARI PERBEDAAN METODE PENGGORENGAN KERIPIK PISANG DI LAMPUNG DENGAN METODE LCA (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*)

### COMPARATIVE ANALYSIS OF EMISSIONS FROM DIFFERENT METHODS OF FRYING BANANA CHIPS IN LAMPUNG USING THE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD

Rechal Perdana<sup>1,\*</sup>, Andes Ismayana<sup>2</sup>, dan Moh Yani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor  
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia  
Email: [rechalperdana@apps.ipb.ac.id](mailto:rechalperdana@apps.ipb.ac.id)

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Makalah: Diterima 8 Desember 2023; Diperbaiki 21 Januari 2024; Disetujui 11 Februari 2024

#### ABSTRACT

Banana chip processing in Lampung province uses two different frying methods, namely conventional frying and vacuum frying. The objective of this study was to compare the number of impact emissions generated from the banana chip production process in banana chip agro-industries in Lampung. This research was conducted based on the Life Cycle Assessment (LCA) method to assess the environmental impact emissions from the banana chip industry in Lampung, focusing on the impacts of Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP) and Eutrophication Potential (EP) with a function unit of 250 g/package. Analysis using SimaPro 9.4.2 software. Analysis using the CML-IA Baseline method shows that the banana chip industry has a significant environmental impact with the largest impact by the industry, where the conventional frying method produces a GWP impact of 1.16 kg CO<sub>2</sub> eq/package, EP 2.08E-2 kg PO<sub>4</sub> eq/package and AP 3.6E-3 kg SO<sub>2</sub> eq/package, while in the vacuum frying method, the GWP is 6.3E-1 kg CO<sub>2</sub> eq/package, AP 2.3E-3 kg SO<sub>2</sub> eq/package and EP 6.1E-3 kg PO<sub>4</sub> eq/package. The calculated normalization data shows that the total impact of producing banana chips per package in conventional frying is 1.9E-12 person equivalent/package with the frying stage contributing 85.45% and in vacuum frying is 6.7E-13 person equivalent/package with the frying stage contributing 77.70%. The resulting emission impact value shows that the emission impact of conventional frying is higher than the emission impact of vacuum frying. However, an economic and social assessment of both frying methods needs to be done to see the sustainability index of both.

Keywords: banana chips, LCA, simapro, vacuum frying

#### ABSTRAK

Pengolahan keripik pisang yang terdapat di provinsi Lampung menggunakan dua metode penggorengan yang berbeda, yakni penggorengan konvensional dan penggorengan vakum. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan besaran emisi dampak yang dihasilkan dari proses produksi keripik pisang berdasarkan perbedaan metode penggorengan pada agroindustri keripik pisang di Lampung. Penelitian ini dilakukan berdasarkan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk menilai emisi dampak lingkungan dari industri keripik pisang di Lampung, dengan fokus pada dampak *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification Potential* (AP) dan *Eutrophication Potential* (EP) dengan unit fungsi 250 g/kemasan. Analisis dengan menggunakan *software* SimaPro 9.4.2. dengan metode *CML-IA Baseline* menunjukkan industri keripik pisang memiliki dampak lingkungan yang signifikan dengan dampak terbesar oleh industri, dimana metode penggorengan konvensional menghasilkan dampak GWP sebesar 1,16 kg CO<sub>2</sub> eq/kemasan, EP 2,0E-2 kg PO<sub>4</sub> eq/kemasan dan AP 3,6E-3 kg SO<sub>2</sub> eq/kemasan, sedangkan pada metode penggorengan vakum, GWP sebesar 6,3E-1 kg CO<sub>2</sub> eq/kemasan, AP 2,3E-3 kg SO<sub>2</sub> eq/kemasan dan EP 6,1E-3 kg PO<sub>4</sub> eq/kemasan. Data normalisasi yang telah dihitung diketahui bahwa dampak total untuk menghasilkan keripik pisang per kemasan pada penggorengan konvensional sebesar 1,9E-12 *person equivalent*/kemasan dengan tahapan penggorengan berkontribusi 85,45% dan pada penggorengan vakum sebesar 6,7E-13 *person equivalent*/kemasan dengan tahapan penggorengan berkontribusi 77,70%. Nilai dampak emisi yang dihasilkan menunjukkan bahwa dampak emisi dari penggorengan konvensional lebih besar dari dampak emisi dari penggorengan vakum. Namun demikian penilaian segi ekonomi dan sosial dari kedua metode penggorengan perlu dilakukan untuk melihat indeks keberlanjutan dari keduanya.

Kata kunci: keripik pisang, LCA, penggorengan vakum, simapro

#### PENDAHULUAN

Keripik pisang merupakan produk makanan ringan yang terbuat dari irisan buah melalui proses

penggorengan dan penambahan bahan tambahan makanan dengan berbagai varian rasa yang diizinkan. Keripik pisang adalah salah satu produk yang mewakili nilai tambah terbesar dari pengolahan

pisang yang memberikan pendapatan signifikan. Buah pisang termasuk salah satu komoditas buah unggulan di Indonesia mencapai 8,741,147 ton pada tahun 2021 (BPS, 2021). Provinsi Lampung menduduki posisi ketiga produksi buah pisang terbesar di Indonesia dengan total produksi pada tahun 2021 sebesar 1,123,240 ton, dan produksi terbesar dihasilkan oleh Kabupaten Lampung Selatan (BPS, 2021).

Agroindustri keripik pisang di Provinsi Lampung cukup besar, contohnya di kota Bandar Lampung banyak toko yang menjual keripik pisang. Pemerintah Kota Bandar Lampung membangun Kawasan Sentra Industri Keripik Pisang di Kelurahan Gunung Terang, Kecamatan Tanjung Karang Barat, Kota Bandar Lampung. Berdasarkan observasi yang dilakukan di Kawasan Sentra Industri Keripik Pisang di Bandar Lampung oleh (Tjioener, 2012) terdapat 30 produsen keripik pisang yang tersebar dalam 48 toko, dimana 47% diantaranya menghasilkan keripik antara 12 kg sampai 199 kg per minggu, 44% menghasilkan keripik antara 200 kg sampai 414 kg per minggu, dan hanya 9% atau 3 industri yang menghasilkan keripik antara 415 kg sampai 3.036 kg per minggu.

Kegiatan proses dan operasional pada agroindustri keripik pisang menghasilkan emisi yang memberikan dampak pada lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan penilaian dampak lingkungan yang dihasilkan sebagai upaya untuk menciptakan agroindustri yang ramah lingkungan. Beberapa penelitian tentang pengukuran emisi dilakukan oleh (Ulya *et al.*, 2020), tentang keripik tette singkong khas madura dengan penggorengan konvensional dengan bahan bakar gas LPG menunjukkan bahwa setiap 500 g keripik menghasilkan dampak lingkungan berupa Climate change 17,3 kg CO<sub>2</sub> eq, photochemical oxidation 6,63E-6 kg ethylene eq dan eutrophication 5,34E-3 kg PO<sub>4</sub> eq. Penelitian LCA tentang kerupuk kulit sapi dengan metode penggorengan konvensional dengan bahan bakar gas LPG dilakukan oleh (Rais *et al.*, 2022), menunjukan bahwa sumber penyumbang emisi karbon terbesar yaitu proses penggorengan 54,32 % dengan total emisi 140,67 kg CO<sub>2</sub> eq.

Proses produksi keripik pisang dilakukan dengan tahapan utama adalah dengan cara penggorengan, dimana secara umum metode penggorengan keripik pisang di Lampung terdapat dua metode penggorengan adalah metode penggorengan secara konvensional dengan tungku dan wajan dengan bahan bakar kayu bakar dan metode penggorengan vakum dengan mesin vacuum frying. Perbedaan dalam metode penggorengan untuk menghasilkan keripik pisang memiliki potensi untuk menghasilkan jumlah dampak emisi yang berbeda.

Penilaian dampak lingkungan adalah dengan memperhatikan sumber pencemar sebagai indikator penilainya. Salah satu metode penilaian dampak dapat dilakukan dengan mengevaluasi sepanjang daur hidup pada proses produksi keripik pisang, dengan

tujuan dapat meminimalisir dampak negatif lingkungan sebagai upaya pengembangan industri berkelanjutan, serta mendorong pentingnya dilakukan perhitungan dampak lingkungan melalui metode life cycle assessment (LCA). Menurut SNI ISO 14040:2016 LCA merupakan metode komprehensif untuk menganalisis dampak lingkungan dari suatu produk atau layanan, menentukan efisien atau tidaknya suatu proses produksi dilihat dari penggunaan energi dalam sistem produksi (Astuti *et al.* 2018). Penerapan LCA dapat berguna untuk pengembangan strategi bisnis dalam pengambilan keputusan, peningkatan kualitas produk dan aktivitas proses, mempelajari aspek lingkungan dari produk, pengurangan emisi gas rumah kaca dan meningkatkan nilai pemasaran terutama dalam industri yang menerapkan skema ecolabel, green certificate, atau deklarasi lingkungan (Wiloso *et al.* 2019).

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan besaran dampak emisi yang dihasilkan dari proses produksi keripik pisang berdasarkan perbedaan metode penggorengan konvensional dan penggorengan vakum pada agroindustri keripik pisang. Proses perhitungan dengan LCA dilakukan dari tahapan proses pengupasan buah pisang hingga menjadi keripik pisang dalam kemasan. Namun, perbandingan dampak akan dilakukan pada tahapan penggorengan yang dilakukan dengan metode penggorengan yang berbeda antara kedua industri yang dikaji.

## METODE PENELITIAN

Metode pengambilan data dengan tiga cara yaitu studi pustaka, observasi lapangan dan wawancara dilakukan dengan stakeholder yang terlibat dari proses produksi. Metode dilakukan berdasarkan kerangka kerja LCA dalam SNI ISO 14040:2016 dengan menganalisis inventori daur hidup keripik pisang dan menganalisis dampak lingkungan (BSN, 2016).

Penentuan satuan unit fungsi yang akan digunakan pada penilaian dampak lingkungan dengan metode LCA berdasarkan satuan produk terbanyak di pasaran. Perhitungan dampak dengan metode LCA meliputi penentuan produk yang akan dikaji, batasan sistem, unit fungsi dan kategori dampak yang akan dikaji (BSN, 2016).

Analisis inventori berisi identifikasi input dan output dalam siklus hidup produk yang mengacu pada SNI 14044:2017. Analisis inventori meliputi proses pengumpulan data serta perhitungan data. Data yang dikumpulkan merupakan data primer yang didapat dari lapangan dan data sekunder berupa data material balance input dan output dari dokumen perusahaan. Data dikumpulkan dengan mengidentifikasi aliran input dan output pada proses produksi keripik pisang dari dua metode penggorengan, yakni penggorengan konvensional dan penggorengan vakum. Data yang

diinput meliputi data aliran dari proses pengupasan, perendaman, pengirisan, penggorengan, pendinginan, penirisan minyak dan pengemasan. Selanjutnya, analisis dampak lingkungan dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan potensial yang dihasilkan berdasarkan hasil analisis inventori (BSN, 2017).

Analisis dampak menggunakan bantuan software SimaPro 9.4.0.2 dengan metode perhitungan dampak menggunakan Centre of Environmental Science of Leiden University Impact Assessment (CML-2001-IA baseline). Analisis dampak lingkungan akan menganalisis dampak lingkungan seperti Global Warming Potential (GWP), Acidification (AP), Eutrophication (EP). Selanjutnya dilakukan tahap lanjutan berupa normalisasi (normalization), yang bertujuan untuk mengetahui besaran pengaruh dari masing-masing dampak yang dihasilkan dengan satuan yang sama (Puspaningrum *et al.*, 2023). Normalisasi perlu dilakukan untuk menyamakan satuan agar dampak yang dihasilkan dapat dibandingkan pengaruhnya terhadap skor indikator dampak dalam metrik yang sama yakni dengan satuan person equivalent. Menurut SNI 14044:2017, normalisasi didasarkan pada unit setara orang (person equivalent), yang menunjukkan dampak tahunan per kapita di seluruh dunia dalam kategori tertentu berdasarkan seberapa besar dampaknya terhadap orang yang setara dengan menggunakan unit yang sama.

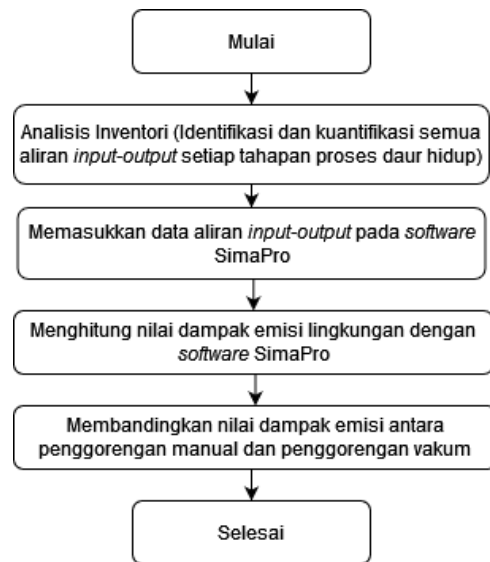
Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, dalam tahapan LCA dalam SNI ISO 14040:2016, proses pertama setelah menetapkan tujuan dan ruang lingkup adalah analisis inventori mulai dari proses awal pembuatan keripik pisang hingga menjadi kemasan. Agroindustri keripik pisang yang dikaji adalah industri keripik pisang yang menggunakan metode penggorengan konvensional dan industri lainnya yang menggunakan metode penggorengan vakum. Pengolahan data inventori menggunakan software SimaPro untuk dihitung dampak lingkungan yang dihasilkan. Selanjutnya adalah tahapan pelaporan data dilakukan perhitungan dampak lingkungan antara penggorengan konvensional dan penggorengan vakum untuk dibandingkan dampak emisi antara proses keduanya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengamatan Produksi Keripik Pisang

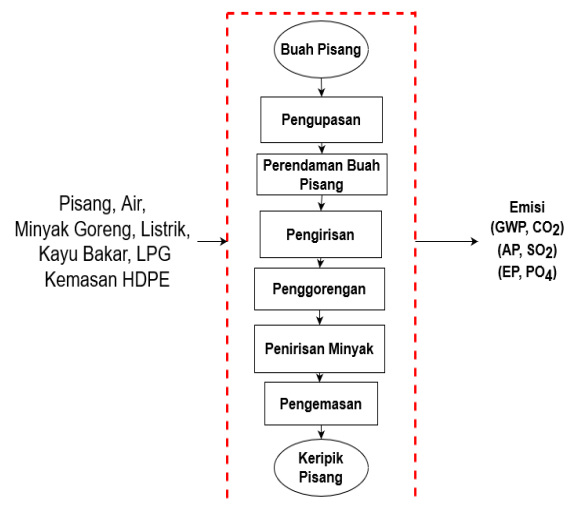
Ruang lingkup kajian LCA keripik pisang ini yaitu *gate to gate*, dimana proses dimulai dari pengupasan buah pisang segar, perendaman buah pisang, pengirisan, penggorengan, penirisan minyak dan pengemasan, sehingga didapatkan produk keripik pisang dalam kemasan dengan batasan sistem yang dikaji dalam pembuatan keripik pisang ditampilkan pada Gambar 2. Penelitian ini dilakukan pada dua industri keripik pisang yakni yang menggunakan metode penggorengan konvensional dan industri

yang menggunakan metode penggorengan vakum. Penetapan unit fungsi ditetapkan per kemasan keripik pisang 250 g keripik pisang. Berdasarkan kajian ini, bahan-bahan input dan energi yang digunakan dalam metode penggorengan konvensional dan penggorengan vakum adalah sama, kecuali pada bahan bakar penggorengan yang digunakan dimana penggorengan konvensional dengan kayu bakar dan penggorengan vakum dengan gas LPG. Proses produksi keripik pisang pada kajian ini yang ditampilkan pada Gambar 2 akan menghasilkan dampak yang dihitung yaitu dampak GWP, AP dan EP.



Gambar 1. Tahapan proses penelitian berdasarkan metode LCA

Figure 1. Stages of the research process based on the LCA method



Gambar 2. Batasan sistem LCA keripik pisang pada kedua industri

Figure 2. System boundary of the LCA for banana chips in both industries

**Analisis Inventori**

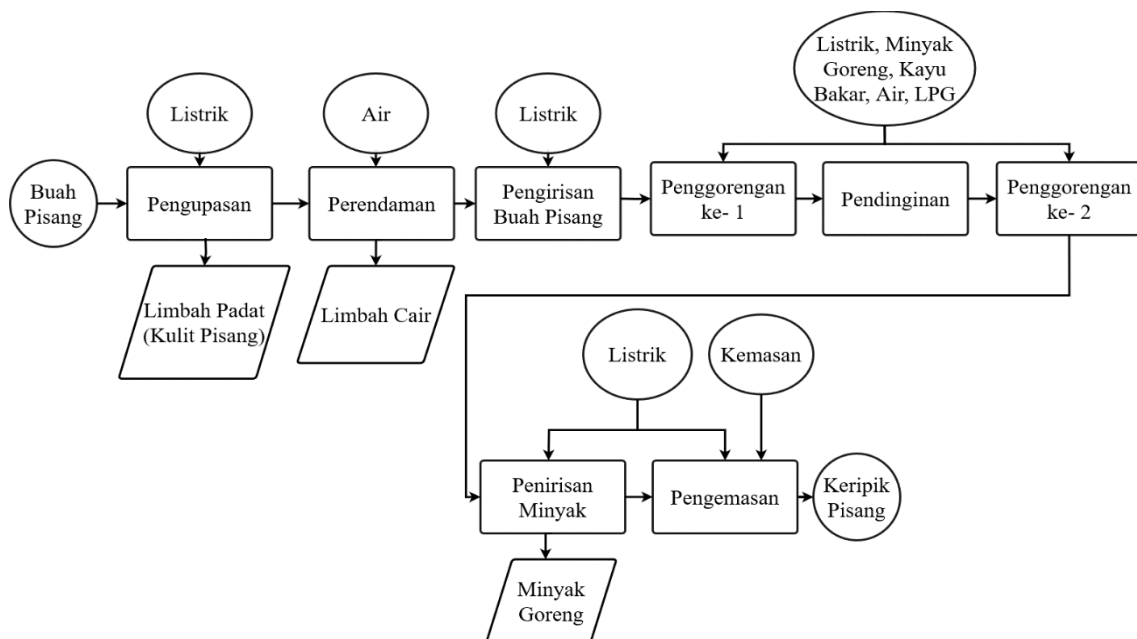
Analisis inventori yang diinput berdasarkan data penggunaan bahan baku dan bahan tambahan serta energi yang digunakan dalam proses produksi keripik pisang. Analisis inventori menghubungkan data dengan unit proses yang dilakukan berupa masukan data dan keluaran data selama proses produksi keripik pisang. Tahapan proses produksi keripik pisang dapat dilihat pada Gambar 3. Proses produksi keripik pisang dimulai dari tahapan pengupasan kulit pisang dengan cara menggunakan pisau, dimana dalam tahapan ini akan memisahkan daging buah pisang dengan kulit pisang yang akan menjadi limbah padat. Proses selanjutnya perendaman atau pencucian pisang terkupas dengan air untuk mencucinya didalam ember besar dengan tujuan proses pencucian buah pisang ini dilakukan untuk membersihkan kotoran misalnya tanah atau benda-benda lain yang tidak dibutuhkan. Pencucian hanya dilakukan satu kali, kemudian pisang dilakukan pengirisan hingga tipis seperti bentuk keripik dengan ketebalan kurang lebih 2-3 mm. Pengirisan dilakukan dengan menggunakan alat pengiris yang berbentuk seperti parutan yang ditengah-tengahnya terdapat pisau. Irisan pisang tersebut digoreng dalam penggorengan pertama. Setelah didinginkan dari penggorengan pertama maka dilakukan penggorengan kedua yang bertujuan memberikan tekstur renyah pada keripik pisang yang dihasilkan.

Pada proses penggorengan dengan *vacuum frying* dilakukan sekali selama 1,5 jam dan sudah memberikan tekstur yang renyah. Apabila terdapat buah pisang yang terlalu matang atau bonyok akan menghasilkan produk keripik pisang kurang kering, maka perlu disortir dan dilakukan penggorengan

kedua, agar tercapai tingkat kerenyahan produk. Untuk mengurangi atau menghilangkan kelebihan minyak, maka hasil gorengan dilakukan penirisan minyak dengan diputar dengan mesin *spinner* selama 10 menit. Setelah itu keripik pisang dilakukan pengemasan sesuai dengan kemasan dengan ukuran 250 g keripik pisang dengan mesin *sealer*.

Neraca massa dihitung berdasarkan data inventori *input* berupa penggunaan bahan baku utama yakni buah pisang, dan bahan tambahan lain seperti kemasan *high density poli ethylene* (HDPE), dan data *output* berupa keripik pisang yang dihasilkan dan produk samping yakni kulit pisang. *Output* lainnya berupa limbah cair dari proses perendaman buah pisang dan bak penampung air untuk pendingin dalam penggorengan vakum dan limbah minyak goreng. Data yang dikumpulkan pada industri keripik pisang selama satu bulan disajikan pada Tabel 1.

Pada Tabel 1, merupakan data yang dikumpulkan pada industri keripik pisang yang menghasilkan keripik pisang sebanyak 330 kg/bulan dari 1330 kg buah pisang. Kemudian, berdasarkan data tersebut akan dilakukan perhitungan dampak lingkungan dengan unit fungsi 250 g keripik pisang atau perkemasan keripik pisang. Selain menghasilkan keripik pisang, pada proses produksi keripik pisang juga menghasilkan *by product* berupa kulit pisang, limbah cair dan limbah minyak goreng. Terdapat perbedaan antara limbah cair industri konvensional dan industri vakum, dimana pada industri konvensional limbah cair dihasilkan air yang digunakan pada proses perendaman buah pisang, sedangkan pada industri vakum limbah cair dihasilkan dari air yang digunakan sebagai pendingin pada mesin penggorengan vakum.



Gambar 3. Tahapan proses produksi keripik pisang pada kedua industri  
 Figure 3. Stages of the banana chips production process in both industries

Tabel 1. Data collection pada industri keripik pisang penggorengan konvensional dan vakum selama satu bulan

Table 1. Data collection in the conventional and vacuum frying banana chips industry for one month

Data	Satuan	Konvensional	Vakum
<b>Input</b>			
Pisang	kg	1330	1300
Minyak Goreng	liter	305	75
Kemasan HDPE	kg	8,2	8,2
Air	liter	1440	3440
Kayu Bakar	kg	32	-
Gas LPG	kg	-	60
Listrik	kwh	9	138,6
<b>Output</b>			
Keripik Pisang	kg	330	330
Kulit Pisang	kg	433	433
Limbah Cair	liter	1440	3440
Limbah Minyak Goreng	liter	290	65

Data inventori pada Tabel 2, adalah data penggunaan bahan baku dalam proses pembuatan keripik pisang yang sudah dihitung kebutuhannya untuk menghasilkan keripik pisang 250 g atau satu kemasan yang disesuaikan dengan kemasan yang ada pada industri. Data tersebut dihitung dari rata-rata total penggunaan bahan baku, bahan tambahan serta penggunaan energi yang dikonsumsi selama satu bulan.

Tabel 2. Data inventori produksi keripik pisang per 250 g/kemasan

Table 2. Inventory data for banana chips production per 250 g/package

Data	Satuan	Konvensional	Vakum
<b>Input</b>			
Pisang	kg	0,985	0,985
Minyak Goreng	liter	0,231	0,056
Kemasan HDPE	kg	0,006	0,006
Air	liter	1,09	2,60
Kayu Bakar	kg	0,0242	-
Gas LPG	kg	-	0,045
Listrik	kwh	0,0068	0,105
<b>Output</b>			
Keripik Pisang	kg	0,25	0,25
Kulit Pisang	kg	0,328	0,328
Limbah Cair	liter	1,09	2,60
Limbah Minyak Goreng	liter	0,169	0,040

Data inventori selama sebulan yang dikumpulkan akan menghasilkan keripik pisang 330 kg, namun pada kajian ini akan dilakukan perhitungan dampak disesuaikan dengan kebutuhan perkemasan atau 250 g keripik pisang. Data pada Tabel 2, merupakan data input yang akan dilakukan

perhitungan langsung dengan SimaPro dengan metode CML IA-Baseline untuk menghitung dampak GWP, AP dan EP. Pada proses pembuatan keripik pisang memerlukan energi berupa bahan bakar gas LPG, kayu bakar dan minyak goreng. Penggunaan air pada penggorengan vakum lebih banyak karena perlu bak penampung air untuk pendingin dalam proses penggorengan vakum. Kebutuhan minyak goreng pada kedua industri berbeda dimana pada industri penggorengan konvensional menghabiskan minyak sebanyak 305 L/bulan, sedangkan dengan *vacuum frying* menghabiskan sebanyak 75 L/bulan. Minyak goreng yang dibutuhkan dalam penggorengan vakum lebih sedikit karena penggorengan dengan metode *vacuum frying* menggunakan minyak lebih sedikit karena dapat menurunkan titik didih di bawah 90°C, sehingga struktur kandungan pada minyak goreng tidak akan cepat rusak, sehingga minyak goreng dapat digunakan untuk menggoreng keripik hingga 100 kali penggorengan (Afrozi *et al.*, 2018).

Bahan bakar untuk penggorengan konvensional adalah kayu bakar sebanyak 32 kg/bulan dan bahan bakar penggorengan vakum adalah gas LPG sebanyak 60 kg/bulan (Tabel 1). Penggunaan listrik pada penggorengan vakum 138,6 kwh/bulan sedangkan penggorengan konvensional hanya 9 kwh/bulan. Penggunaan listrik pada penggorengan konvensional untuk keperluan penerangan/lampu, timbangan digital, *spinner* dan *sealer*. Penggunaan listrik pada industri dengan penggorengan vakum adalah untuk penerangan/lampu, timbangan digital, *spinner*, *sealer*, pemantik mesin *vacuum frying*, pompa air dan *exhaust fan*. Output yang dihasilkan dengan ditunjukkan Tabel 2, disesuaikan dengan jumlah produk yang akan dihitung yakni perkemasan keripik pisang.

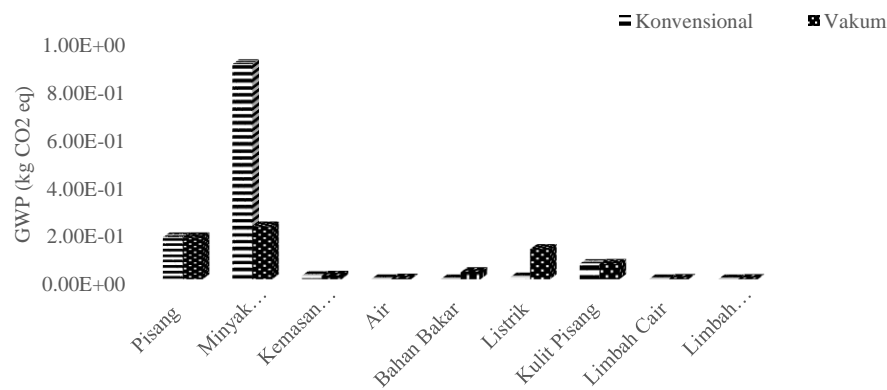
### Analisis Dampak

Perhitungan nilai emisi menggunakan neraca massa sesuai kebutuhan untuk menghasilkan keripik pisang 250 g/kemasan. Kategori dampak yang diamati yaitu GWP, AP dan EP. Pada Tabel 3 ditunjukkan dampak total yang dihasilkan dari penggorengan konvensional dan vakum memberikan nilai emisi yang nyata, dimana pada dampak GWP didominasi oleh penggorengan konvensional. Selain dampak GWP, dampak emisi oleh AP dan EP juga paling besar oleh metode penggorengan konvensional.

Perhitungan analisis dampak pada industri penggorengan konvensional meliputi buah pisang, minyak goreng, air, listrik, kemasan HDPE dan kayu bakar. Sedangkan pada industri penggorengan vakum meliputi data input yang sama, kecuali bahan bakar dari penggorengan berbeda yakni dengan menggunakan gas LPG. Kontribusi terhadap dampak pada industri penggorengan konvensional dan penggorengan vakum ditampilkan dengan rincian nilai dampaknya pada Tabel 3.

Tabel 3. Rincian nilai dampak produksi keripik pisang per 250 g keripik pisang  
 Table 3. Details of the impact value of banana chips production per 250 g of banana chips

Data	Penggorengan Konvensional			Penggorengan Vakum		
	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	AP (kg SO <sub>2</sub> eq)	EP (kg PO <sub>4</sub> eq)	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	AP (kg SO <sub>2</sub> eq)	EP (kg PO <sub>4</sub> eq)
<b>Input</b>						
Pisang	1,7E-1	4,9E-4	1,3E-4	1,7E-1	4,9E-4	1,3E-4
Minyak Goreng	8,9E-1	2,8E-3	1,7E-2	2,2E-1	7,1E-4	4,3E-3
Kemasan HDPE	1,4E-2	4,9E-5	1,2E-5	1,4E-2	4,9E-5	1,2E-5
Air	8,2E-4	3,6E-6	1,7E-6	1,9E-3	8,7E-6	4,2E-6
Kayu Bakar	1,4E-4	2,5E-5	6,6E-6	-	-	-
Listrik	8,1E-3	3,5E-5	4,8E-5	1,2E-1	5,4E-4	7,5E-4
Gas LPG	-	-	-	2,9E-2	3,1E-4	3,3E-5
<b>Output</b>						
Kulit Pisang	6,3E-2	1,7E-4	3,1E-4	6,3E-2	1,7E-4	3,1E-4
Limbah Cair	5,9E-4	4,3E-6	1,4E-5	5,9E-4	4,3E-6	1,4E-5
Limbah Minyak	0	0	2,1E-3	0	0	4,9E-4
<b>Total</b>	<b>1,16</b>	<b>3,6E-3</b>	<b>2,0E-2</b>	<b>6,3E-1</b>	<b>2,3E-3</b>	<b>6,1E-3</b>



Gambar 4. Perbandingan metoda penggorengan konvensional dan vakum dari rincian penggunaan bahan (input) terhadap nilai pada dampak GWP

Figure 4. Comparison of conventional and vacuum frying methods from details of material use (input) to the value of the GWP impact

Berdasarkan Tabel 3 dampak yang dihasilkan dari produksi keripik pisang ditampilkan dalam kontribusi yang disebabkan oleh penggunaan pisang, minyak goreng, energi (kayu bakar, listrik, LPG) dan penggunaan kemasan HDPE. Dampak terbesar adalah pada dampak GWP dengan nilai pada industri penggorengan vakum sebesar 6,3E-1 kg CO<sub>2</sub> eq sedangkan pada industri penggorengan konvensional lebih besar sedikit dengan nilai sebesar 1,16 kg CO<sub>2</sub> eq. GWP berasal aktivitas manusia dari tingginya senyawa karbon yang dilepaskan ke udara dari suatu penggunaan energi alam yang berpotensi dalam pemanasan global dalam jangka 100 tahun (Ahmad *et al.*, 2019). Rincian kontribusi dampak dari data inventori terhadap dampak GWP ditampilkan pada Gambar 4.

Nilai dampak GWP dipengaruhi karena penggunaan listrik yang dalam proses mendapatkan listrik dapat meningkatkan emisi dan GWP, dimana

penggunaan listrik pada penggorengan vakum memberikan dampak emisi yang cukup tinggi. Substansi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dalam indikator pencemarnya pada listrik dan juga pada sumber energi utama pemasakan. Pembakaran kayu bakar dan penggunaan gas LPG dalam proses pengolahan dapat menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang meningkatkan pemanasan global (Sulistiyono, 2012). Hal ini terbukti bahwa nilai GWP terbesar pada penggorengan konvensional maupun penggorengan vakum adalah dari penggunaan minyak goreng, namun pada penggorengan konvensional memberikan dampak yang lebih besar. Selain itu, nilai dampak GWP juga besar pada penggunaan pisang, penyebab tingginya ini dikarenakan pada proses perkebunannya dari pemakaian pupuk dan traktor dalam proses persiapan lahan. Nilai dampak GWP juga disebabkan oleh bahan bakar pada penggorengan vakum yakni gas LPG yang terdapat

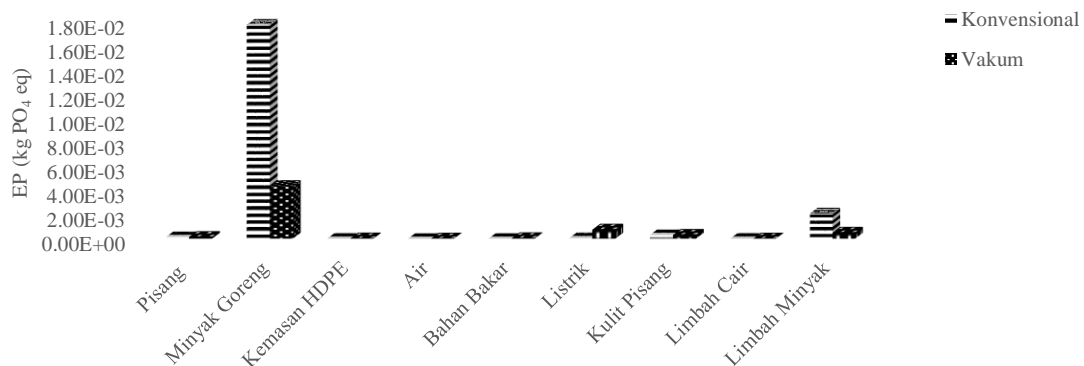
pada proses transformasi gas alam menjadi LPG yang melewati proses pretreatment (acid removal, dehydration, dan refrigeration) dan fraksinasi dengan pengotor utama yang terdapat pada gas alam berupa CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Sembiring *et al.*, 2019).

Dampak terbesar selanjutnya pada dampak EP dengan nilai pada industri penggorengan vakum sebesar 6,1E-3 kg PO<sub>4</sub> eq sedangkan dampak EP pada industri penggorengan konvensional sebesar 2,0E-2 kg PO<sub>4</sub> eq. Rincian kontribusi dampak dari data inventori terhadap dampak EP ditampilkan pada Gambar 5.

Eutrofikasi adalah proses alami yang terjadi secara alami dalam ekosistem air tawar, tetapi dapat dipercepat secara signifikan oleh aktivitas manusia seperti pertanian, pemukiman, dan industri yang memberikan peningkatan nutrient (seperti fosfor dan nitrogen) dalam perairan, yang dapat menyebabkan pertumbuhan alga dan tanaman air yang berlebihan (Dodds *et al.*, 2009). Sumber polutan penyebab eutrofikasi adalah NO<sub>x</sub>, NO, PO<sub>4</sub>, dan nutrient (N dan P) dari hasil pembakaran kayu bakar dapat berinteraksi dengan senyawa kimia lainnya dan

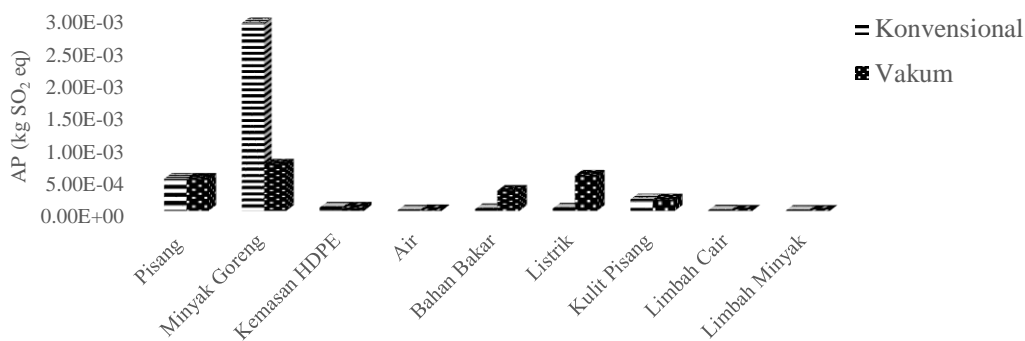
membentuk asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam nitrit (HNO<sub>2</sub>) (Athirafitri *et al.*, 2021). Senyawa tersebut mencemari daratan terutama pada perairan air tawar, sehingga dapat merusak ekosistem air tawar dengan mengganggu kualitas air dan keberlanjutan sumber daya air dapat memicu pertumbuhan alga yang berlebihan karena nutrient yang tinggi atau dikenal dengan *bloom alga*, fenomena ini akan mengakibatkan hipoksia ketika alga mati akibat terdekomposisi bakteri yang membutuhkan oksigen, sehingga akan mengurangi oksigen dalam air (Mishra *et al.*, 2022). Nutrient yang tinggi disebabkan oleh asam nitrat dan asam nitrit dalam bentuk nitrogen dan fosfor (Kumar, 2017). Dampak emisi EP paling besar oleh penggunaan minyak goreng pada penggorengan konvensional maupun penggorengan vakum.

Nilai dampak AP pada industri penggorengan vakum sebesar 2,3E-3 kg SO<sub>2</sub> eq sedangkan nilai dampak AP pada pada industri penggorengan konvensional sebesar 3,6E-3 kg SO<sub>2</sub> eq. Rincian kontribusi dampak dari data inventori terhadap dampak AP ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Perbandingan metoda penggorengan konvensional dan vakum dari rincian penggunaan bahan (input) terhadap nilai pada dampak EP

Figure 5. Comparison of conventional and vacuum frying methods from details of material use (input) to the value of the EP impact



Gambar 6. Perbandingan metoda penggorengan konvensional dan vakum dari rincian penggunaan bahan (input) terhadap nilai pada dampak AP

Figure 6. Comparison of conventional and vacuum frying methods from details of material use (input) to the value of the AP impact



Penyebab utama asidifikasi berasal dari proses pembakaran dan pemanasan di industri yang menghasilkan emisi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) yang akan berinteraksi dengan air di atmosfer, membentuk asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) yang kemudian jatuh ke permukaan tanah dan air sebagai hujan asam sehingga mengakibatkan pH perairan dan tanah menurun, yang dapat menyebabkan masalah serius bagi ekosistem akuatik dan darat (Lovett *et al.*, 2009). Hujan asam merupakan deposisi atmosfer dalam bentuk hujan, salju, gas, partikulat, dan uap yang mengandung senyawa asam, sehingga memberikan dampak negatif ke bumi (Imam *et al.*, 2021). Organisme akuatik seperti ikan dan plankton dapat menderita dampak negatif dari asidifikasi air, sementara menurut Clark *et al.* (2013), tanaman di tanah menghadapi kesulitan dalam menyerap nutrisi karena asidifikasi tanah karena penurunan pH tanah akibat penambahan N akibat nitrifikasi dan penambahan S dari pembentukan asam sulfat, yang dapat memiliki berbagai efek pada pertumbuhan tanaman.

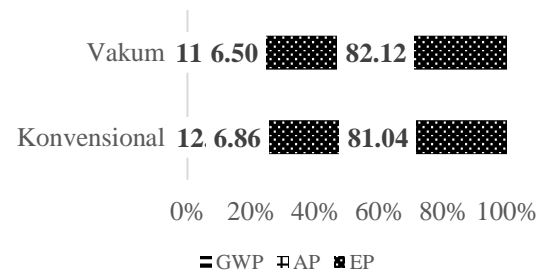
**Perbandingan Dampak**

Perbandingan nilai dampak yang dihasilkan dari produksi keripik pisang dari industri penggorengan vakum dan penggorengan konvensional dilakukan berdasarkan nilai dampak yang dinormalisasi dengan tujuan untuk menyamakan satuan agar dapat dibandingkan. Normalisasi adalah skor indikator untuk semua kategori dampak dalam metrik yang sama dengan satuan *person equivalent* (Bjorn dan Hauschild, 2015). Perhitungan untuk mendapatkan nilai normalisasi, dilakukan dengan mengubah data karakterisasi dengan satuan dampak masing-masing dibagi dengan nilai normalisasi berdasarkan nilai dampak perkapita dalam satu tahun (Huijbregts *et al.*, 2003).

Berdasarkan data normalisasi yang telah dihitung maka dampak total untuk menghasilkan keripik pisang per kemasan atau 250 g menghasilkan dampak untuk penggorengan konvensional pada industri penggorengan konvensional sebesar 1,9E-12 *person equivalent*/kemasan dan pada penggorengan vakum pada industri penggorengan vakum sebesar 6,7E-13 *person equivalent*/kemasan. Perbandingan antara industri penggorengan vakum dan penggorengan konvensional, diketahui bahwa dampak yang dihasilkan pada industri penggorengan konvensional lebih besar dibandingkan industri penggorengan vakum. Dampak tertinggi yang dihasilkan pada dampak EP, diikuti oleh dampak GWP dan AP. Persentase kontribusi dampak yang dihasilkan pada proses produksi keripik pisang ditampilkan pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa pada industri penggorengan konvensional, dampak terbesar pada EP berkontribusi sebesar 81,04%, diikuti oleh dampak GWP sebesar 12,10% dan dampak AP sebesar 6,86%. Pada Industri

penggorengan vakum, dampak terbesar pada EP berkontribusi sebesar 82,12%, diikuti oleh dampak GWP sebesar 11,38% dan dampak AP sebesar 6,50%. Tahapan penggorengan dalam proses produksi keripik pisang berkontribusi dengan nilai dampak terbesar, dimana pada penggorengan konvensional adalah 85,45% dari total dampak dan pada penggorengan vakum adalah 77,70% dari total dampak. Dampak emisi yang dihasilkan dari penggorengan konvensional lebih besar dibandingkan dengan dampak emisi dari penggorengan vakum, serta dapat dikatakan bahwa tahapan penggorengan merupakan penyumbang emisi terbesar. Dampak emisi pada penggorengan konvensional lebih besar karena penggunaan minyak goreng yang diperlukan lebih besar dibandingkan penggorengan vakum. Hasil ini juga memiliki kesamaan dengan penelitian LCA oleh (Rais *et al.* 2022), tentang kerupuk kulit sapi dengan metode penggorengan konvensional dengan bahan bakar gas LPG menunjukkan bahwa sumber penyumbang emisi terbesar yaitu pada tahapan penggorengan sebesar 54,32.



Gambar 7. Perbandingan persentase dampak produksi keripik pisang industri penggorengan vakum dan konvensional

Figure 7. Comparison of the percentage impact of banana chip production from the vacuum and conventional frying industry

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Pada Industri penggorengan konvensional, untuk memproduksi perkemasan keripik pisang menghasilkan dampak GWP sebesar 1,16 kg CO<sub>2</sub> eq, dampak EP 2,0E-2 kg PO<sub>4</sub> eq dan AP 3,6E-3 kg SO<sub>2</sub> eq, sedangkan pada industri penggorengan vakum, perkemasan keripik pisang menghasilkan dampak GWP sebesar 6,3E-1 kg CO<sub>2</sub> eq, dampak AP 2,3E-3 kg SO<sub>2</sub> eq dan EP 6,1E-3 kg PO<sub>4</sub> eq. Berdasarkan nilai tersebut diketahui dampak GWP, AP dan EP yang dihasilkan oleh industri penggorengan konvensional lebih besar dibandingkan dengan industri penggorengan vakum. Nilai dampak yang dihasilkan antara kedua industri mengalami perbedaan nilai dampak pada dampak yang dihasilkan dari tahapan penggorengan.

Berdasarkan nilai dampak dengan data normalisasi atau dampak tahunan per kapita yang



didasarkan pada unit setara orang (person equivalent) di seluruh dunia yang telah dihitung diketahui bahwa dampak total untuk menghasilkan keripik pisang per kemasan atau 250 g menghasilkan dampak pada penggorengan konvensional sebesar 1,9E-12 person equivalent/kemasan dengan tahapan penggorengan berkontribusi 85,45% dan pada penggorengan vakum sebesar 6,7E-13 person equivalent/kemasan dengan tahapan penggorengan berkontribusi 77,70%. Nilai dampak emisi yang dihasilkan menunjukkan bahwa dampak emisi dari penggorengan konvensional lebih besar dari dampak emisi dari penggorengan vakum.

#### Saran

Perlu dilakukan kajian LCA yang lebih komprehensif terkait produksi keripik pisang dari hulu (budidaya buah pisang) hingga hilir (penanganan limbah) dan kajian tentang perbandingan dari segi ekonomi antara penggorengan konvensional dan penggorengan vakum.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad S, Wong KY, dan Ahmad R. 2019. Life cycle assessment for food production and manufacturing: recent trends global applications and future prospects. *Procedia Manufacturing*. 34:49–5
- Astuti AD, Astuti RSD, dan Hadiyanto H. 2018. Application of Life Cycle Assessment (LCA) in Sugar Industries. *E3S Web Conf*. 31:1–5. doi:10.1051/e3sconf/20183104011
- Athirafitri N, Indrasti NS, dan Ismayana A. 2021. Impact analysis of fishery processing using Life Cycle Assessment (LCA) method: A literature review. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 31(3): 274-282.
- Bjørn A dan Hauschild MZ. 2015. Introducing carrying capacity-based normalization in LCA: framework and development of references at midpoint level. *The International Journal Life Cycle Assessment*. 20(7): 1005 – 1018. doi:10.1007/s11367-015-0899-2
- [BPS] Badan Pusat Statistik (ID). 2021. Produksi Buah Pisang di Indonesia. Tersedia pada: <http://www.bps.go.id> [diunduh 20 Januari 2022].
- [BPS] Badan Pusat Statistik (ID). 2021. Produksi Buah Pisang di Lampung. Tersedia pada: <http://www.bps.go.id> [diunduh 20 Januari 2022].
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2016. SNI ISO 14040:2016. Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Prinsip dan Kerangka Kerja. Badan Standardisasi Nasional. <https://bsilhk.menlhk.go.id/standarlhk/wp-content/uploads/2022/08/SNI-ISO-14040-2016-Manajemen-lingkungan-Penilaian-daur-hidup-Prinsip-dan-kerangka-kerja.pdf>
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI ISO 14044:2017. Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Persyaratan dan Panduan. Badan Standardisasi Nasional. [https://proper.menlhk.go.id/propercms/uploads/magazine/docs/buku/magazinePedoman\\_Penyusunan\\_Laporan\\_Penilaian\\_Daur\\_Hidup\\_2021.pdf](https://proper.menlhk.go.id/propercms/uploads/magazine/docs/buku/magazinePedoman_Penyusunan_Laporan_Penilaian_Daur_Hidup_2021.pdf)
- Clark CM, Bai Y, Bowman WD, Cowles JM, Fenn ME, Gilliam FS, Phoenix GK, Siddique I, Stevens CJ, Sverdrup HU, Throop HL. 2013. *Encyclopedia of Biodiversity: Second Edition*. Waltham (MA): Academic Press
- Dodds WK, Bouska WW, Eitzmann JL, Pilger TJ, Pitts KL, Riley AJ, Schloesser JT, Thornbrugh DJ. 2009. Eutrophication of u. s. freshwaters: analysis of potential economic damages. *Environmental Science Technology*. 43(1):12– 19. doi:10.1021/es801217q.
- Huijbregts MAJ, Breedveld L, Huppes G, Koning A, Van Oers L, Suh S. 2003. Normalization figures for environmental life-cycle assessment The Netherlands (1997/1998), Western Europe (1995) and The World (1990 and 1995). *Journal of Cleaner Production*. 11:737-748.
- Kumar S. 2017. Acid rain-the major cause of pollution: Its Causes, Effects. *International Journal of Applied Chemistry*. 13(1):53–58. <http://www.ripublication.com>
- Lovett GM, Tear TH, Evers DC, Findlay SEG, Cosby BJ, Dunscomb JK, Driscoll CT, Weathers KC. 2009. Effects of air pollution on ecosystems and biological diversity in the eastern United States. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1162:99–135. doi:10.1111/j.1749-6632.2009.04153.x.
- Mishra P, Naik S, Babu PV, Pradhan U, Begum M, Kaviarasan T, Vashi A, Bandyopadhyay D, Ezhilarasan P, Panda US. 2022. Algal bloom, hypoxia, and mass fish kill events in the backwaters of Puducherry, Southeast coast of India. *Oceanologia*. 64(2):396-403. doi:10.1016/j.oceano.2021.11.003.
- Puspaningrum T, Indrasti NS, Indrawanto C, Yani M. 2023. Life cycle assessment of coconut plantation, copra, and charcoal production. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 9(4): 653-672. Doi: 10.22035/gjesm.2023.04.01
- Rais AK, Amna M, dan Adiansyah JS. 2022. Analisis jejak karbon menggunakan pendekatan penilaian daur hidup (*life cycle assessment*): studi kasus industri kecil kerupuk sapi di kota mataram. *Journal of Environmental Policy and Technology*. 1(1): 54 – 59. Doi: <https://doi.org/10.31764/jeptec.v1i1.12376>
- Sulistiyono. 2012. Pemanasan global (*global warming*) dan hubungannya dengan

- penggunaan bahan bakar fosil. *Swara Patra*. 2(2): 47-56. ISSN 2089-9572
- Tjioener O dan Ardansyah. 2012. Profitabilitas usaha sentra keripik pisang. *Jurnal Dinamika Manajemen*. 3(2):84-90.
- Ulya M, Fuad M, Mu'tamar F, Firmansyah RA. 2020. Life cycle assessment of raw and fried tette chips production. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*. 2020(1):11-16. ISSN 2622-5921
- Wiloso EI, Nazir N, Hanafi J, Siregar K, Harsono SS, Setiawan AAR, Muryanto, Romli M, Utama NA, Shantiko B. 2018. Life cycle assessment research and application in Indonesia. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 24(3): 386-396. Doi: 10.1007/s11367-0811-1459-