



Evaluasi daur hidup pisang cavendish di Kabupaten Bondowoso: analisis potensi pemanasan global dan alternatif perbaikan

Elida Novita*, Ziqrul Oktavian, Idah Andriyani, Ning Puji Lestari

Teknik Pertanian, Universitas Jember, Jember, Indonesia

Article history

Diterima:

15 Juli 2024

Diperbaiki:

7 Januari 2025

Disetujui:

14 Januari 2025

Keyword

*Cavendish Banana;
Life Cycle Assessment;
Global Warming
Potential.*

ABSTRACT

*Cavendish bananas (*Musa acuminata* Cavendish) have been cultivated in Bondowoso Regency to meet local market demands. Cultivating Cavendish bananas contributes to the potential for emission from global warming (GWP) and environmental quality conditions. This research objective to determine the emission impact and improvement recommendation of Cavendish Bananas production in the Bondowoso Regency as an environmentally friendly product. This research used the Life Cycle Assessment (LCA), which has steps such as goals and scope determining, life cycle inventory, and life cycle impact assessment and interpretations. The results of this research show that in one cycle of Cavendish banana cultivation, total GWP emissions of 95,544 kgCO₂eq are generated. This impact is derived from pesticides, chemical fertilizers, diesel fuel consumption, electricity consumption, solid waste, and liquid waste. To minimize these impacts, alternatives such as compost fertilizer, fermented animal feed, processed food from banana hearts, banana chips, wastewater treatment, and the use of solar panels for electricity are needed. If implemented, these alternatives can reduce total GWP emissions by 76% or 72.537 kgCO₂eq compared to conventional cultivation.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email : elida_novita.ftp@unej.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v19i4.26530

PENDAHULUAN

Pisang merupakan salah satu komoditas hortikultura yang banyak dikonsumsi masyarakat karena mudah diperoleh dengan harga yang relatif murah. Menurut (KLHK 2021) pada tahun 2021, produksi pisang Bondowoso mencapai 500,68 ton. Sedangkan untuk varietas cavendish masih jarang ditanam di kabupaten tersebut. Guna memenuhi kebutuhan pasar lokal, PT. XYZ telah membudidayakan Pisang Cavendish secara industri di Kabupaten Bondowoso dan bekerja sama dengan kelompok tani.

Secara umum proses produksi Pisang Cavendish berbeda dengan pisang lainnya yakni dimulai dengan persiapan lahan, penanaman pisang secara manual sekitar 2.000 - 3.000 tanaman per hektar, perawatan tanaman, perawatan buah, pemanenan dan pembungkusan. Setiap tahapan tersebut dilakukan dengan standar yang telah ditetapkan (Desy Puspitasari 2021). Aktivitas budidaya ini menggunakan *input* pendukung seperti pestisida, pupuk, listrik, dan bahan bakar solar, serta menghasilkan *output* berupa produk, limbah padat, dan air limbah. Kedua jenis limbah ini berpotensi meningkatkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Budidaya tanaman pertanian menghasilkan emisi GRK sebesar 10-34% per tahun (KLHK 2021).

Aktivitas perkebunan dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang berkontribusi pada perubahan iklim. Salah satu contoh emisi yang dihasilkan dari perkebunan adalah karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous oksida (N₂O) (Jamaluddin 2018). Selanjutnya, budidaya tanaman semusim seperti Pisang Cavendish juga memberikan kontribusi pada pelepasan emisi GRK, seperti pada tahap pemanfaatan pupuk dan proses pasca panen (KLHK 2021). Aspek budidaya yang efektif atau *crop management* menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam pengurangan emisi GRK dalam budidaya Pisang Cavendish. Perhitungan emisi dari produksi Pisang Cavendish sudah dilakukan di beberapa negara seperti Brazil dan Ekuador namun belum memiliki strategi spesifik dan hasil pengurangan emisinya berdasarkan strategi tersebut (KLHK 2021). Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi lanjut dampak lingkungan yang diakibatkan dari proses budidaya Pisang Cavendish *existing* dan budidaya pengembangan. Salah satu persyaratan kriteria penurunan emisi tersebut dapat merujuk pada dokumen hijau PROPER atau Program Penilaian Peringkat Kinerja dalam Pengelolaan

Lingkungan Hidup Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2021 (KLHK 2021). Evaluasi kuantitatif *Life Cycle Assessment* (LCA) menjadi salah satu metode penilaian yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan upaya mitigasi dan pengelolaan kualitas lingkungan berbasis produk.

LCA merupakan alat atau metode yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan sepanjang siklus hidup suatu produk yang merujuk pada SNI ISO 14044. Metode ini relevan untuk menilai sebuah sistem produksi memenuhi syarat dalam mengevaluasi proses produksi berdasarkan potensi dampak lingkungan yang akan ditimbulkan (Fikri 2020). Selain itu, LCA juga membantu mengidentifikasi tahapan atau proses yang memberikan kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan. Penelitian ini melakukan perhitungan emisi gas rumah kaca dengan klasifikasi CO₂, CH₄, N₂O sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) 01/2021 yang menyatakan bahwa kajian dampak yang wajib dikaji ialah *Global Warming Potential* (GWP) atau efek pemanasan global yang disebabkan akibat emisi gas rumah kaca. Tujuan penelitian ini yaitu menentukan dampak secara kuantitatif dari emisi dan alternatif upaya perbaikan pada produksi Pisang Cavendish di Kabupaten Bondowoso sebagai produk yang ramah lingkungan.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Desember hingga Februari 2024 yang dilakukan di Desa Maskuning Kulon, Kecamatan Pujer, Kabupaten Bondowoso sebagai lokasi Kebun Pisang Cavendish. Desa Maskuning Kulon menjadi lokasi demplot (*demonstration plot*) Pisang Cavendish pada lahan seluas 1,86 ha yang dimulai sejak tahun 2022 oleh pemerintah Kabupaten Bondowoso. Pemerintah Kabupaten Bondowoso bekerja sama dengan PT XYZ sebagai salah satu perusahaan nasional di bidang perkebunan berbasis program kemitraan.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah kebun Pisang Cavendish yang sedang dibudidayakan di demplot (*demonstration plot*), Desa Maskuning Kulon, Kecamatan Pujer, Kabupaten Bondowoso. Populasi dalam penelitian ini adalah proses

budidaya Pisang Cavendish yang meliputi tahap penanaman (hulu) hingga tahap pengemasan (hilir) akan menghasilkan Potensi Pemanasan Global atau emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Parameter dampak yang digunakan dalam kajian LCA ini yakni CO₂, CH₄, dan N₂O, selanjutnya dihitung terhadap satuan potensi pemanasan global.

Inventarisasi Tahapan Budidaya Pisang Cavendish

Inventarisasi tahapan budidaya Pisang Cavendish bertujuan untuk menghimpun setiap proses budidaya atau *on farm* yang ada di Kabupaten Bondowoso. Budidaya Pisang Cavendish ini memiliki beberapa tahapan yakni penanaman, perawatan tanaman, perawatan buah, panen dan pengemasan atau packing. Setiap tahapan memiliki beberapa aktivitas atau sub tahapan yang memiliki standar dalam setiap aktivitasnya.

Inventarisasi Material dan Konsumsi Energi

Tahapan ini dilakukan dengan cara menginventarisasi semua aliran input (bahan yang masuk ke dalam proses budidaya seperti pestisida, pupuk, dan bahan pendukung lainnya) maupun output (bahan yang dihasilkan selama proses budidaya seperti pisang dan limbah pertanian) yang terlibat dalam satuan massa dan energi selama pembudidayaan Pisang Cavendish. Menurut Winardi (2018), perhitungan konsumsi energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada Persamaan (1). Perhitungan konsumsi energi bahan bakar dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini pada Persamaan (2) (KLH 2012).

$$W = p \times t \quad (1)$$

$$KE = \text{Konsumsi energi satuan} \times \text{Nilai kalor} \quad (2)$$

Keterangan :

W : Energi Listrik (kWh)

p : Daya (watt)

t : Waktu (jam)

Konsumsi energi (KE) = Jumlah bahan bakar yang digunakan (TJ)

Konsumsi energi sat. Fisik = Jumlah bahan bakar (l)

Nilai kalor = Nilai faktor konversi bahan bakar (0.000036 TJ)

Penilaian Dampak Lingkungan

Penilaian dampak lingkungan didekati berdasarkan klasifikasi sumber emisi GRK dan penilaian dampak. Klasifikasi sumber emisi GRK ini digunakan untuk mengumpulkan material baik *input* maupun *output* yang berpotensi menimbulkan emisi. Penentuan sumber emisi yang dihasilkan pupuk urea memiliki rumus yang berbeda. Perhitungan emisi GRK pupuk urea ini telah ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2006) dinyatakan pada Persamaan (3) - (6).

$$\text{Emisi CO}_2 = Q_{\text{Urea}} \times \text{FE}_{\text{Urea}} \times 44/12 \quad (3)$$

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = \text{Direct emission} + \text{Indirect emission} \quad (4)$$

$$\text{Direct Emission} = (M \times \text{EF}) \times 1,57 \quad (5)$$

$$\text{Indirect Emission} = (M \times \text{EF}) \times 1,57 \quad (6)$$

Keterangan :

Q_{urea} = Penggunaan urea (ton)

FE_{urea} = Faktor Emisi urea 0,2 kg CO₂/ton

M = Jumlah nitrogen pada penggunaan pupuk urea

EF_{direct} = Emisi N₂O aplikasi dari kgN₂O-N/kg applied N 0.01 (kg CO₂/ton)

EF_{indirect} = Emisi N₂O aplikasi dari kgN₂O-N/kg N akibat *leaching* 0,00325 (kg CO₂/ton)

Penentuan emisi limbah padat yang akan mengalami dekomposisi. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2006) emisi CH₄ dan N₂O yang dihasilkan dari pengolahan biologis limbah padat dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus Persamaan (7) dan (8).

$$\text{CH}_4 = \sum((M_a \times \text{EF}_a) \times 0,001) - R \quad (7)$$

$$\text{N}_2\text{O} = \sum(M_a \times \text{EF}_a) \times 0,001 \quad (8)$$

Keterangan :

M_a = Berat limbah padat (kg)

EF_a = Faktor emisi (kg CH₄/ton)

R = Jumlah CH₄ yang dapat diambil pada tahun inventori, kg CH₄/tahun

M_a = Berat limbah padat (kg)

EF_a = Faktor emisi (kg N₂O/ton)

Penentuan emisi limbah cair menggunakan rumus yang berbeda dengan limbah padat. Perhitungan emisi yang dihasilkan oleh limbah cair ini dapat dilakukan dengan perhitungan yang berasal dari jumlah COD yang dihasilkan. Menurut (Kemen-ESDM 2020) persamaan yang digunakan untuk menghitung emisi CH₄ berdasarkan Persamaan (9). Selanjutnya Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan faktor emisi yang akan dihitung menggunakan rumus pada Persamaan (10).

$$\text{Emisi CH}_4 = \text{TOW} \times \text{FE} \quad (9)$$

$$E = \text{AD} \times \text{EF} \quad (10)$$

Keterangan :

TOW =Total Senyawa Organik Yang Degredable Dalam Limbah Cair (kg COD/tahun)

TOW =Volume Air Limbah × COD (kg/l)

FE =Faktor Emisi Per Jenis Pengolahan (kgCH₄/kg COD)

FE = B₀ × MCF

MCF = Faktor Koreksi Metana (0,5 untuk tanpa perlakuan dan 0,8 untuk pengolahan anaerobik)

E : Emisi (kg CO₂, kg CH₄, dan kg N₂O);

AD : Data aktivitas (pestisida: kg, pupuk kg, listrik kWh, bahan bakar : TJ dan limbah yang dihasilkan: kg);

EF : Faktor emisi (kg CO₂, kg CH₄, dan kg N₂O)

Tabel 1 Faktor Emisi

Sumber Emisi	Jenis GRK	Faktor Emisi	Satuan	Referensi
Listrik	CO ₂	0.774388897	kgCO ₂ ^{eq}	(Brander et al. 2011)
	CH ₄	0.000015943	kgCH ₄ /kWh	(Brander et al. 2011)
	N ₂ O	0.000008748	kgN ₂ O /kWh	(Brander et al. 2011)
Solar	CO ₂	70800	kgCO ₂ ^{eq}	(IPCC 2006)
	CH ₄	3	kg CH ₄ /TJ	(IPCC 2006)
	N ₂ O	0.6	kg N ₂ O /TJ	(IPCC 2006)
Pupuk Urea	CO ₂	200	kgCO ₂ ^{eq}	(IPCC 2006)
	CH ₄	-	-	-
	N ₂ O	0.10	kg N ₂ O /ton	(IPCC 2006)
Pupuk TSP (Phosphate)	N ₂ Oindirect	0.00325	kg N ₂ O /ton	(IPCC 2006)
	CO ₂	-	-	-
	CH ₄	-	-	-
Pupuk Dolomit (Magnesium)	N ₂ O	0.01	kg N ₂ O /ton	(KLH 2012)
	CO ₂	0.47732	kgCO ₂ ^{eq}	(IPCC 2006)
	CH ₄	-	-	-
Pupuk Zn (Zinc Sulphate)	N ₂ O	-	-	-
	CO ₂	0.43	kgCO ₂ ^{eq}	(IPCC 2006)
	CH ₄	-	-	-
Pupuk Petro-Cas (Calcium Sulphate)	N ₂ O	-	-	-
	CO ₂	0.10532	kgCO ₂ ^{eq}	(Fort and Cerny 2018)
	CH ₄	-	-	-
Limbah Padat	N ₂ O	-	-	-
	CO ₂	-	-	-
	CH ₄	4	kg CH ₄ /ton	(IPCC 2006)
	N ₂ O	0.24	kg N ₂ O /ton	(IPCC 2006)

Tabel 2 Faktor Emisi Satuan GWP

No	Sumber Emisi	Unit	kgCO ₂ ^{eq} /unit	Referensi
1	Herbisida	kg	4.702	(Darmawan 2021)
2	Fungisida	kg	5.177	(Hakim et al. 2014)
3	Insektisida	kg	2.934	(Heimpel et al. 2013)
4	Pupuk KCL (K) (<i>Kalium Klorida</i>)	kg	0.69	(City of Winnipeg 2011)
5	Pupuk Kieserite (<i>Magnesium Sulphate</i>)	kg	0.3	(City of Winnipeg 2011)
6	Disinfektan (<i>Hydrogen Peroxide</i>)	kg	0.92	(City of Winnipeg 2011)
7	Aluminium Sulfat	kg	0.148 - 0.167	(Land 2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inventarisasi Material *Input* dan *Output* Budidaya Pisang Cavendish

Proses budidaya Pisang Cavendish di Kabupaten Bondowoso meliputi penanaman, perawatan tanaman, perawatan buah, panen, dan packing, dengan susunan aktivitas pada setiap tahapannya. Standar diterapkan pada setiap tahapan untuk menghasilkan buah pisang berkualitas. Namun, setiap tahap budidaya ini berdampak pada lingkungan dalam bentuk emisi gas rumah kaca (GRK). Menurut (Rodríguez dkk., 2018), pertanian dan perkebunan menghasilkan emisi GRK terkait penggunaan bahan kimia seperti pupuk dan pestisida serta energi listrik dalam *packing*.

Aktivitas awal pada budidaya Pisang Cavendish ialah penanaman. Komponen bahan yang digunakan dalam lahan seluas 1.86 ha selama satu siklus yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca pada tahapan penanaman ini ditunjukkan Tabel 3. Pupuk dolomit dengan jumlah 675 kg memiliki potensi emisi CO₂ terbanyak. Konsumsi bahan bakar sebesar 14 liter menghasilkan energi 0,000504 TJ. Data ini digunakan untuk menghitung emisi gas rumah kaca berupa CO₂, CH₄, dan N₂O.

Perawatan tanaman fokus pada perkembangan tanaman dari penanaman hingga tanaman Pisang Cavendish tidak bisa berproduksi, berlangsung selama 8 bulan. Berikut disajikan tabel analisis *input* pada tahap perawatan tanaman selama satu siklus budidaya Pisang Cavendish. Merujuk pada Tabel 4 diketahui bahwa tahap perawatan tanaman ini memiliki komponen *input* yang lebih besar daripada tahap lainnya. menyebabkan dampak lingkungan berupa emisi GRK yang disebabkan dari bahan kimia yang terkandung dalam pupuk ataupun pestisida yang digunakan.

Tabel 3 Komponen *Input* Tahap Penanaman

No.	Material	Unit	<i>Input</i>
1	Herbisida	liter	1
2	Pupuk KCL (K)	kg	225
3	Pupuk Dolomit	kg	675
4	Pupuk Urea (N)	kg	203
5	Pupuk TSP (P)	kg	293
6	Solar	liter	14

Tabel 4 Komponen *Input* Tahap Perawatan Tanaman

No.	Material	Unit	<i>Input</i>
1	Fungisida	liter	84
2	Insektisida	liter	8
3	Herbisida	liter	11
4	Pupuk KCL	kg	1.755
5	Pupuk Zn	kg	803
6	Pupuk Kieserite	kg	473
7	Pupuk Petro-Cas	kg	1.800
8	Disinfektan	liter	3
9	Pupuk Urea	kg	1.328
10	Pupuk TSP	kg	441

Tabel 5 Komponen Limbah Sebagai *Output*

No.	Material	Unit	<i>Output</i>
1	Limbah Daun	kg	31.050
2	Limbah Tunas	kg	5.400
<i>Total Limbah Padat</i>		kg	36.450

Berdasarkan Tabel 5, tahap perawatan tanaman menghasilkan limbah padat yang dibuang di area kebun tanpa pengolahan lebih lanjut. Pengelolaan limbah yang tidak efektif ini dapat menghasilkan gas metana, salah satu Gas Rumah Kaca yang menyebabkan efek rumah kaca dan pemanasan global (Rajaeifar et al. 2017). Perawatan buah dilakukan saat tanaman pisang mulai mengeluarkan jantung untuk menjaga kualitas buah. Tahapan ini memiliki komponen *input* lebih sedikit dibandingkan perawatan tanaman. Komponen *input* dan *output* bertujuan

melindungi buah sebelum mengembang. Tahap perawatan buah menghasilkan limbah padat paling sedikit, berupa daun dan jantung pisang dari aktivitas *marking* dan *fruit obstacle removal*. Limbah ini tidak diolah dan hanya dibuang di area kebun, berpotensi menimbulkan GRK. Berikut tabel komponen output yang dihasilkan selama proses perawatan buah yang disajikan pada Tabel 6 dan 7.

Kegiatan panen mulai dilakukan pada saat tanaman pisang sudah memenuhi kriteria untuk dipanen. Berikut merupakan tabel analisis *input* yang dilakukan ketika Pisang Cavendish sudah memasuki tahapan panen. Berdasarkan Tabel 8, tahap panen memiliki komponen *input* berupa aluminium sulfat sebesar 72 kg untuk pencucian buah. Tahap ini menghasilkan *output* limbah cair dan padat dari aktivitas pencabutan tanaman pisang yang sudah dipanen. Berikut tabel 9 menunjukkan komponen *output* pada tahap panen.

Tabel 6 Komponen *Input* Tahap Perawatan Buah

No.	Material	Unit	<i>Input</i>
1	Fungisida	Liter	13,5
2	Insektisida	Liter	4,5
3	Disinfektan	Liter	0,9

Tabel 7 Komponen *Output* Pada Tahap Perawatan Buah

No.	Material	Unit	<i>Output</i>
1	Limbah Daun	kg	2.700
2	Limbah Jantung Pisang	kg	2.500
Total Limbah Padat		kg	5.200

Tabel 8 Komponen *Input* Pada Tahap Panen

No.	Material	Unit	<i>Input</i>
1	Aluminium Sulfat	kg	72

Tabel 9 Komponen *Output* pada Tahap Panen

No.	Material	Unit	<i>Output</i>
1	Limbah Pencabutan Tanaman	kg	326.496
2	Pisang Curah	kg	2.237
3	Air limbah	kg	78.476
Total Limbah		kg	407.209

Berdasarkan Tabel 9, total limbah yang dihasilkan sangat besar, terdiri dari limbah padat pencabutan tanaman dan limbah cair dari sortasi

pisang. Kedua jenis limbah ini tidak diolah dengan baik, sehingga menimbulkan emisi gas rumah kaca (GRK). Air limbah berdampak buruk terhadap kualitas lingkungan dan berkontribusi dalam peningkatan emisi GRK tahunan ((Hakim dkk., 2021). Pengukuran kualitas air limbah dengan parameter COD diperlukan untuk menilai dampak lingkungan secara tepat. COD limbah cair pada tahap pencucian ini sebesar 63,25 mg/L. Pada tahap pemanenan, selain menghasilkan limbah padat dan cair, juga menghasilkan pisang siap *packing* atau sesuai standar pemasaran seberat 78.476 kg setelah proses selama 9 bulan. *Packing* merupakan tahapan akhir dalam budidaya Pisang Cavendish setelah pisang dibersihkan dan dipilih sesuai standar. Berikut tabel analisis *input* pada tahapan *packing* Pisang Cavendish.

Berdasarkan Tabel 10, pada tahapan *packing*, bahan yang berpotensi menimbulkan GRK terbatas pada aluminium sulfat dan pestisida fungisida. Selain itu, aktivitas seperti penggunaan energi listrik untuk *spraying* pengeringan buah dan *vacuum labeling* juga berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Berikut tabel komponen *output* selama proses *packing* dilakukan.

Tabel 10 Komponen *Input* Pada Tahapan *Packing*

No.	Material	Unit	<i>Input</i>
1	Aluminium Sulfat	kg	72
2	Fungisida	liter	36
3	Listrik Kipas	kWh	7.560
4	Listrik Vacuum	kWh	17.439

Dampak Lingkungan Emisi Pada Budidaya Pisang Cavendish

Emisi GRK sebagai dampak kegiatan budidaya Pisang Cavendish ini telah dihitung berdasarkan rumus yang telah ditentukan oleh IPCC dimana setiap bahan *input* maupun *output* ini memiliki faktor emisi yang berbeda. Berikut Tabel 11 yang berisikan hasil perhitungan dampak emisi yang ditimbulkan.

Berdasarkan Tabel 11, total emisi GWP pada budidaya Pisang Cavendish selama satu siklus adalah 95.544 kgCO₂^{eq}. Tahap panen memiliki dampak perubahan iklim terbesar dengan emisi GWP 57.511 kgCO₂^{eq}, menyumbang 60% dari total emisi karena limbah yang dibuang disajikan pada Tabel 9 dengan rincian limbah padat 326.496 kg, dan air limbah 74.904 liter. Tahap *packing* juga signifikan, menyumbang 20.738 kgCO₂^{eq} atau sekitar 22% dari perubahan iklim, terutama

dari penggunaan energi listrik PLN yang menghasilkan emisi besar. Gambar 1 merupakan diagram total emisi GWP yang ditimbulkan dari aktivitas budidaya Pisang Cavendish.

Rekomendasi Alternatif Upaya Perbaikan

Proses budidaya Pisang Cavendish dari penanaman hingga *packing* menyumbang emisi GWP signifikan. Rekomendasi perbaikan termasuk pengurangan emisi GRK dan GWP serta penerapan prinsip 4R (*reuse, reduce, recycle, and recovery*). Berikut macam-macam upaya alternatif perbaikan berbasis *eco-friendly product* yang dapat dilakukan seperti pemanfaatan limbah padat, pengolahan air limbah, dan pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi.

Limbah padat dari budidaya Pisang Cavendish mencapai 370.133 kg. Limbah ini akan dimanfaatkan sebagai pupuk kompos, fermentasi makanan ternak, dan olahan makanan dari jantung

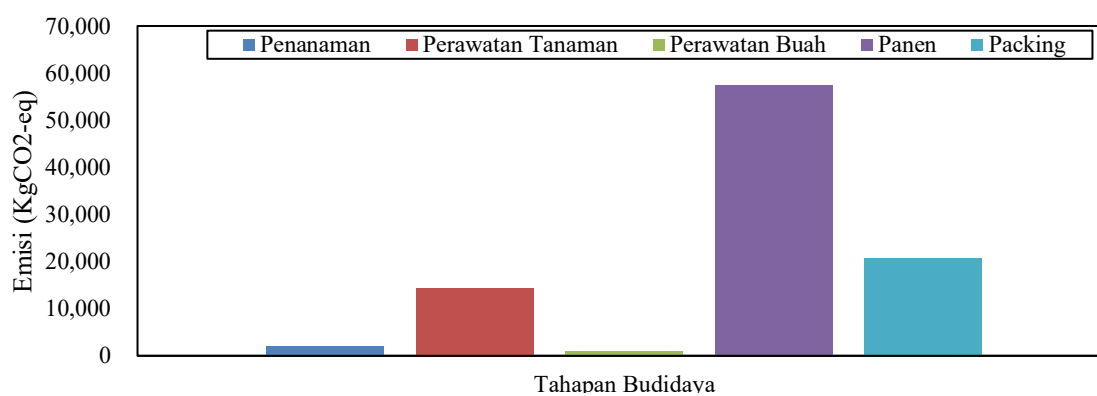
pisang serta keripik pisang. Limbah ini dikelola dengan perbandingan 60% pupuk kompos dan 40% produk sampingan untuk menghindari terciptanya limbah baru yang berlebihan. Ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan.

Selain limbah padat produksi Pisang Cavendish menghasilkan air limbah yang perlu ditangani. Air limbah budidaya Pisang Cavendish mencapai 74.904 liter. Menurut (Sagita dkk., 2019), penanganan anaerobik dapat mengubah limbah menjadi biogas dengan teknologi sederhana dan biaya terjangkau, tanpa membutuhkan lahan luas atau menghasilkan lumpur dalam jumlah besar. Metode ini dapat menurunkan emisi GRK dengan mengurangi nilai COD, BOD, TSS, dan TDS hingga 50-90%, serta menghasilkan gas metana yang dapat dimanfaatkan.

Tabel 11 Dampak Emisi Pada Budidaya Pisang Cavendish

No	Sumber Emisi	Emisi (kgCO ₂ ^{eq})		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
<i>Penanaman</i>				
1	Pupuk Urea (N)	148,87	-	1,98
2	Pupuk Dolomit	322,19	-	-
3	Pupuk TSP (P)	-	-	2,93
4	Pupuk KCL (K)	155,25	-	-
5	Herbisida	2,35	-	-
6	Bahan bakar solar	35,68	0,0015	0,000302
<i>Perawatan Tanaman</i>				
1	Pupuk Urea (N)	973,50	-	12,95
2	Pupuk Zn	345,08	-	-
3	Pupuk TSP (P)	-	-	4,41
4	Pupuk Petro-Cas	189,58	-	-
5	Pupuk KCL (K)	1210,95	-	-
6	Herbisida	52,47	-	-
7	Insektisida	24,56	-	-
8	Fungisida	433,31	-	-
9	Disinfektan	2,57	-	-
10	Pupuk Kieserite	141,75	-	-
11	Limbah Padat	-	145,80	8,75
<i>Perawatan Buah</i>				
1	Insektisida	13,2	-	-
2	Fungisida	69,89	-	-
3	Disinfektan	0,86	-	-
4	Limbah Padat	-	19,80	1,19
<i>Panen</i>				

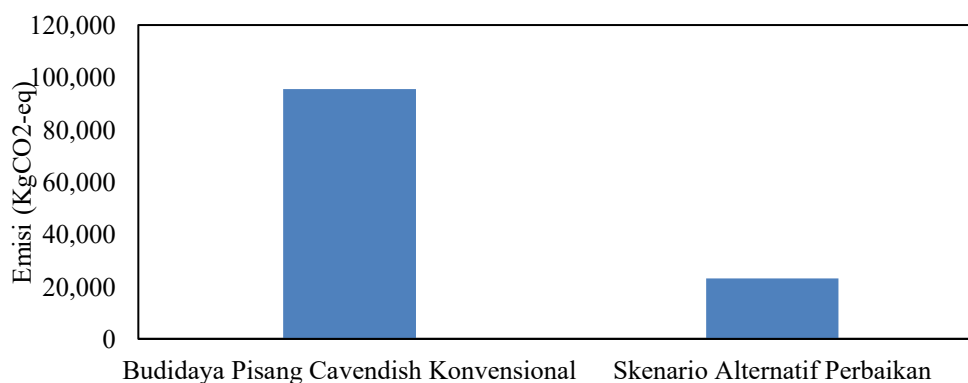
No	Sumber Emisi	Emisi (kgCO ₂ ^{eq})		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Alumunium Sulfat	12,02	-	-
2	Limbah Padat	-	1305,98	78,36
3	Limbah Cair	-	5,92	-
<i>Packing</i>				
1	Alumunium Sulfat	6,01	-	-
2	Pestisida Fungisida	1.304	-	-
3	Listrik	19.359	0,40	0,22
Total		24.803	1.477	110,79
Emisi Total (kgCO ₂ ^{eq})		95.544		



Gambar 1 Total Emisi GWP Budidaya Pisang Cavendish

Tabel 12 Perbandingan Budidaya konvensional dan Penerapan Alternatif Perbaikan

No.	Tahapan Budidaya	Budidaya Konvensional			Penerapan Alternatif Perbaikan		
		Emisi (kgCO ₂ eq)			Emisi (kgCO ₂ eq)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1.	Penanaman	664,34	0,0015	4,91	450,33	37,20	3,98
2.	Perawatan Tanaman	3.374	145,8	26,11	2.596	297,60	30,51
3.	Perawatan Buah	83,95	19,8	1,19	83,95	-	-
4.	Panen	12,02	1.312	78,36	12,02	1,42	-
5.	<i>Packing</i>	20.670	0,4	0,22	1.311	-	-
Total		24.804	1.478	110,79	4.453	336,22	34,49
Emisi Total (kgCO ₂ eq)		95.544			23.007		
Selisih (kgCO ₂ eq)		72.537					



Gambar 2 Perbandingan Emisi GWP

Selain limbah padat dan cair yang menyumbang emisi GRK terbesar, konsumsi energi listrik 24.999 kWh dalam satu siklus budidaya Pisang Cavendish juga berkontribusi besar terhadap emisi GRK. Penggunaan panel surya sebagai alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengurangi dampak emisi, karena energi surya tidak memiliki dampak emisi terhadap lingkungan (Purwoto et al. 2018). Berikut Tabel 11 menrepresentasikan perbandingan antara budidaya yang dilakukan konvensional dengan melakukan penerapan alternatif perbaikan untuk mengurangi dampak emisi gas rumah kaca. Merujuk pada Tabel 12 dan Gambar 2, budidaya konvensional Pisang Cavendish memiliki emisi GWP yang jauh lebih besar daripada budidaya yang menerapkan alternatif perbaikan. Penerapan alternatif ini mengurangi emisi secara signifikan dengan mengelola limbah padat dan cair serta beralih ke energi listrik dari panel surya. Dampaknya, GWP pada budidaya yang memperbaiki mencapai penurunan 76% atau 72.537 kgCO₂^{eq} dibandingkan dengan budidaya konvensional.

KESIMPULAN

Budidaya Pisang Cavendish memiliki tahapan yang signifikan dalam hal input dan output material serta dampak terhadap emisi gas rumah kaca (GRK). Tahap perawatan tanaman membutuhkan material input terbesar dengan fokus pada persiapan sebelum fase generatif, sementara tahap panen menghasilkan limbah padat dan cair yang menyumbang 60% dari total emisi GWP 95.544 kgCO₂^{eq}. Rekomendasi perbaikan melalui pengelolaan limbah padat untuk pupuk dan olahan makanan, serta penggunaan panel surya, dapat mengurangi emisi hingga 76% atau 72.537 kgCO₂^{eq} dari budidaya konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Brander, A. M., A. Sood, C. Wylie, A. Haughton, J. Lovell, I. Reviewers, and G. Davis. 2011. Electricity-specific emission factors for grid electricity. *Ecometrica*(August):1–22.
- City of Winnipeg. 2011. Emission factors in kg CO₂-equivalent per unit. *WSTP South End Plant Process Selection Report*:1366–1393.
- Darmawan. 2021. KAJIAN LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA): ANALISIS CRADLE TO GATE PERTANIAN JAGUNG PAKAN DI KELOMPOK TANI DESA BAJUIN, KABUPATEN 17(3):178–185.
- Desy Puspitasari. 2021. Tata Kelola Budidaya yang Baik Hasilkan Pisang Kualitas Ekspor. <https://hortikultura.pertanian.go.id/tata-kelola-budidaya-yang-baik-hasilkan-pisang-kualitas-ekspor/>.
- Fikri, E. 2020. *Menilai Dampak Lingkungan Dengan Analisis Daur Hidup (LCA)*. CV Pustaka Setia, Bandung.
- Fort, J., and R. Cerny. 2018. Carbon footprint analysis of calcined gypsum production in the Czech Republic. *Journal of Cleaner Production* 177:795–802.
- Hakim, H. M. Al, W. Supartono, and A. Suryandono. 2014. Life Cycle Assessment in Oil Palm Nurseries to Calculate Greenhouse Gas Emissions. *Ziraa'Ah Majalah Ilmiah Pertanian* 39(2):72–80.
- Hakim, T., R. Budianto, K. Kunci, L. Pertanian, K. Campuran, P. Bintil, A. Mix, and B. Merah. 2021. Jurnal Pengelolaan Limbah pertanian 06:1–9.
- Heimpel, G. E., Y. Yang, J. D. Hill, and D. W. Ragsdale. 2013. Environmental Consequences of Invasive Species: Greenhouse Gas Emissions of Insecticide Use and the Role of Biological Control in Reducing Emissions. *PLoS ONE* 8(8):1–7.
- IPCC. 2006. *Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Geneva, Switzerland: Inter-governmental Panel on Climate Change. Cambridge; UK: Cambridge University Press; 2007. Available from: www.ipcc.ch. Page Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Jamaluddin, M. A. 2018. Pengelolaan Perkebunan Pisang Cavendish di Plantation Group 3 PT Great Giant Pineapple, Lampung Tengah, Lampung.
- Kemen-ESDM. 2020. Metodologi Penghitungan Pengurangan Emisi GRK dan / atau Peningkatan Serapan Karbon dalam Kerangka Verifikasi Aksi Mitigasi:9.
- KLH. 2012. *PEDOMAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA NASIONAL: BUKU II VOLUME 1 METODOLOGI PENGHITUNGAN TINGKAT EMISI GAS RUMAH KACA PENGADAAN DAN PENGGUNAAN*

- ENERGI*. KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP, Jakarta.
- KLHK. 2021. Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA). *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*(1):1–82.
- Land, N. 2016. photo Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory 1(August).
- Purwoto, B. H., J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda. 2018. Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 18(1):10–14.
- Rajaeifar, M. A., H. Ghanavati, B. B. Dashti, R. Heijungs, M. Aghbashlo, and M. Tabatabaei. 2017. Electricity generation and GHG emission reduction potentials through different municipal solid waste management technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79:414–439.
- Rodríguez, L. J., C. E. Orrego, I. Ribeiro, and P. Peças. 2018. Life-Cycle Assessment and Life-Cycle Cost study of Banana (*Musa sapientum*) fiber Biocomposite materials. *Procedia CIRP* 69(May):585–590.
- Sagita, D., R. Praeko Agus Setiawan, W. Hermawan, E. Novita, H. Andiananta Pradana, S. Wahyuningsih, B. Marhaenanto, M. Wawan Sujarwo, M. A. Salman Hafids, L. Sucahyo, M. Yulianto, E. Hartulistiyoso, R. Astuti Widyowanti, N. Dwi Dharmawati, E. Sri Hertini, R. Valery Allen, F. Arlius, R. Herdianto, S. Virgawati, M. Mawardi, L. Sutiarmo, S. Shibusawa, H. Segah, M. Kodaira, J. Restu Amelia, U. Hasanudin, and E. Suroso. 2019. Variasi Digester Anaerobik Terhadap Produksi Biogas Pada Penanganan. *Teknik Pertanian Lampung* 8(September).
- Winardi, B. 2018. Penghematan Biaya Listrik Dengan Memanfaatkan Lampu LED Di Rumah Tangga. *Prosiding SENIATI* 4(2):381–385.