

## Analisis *Life Cycle Assessment* untuk Pengembangan Pariwisata Berbasis Teknologi Produk Gula Aren Menuju Wisata Kuliner Berkelanjutan di Kabupaten Sumbawa Barat

Gita Adita Risma<sup>1</sup>, Nispi Azzumardi<sup>2</sup>, dan Junaidi Efendi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Cordova

Jl. Pondok Pesantren No. 112, Taliwang, Sumbawa Barat NTB

Email: [gitaaditarisma@gmail.com](mailto:gitaaditarisma@gmail.com), [nispiazzumardi123@gmail.com](mailto:nispiazzumardi123@gmail.com), [djoenefendi@gmail.com](mailto:djoenefendi@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i2.30819>

Submitted April 7<sup>th</sup>, 2025, Accepted July 17<sup>th</sup> 2025, Published August 17<sup>th</sup>, 2025

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan pengembangan agrowisata berbasis teknologi, guna mendorong pembangunan wisata kuliner berkelanjutan di Kabupaten Sumbawa Barat, khususnya pada produk gula aren. Pendekatan penelitian dilakukan dengan penerapan LCA untuk menilai dampak lingkungan dari produksi gula aren, meliputi jejak karbon, efisiensi energi, dan emisi limbah. Hasil analisis kemudian diintegrasikan ke dalam media edukasi berupa digital platform, infografik, dan papan informasi di lokasi wisata. Studi ini mengambil objek di Desa Mataiyang, Kabupaten Sumbawa Barat, yang memiliki jumlah pohon aren terbanyak di wilayah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi LCA dalam agrowisata dapat meningkatkan kesadaran wisatawan terhadap keberlanjutan proses produksi gula aren. Selain itu, penelitian ini juga memberdayakan masyarakat lokal sebagai pelaku edukasi, sekaligus membuka peluang pengembangan sektor UMKM dan pariwisata berbasis saintek. Inovasi penelitian ini terletak pada penggabungan metode LCA dengan konsep agrowisata, di mana hasil analisis lingkungan tidak hanya menjadi bahan evaluasi, tetapi juga diolah menjadi sarana edukasi interaktif bagi wisatawan. Model ini menawarkan pendekatan baru dalam pengembangan desa wisata yang berfokus tidak hanya pada produk akhir, tetapi juga pada proses produksi yang ramah lingkungan dan informatif.

**Kata kunci:** Agrowisata; Edukasi Saintek; Keberlanjutan; *Life Cycle Assessment*; Sumbawa Barat

### Abstract

*This study aims to integrate the Life Cycle Assessment (LCA) approach with technology-based agrotourism development to promote sustainable culinary tourism in West Sumbawa Regency, particularly for palm sugar products. The research approach involves applying LCA to assess the environmental impact of palm sugar production, including carbon footprint, energy efficiency, and waste emissions. The results of the analysis were then integrated into educational media in the form of digital platforms, infographics, and information boards at tourist sites. This study took place in Mataiyang Village, West Sumbawa Regency, which has the largest number of palm trees in the region. The results of the study show that the integration of LCA in agrotourism can increase tourist awareness of the sustainability of the palm sugar production process. In addition, this study also empowers the local community as educators, while opening up opportunities for the development of the MSME sector and science and technology-based tourism. The innovation of this research lies in combining the LCA method with the concept of agrotourism, where the results of environmental analysis are not only used for evaluation but also processed into interactive educational tools for tourists. This model offers a new approach to developing tourist villages that focuses not only on the final product but also on environmentally friendly and informative production processes.*

**Keywords:** Agritourism; Science Education; Sustainability; *Life Cycle Assessment*; West Sumbawa



## PENDAHULUAN

Salah satu daerah di Nusa Tenggara Barat yang memiliki potensi besar untuk pengembangan tanaman aren adalah Sumbawa Barat. Meskipun tidak ada informasi spesifik tentang luas lahan tanaman gula aren di wilayah ini, pohon aren yang tersebar luas di hutan dan lahan masyarakat, menunjukkan potensi produksi yang menjanjikan. Areal perkebunan di Kabupaten Sumbawa Barat mencapai 2,01 ribu hektar, sebagian digunakan untuk produk lokal seperti aren (Badan Pusat Statistik, 2021). Potensi ini dapat dikembangkan lebih jauh sebagai sumber ekonomi dan sebagai daya tarik wisata kuliner yang edukatif dan berkelanjutan dengan dukungan dari kelompok usaha masyarakat dan pendampingan dari pemerintah dan sektor swasta (Satrio Wibowo & Arviana Belia, 2023).

Keberhasilan dalam mempromosikan produk gula aren tidak hanya berfokus pada produknya saja. Namun, informasi teknis seperti efisiensi energi, jejak karbon, dan proses produksi gula aren dapat disajikan dalam bentuk yang menarik dalam agrowisata melalui hasil evaluasi *life cycle*. Pengunjung tidak hanya dapat mencicipi gula aren, tetapi mereka juga dapat "menyaksikan" bagaimana prosesnya dimulai dari pohon hingga produk, dengan visualisasi *Life Cycle Assessment* (LCA), yang mudah dipahami. *Life Cycle Assessment* (LCA) yang menunjukkan bahwa produksi gula aren menghasilkan jumlah limbah atau emisi yang rendah dapat mendukung klaim produk hijau dan ramah lingkungan, menarik konsumen ke pasar yang lebih sadar lingkungan. Dengan demikian, *Life Cycle Assessment* (LCA) juga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengembangan rencana pengolahan limbah (Maisarah & Dian, 2024). Penduduk lokal tidak hanya memproduksi gula aren, tetapi mereka juga menjadi instruktur yang mengajarkan wisatawan tentang proses *Life Cycle Assessment* (LCA) dan kualitas gula aren yang unik. Pariwisata memberikan citra desa wisata yang inovatif dan berkelas dengan menyediakan produk dan alam serta pendidikan dan penelitian berbasis teknologi (Arman et al., 2023). Tidak hanya sebagai wisata inovatif namun juga sebagai wisata kuliner dapat disebut sebagai wisata makanan, wisata kuliner, atau wisata gastronomi (Wijatanti, 2020).

Produk lokal gula aren memiliki nilai ekonomi tinggi, dan ada potensi besar untuk pengembangan agrowisata. Dengan meningkatnya minat wisatawan terhadap wisata kuliner dan produk lokal yang berkelanjutan, penting untuk menyelidiki dampak lingkungan dari produksi gula aren. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA), yang dapat mengevaluasi dampak lingkungan pada seluruh siklus hidup produk, mulai dari bahan baku hingga produk akhir (Itskos et al., 2016). Pengembangan agrowisata berbasis produk gula aren dapat diarahkan pada keberlanjutan dan inovasi dengan menggabungkan *Life Cycle Assessment* (LCA) dan pendekatan saintek (*sains* dan teknologi) (Siti Aisyah, 2023).

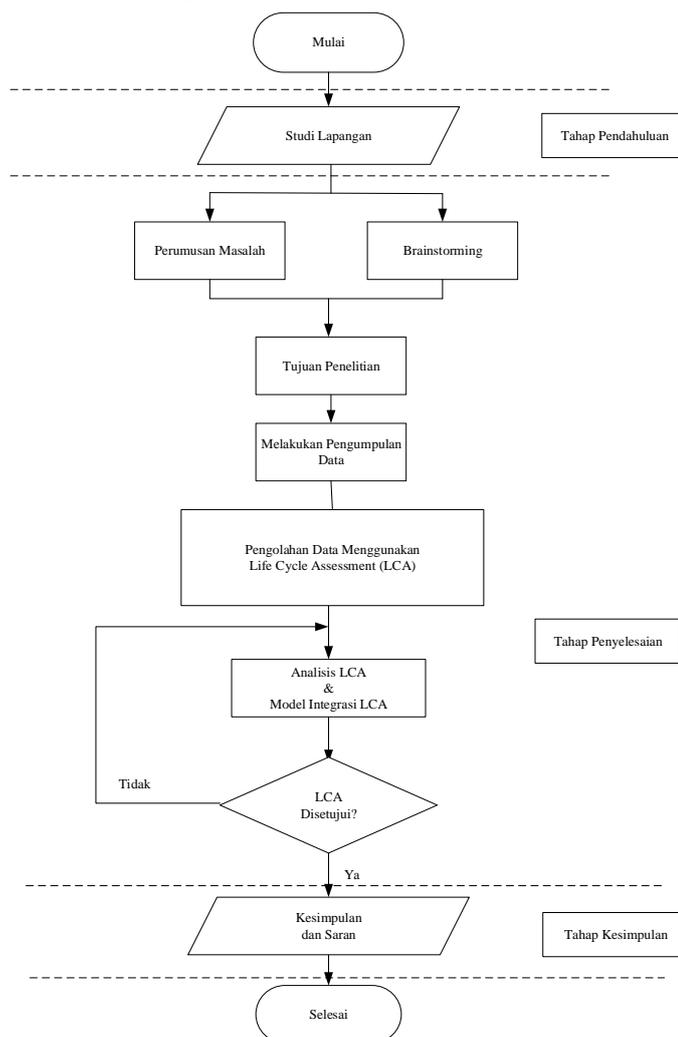
Aren (*Arenga pinnata Merr*) adalah salah satu jenis tanaman palma yang ada di Indonesia. Tanaman aren tersebut berasal menghasilkan cairan sadapan potongan tandan yang dikenal dengan nama nira. Gula aren terbuat dari nira aren yang disadap dari pohon aren dan dimasak (Hutami et al., 2023). Kualitas sari nira sangat penting untuk kualitas gula aren yang dihasilkan karena sari nira adalah bahan baku utama untuk produksi produk gula aren (Yulianto & Alhamdi, 2022). Objek penelitian yaitu produk gula aren yang berada pada kabupaten Sumbawa Barat dengan menjadikan produktivitas dengan produksi gula aren, dan potensi tersebut membuat Kabupaten Sumbawa Barat memiliki peluang yang cukup besar dalam memproduksi gula aren. Salah satunya di desa Mataiyang Kabupaten Sumbawa Barat dengan jumlah pohon aren terbanyak. Pengembangan usaha UMKM di desa Mataiyang dapat diintegrasikan melalui kegiatan agrowisata yang dapat menjadi model edukatif berbasis hasil *Life Cycle Assessment* (LCA).

Penelitian ini untuk menggabungkan model *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan pendekatan wisata berbasis teknologi produk gula aren khususnya dalam hal pembangunan berkelanjutan wisata kuliner produk gula aren. Integrasi ini dicapai dengan menyajikan hasil analisis LCA, seperti data jejak karbon, efisiensi energi, dan dampak lingkungan lainnya di papan informasi, infografik, dan media digital seperti kode QR (Kartikasari et al., 2019). Metode ini menjadikan *Life Cycle Assessment* (LCA) tidak hanya sebagai alat untuk menilai dampak lingkungan pada proses produksi dan sebagai metode analisis yang mempelajari aspek lingkungan dan kemungkinan dampak lingkungan selama siklus hidup produk secara menyeluruh dengan mempertimbangkan standar dan persyaratan khusus (Itskos et al., 2016), tetapi juga sebagai alat untuk berbicara tentang penelitian yang menarik dan mudah dipahami oleh

masyarakat umum. Dengan menerapkan model ini, penelitian diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata di Sumbawa Barat dalam pengembangan pariwisata berkelanjutan melalui pendekatan yang menggabungkan *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan edukasi wisata berbasis teknologi. Pendekatan ini merupakan kebaruan dalam konteks pengembangan produk lokal khususnya gula aren yang belum banyak dikaji secara ilmiah dari sisi siklus hidup lingkungan dan potensinya sebagai media edukatif di sektor pariwisata (Nurhidayati et al., 2025).

## METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan yaitu melakukan studi lapangan, studi literature, pengumpulan data, wawancara dan pengolahan data.



Gambar 1. Alur Penelitian

### Alur Penelitian

1. Tahap studi lapangan sebagai langkah awal untuk mengenali kondisi riil proses produksi gula aren di lokasi penelitian, serta potensi pengembangan pariwisata berbasis edukasi
2. tahap pendahuluan, yakni kajian literatur dan identifikasi kesenjangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan, terutama yang mengkaji *Life Cycle Assessment (LCA)* pada produk pertanian lokal.
3. pengumpulan data, baik data primer (observasi, wawancara) maupun sekunder (literatur, data BPS, studi terdahulu). Data yang terkumpul selanjutnya diolah dan dianalisis menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*,

4. Analisis hasil LCA dan pengembangan model integrasi LCA ke dalam media edukatif yang sesuai untuk pengunjung pariwisata, seperti infografik, papan informasi, atau video edukatif
5. Kesimpulan memuat temuan utama dari analisis LCA, sedangkan saran diarahkan pada pemanfaatan hasil penelitian untuk pengembangan agrowisata berkelanjutan berbasis produk lokal.

### Proses Pengumpulan Data

Observasi Lapangan: Observasi langsung di lokasi produksi gula aren, di desa penghasil Sumbawa Barat. Proses tersebut untuk mengawasi semua proses produksi, termasuk penyadapan nira, pemasakan, dan pencetakan. Mengetahui penggunaan alat dan energi. Menghitung secara kuantitatif dan kualitatif estimasi input dan output.

1. Observasi Lapangan: Observasi langsung di lokasi produksi gula aren, di desa penghasil Sumbawa Barat. Proses tersebut untuk mengawasi semua proses produksi, termasuk penyadapan nira, pemasakan, dan pencetakan. Mengetahui penggunaan alat dan energi. Menghitung secara kuantitatif dan kualitatif estimasi input dan output.
2. Wawancara : Wawancara dilakukan dengan petani, pelaku UMKM, untuk menggali informasi yang tidak bisa diamati langsung.

### Proses Pengolahan Data

#### 1. Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal and Scope Definition*)

Langkah awal ini bertujuan untuk menentukan tujuan LCA yaitu mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak lingkungan dari produksi gula aren untuk digunakan sebagai media edukatif dalam agrowisata (Rinaldo et al., 2023). Dengan unit fungsional yaitu gula aren dan sistem batas (*system boundary*) : Dari pengambilan nira, pemasakan, pencetakan, hingga pengemasan lokal.

#### 2. Inventarisasi Siklus Hidup (*Life Cycle Inventory – LCI*)

Pada tahap ini, parameter yang digunakan untuk perhitungan keseluruhan dampak lingkungan khususnya emisi dan kadar karbon tetap dipertahankan (Prmono et al., 2025). Tahap ini dikumpulkan data kuantitatif terkait dan data tersebut diperoleh dari observasi langsung, wawancara petani, dan literatur pendukung (Dian, 2023) :

1. Input: Nira aren (liter), Bahan bakar yang digunakan (kayu bakar, LPG, dll.), Air dan listrik (jika digunakan)
2. Proses produksi: melalui teknik perebusan nira, jumlah produksi, penggunaan tenaga kerja manual
3. Output: Produk gula aren, Emisi ke udara (CO<sub>2</sub>, uap air), Limbah padat/sisa bahan (serat, abu) energi yang digunakan per siklus produksi

#### 3. Penilaian Dampak Siklus Hidup (*Life Cycle Impact Assessment – LCIA*)

Penilaian Dampak Siklus Hidup (*Life Cycle Impact Assessment – LCIA*) merupakan penilaian dampak-dampak lingkungan pada suatu kegiatan (Dewanto, 2021). Data dari tahap LCI kemudian dianalisis untuk mengetahui jenis dan besarnya dampak lingkungan, menggunakan *software* atau secara manual (Suhariyanto et al., 2023). Kategori dampak yang dianalisis antara lain:

1. Potensi Pemanasan Global atau *Global Warming Potential* (GWP): Emisi gas rumah kaca (kg CO<sub>2</sub>-eq)
2. Permintaan Energi Kumulatif atau *Cumulative Energy Demand* : Jumlah energi yang dikonsumsi
3. Penggunaan air atau *Water Usage* : Volume air yang digunakan per kilogram gula
4. Pembentukan Partikel Padat atau *Particulate Matter Formation* : Potensi dampak terhadap kesehatan manusia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tahapan Alur Produksi

Proses produksi gula aren dimulai dengan tahap persiapan wadah yang berfungsi sebagai penampung air nira. Wadah tersebut kemudian diberi pengawet alami untuk mencegah fermentasi selama proses penampungan. Selanjutnya, bahan baku diambil dengan cara memanjat pohon aren, diikuti dengan pemotongan dan pengirisan ranting untuk merangsang keluarnya nira.

Setelah ranting diiris, wadah digantung dan dibiarkan selama sekitar 12 jam agar air nira menetes secara alami. Setelah waktu tersebut, air nira yang terkumpul diambil, dan proses pengirisan ranting diulang untuk memperpanjang masa produktivitas pengeluaran nira. Wadah baru kembali digantung, dan proses pengumpulan nira diulang hingga ranting tidak lagi mengeluarkan cairan.

Air nira yang telah disadap kemudian dikumpulkan dan disimpan dalam wadah besar seperti wajan logam, untuk dipanaskan selama sekitar 2 hingga 3 jam. Selama pemanasan, air nira tambahan dapat ditambahkan jika tersedia. Proses pemanasan ini dilakukan berulang kali hingga nira mencapai konsentrasi tertentu dan wajan penuh dengan cairan kental yang siap dicetak.

Langkah berikutnya adalah mempersiapkan proses pencetakan, dimulai dengan memasukkan daun ke dalam cetakan sebagai dasar. Cairan gula yang telah mengental dituangkan ke dalam cetakan dan dibiarkan hingga mengeras melalui pendinginan alami. Setelah mengeras, gula aren dikeluarkan dari cetakan, kemudian dilakukan proses penggabungan dan pengemasan. Gula aren dikemas dalam bentuk 12 biji per paket, dan tahap akhir dari seluruh proses ini adalah kegiatan pemasaran produk ke konsumen. *Life Cycle Assessment* (LCA) memungkinkan untuk mengidentifikasi sumber daya yang digunakan, emisi yang dihasilkan, dan dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian mengenai dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses produksi (et al., 2024).

### Inventarisasi Daur Hidup (LCI – *Life Cycle Inventory*)

Inventarisasi daur hidup (*Life Cycle Inventory*) adalah langkah krusial dalam metodologi *Life Cycle Assessment* (LCA) yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur semua aliran input dan output dari sistem produksi gula aren. Dalam penelitian ini, batas sistem ditetapkan dari tahap hulu (penyadapan nira) hingga tahap hilir (pengemasan dan pemasaran produk). Berdasarkan hasil pengamatan dan pengumpulan data, proses produksi gula aren tradisional di Kabupaten Sumbawa Barat terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut :

#### 1. Persiapan Wadah Penampung

Wadah yang terbuat dari bambu atau tempurung disiapkan dan dilapisi dengan pengawet alami (seperti kulit manggis atau daun sirih) untuk mencegah terjadinya fermentasi.

Input: Wadah bambu/tempurung, pengawet alami, tenaga kerja.

Output: Wadah steril yang siap untuk disadap.

#### 2. Penyadapan Nira

Petani memanjat pohon aren dan melakukan pengirisan pada ranting untuk merangsang keluarnya air nira. Wadah digantung selama sekitar 12 jam dan dikumpulkan secara berkala.

Input: Alat iris, tenaga kerja, waktu.

Output: Air nira segar.

#### 3. Pengumpulan dan Penyimpanan

Nira yang dihasilkan dikumpulkan ke dalam wadah besar (wajan logam). Input: Wadah besar, tenaga kerja. Output: Air nira yang siap untuk dimasak.

#### 4. Pemanasan dan Pengentalan

Nira dipanaskan selama sekitar 2 hingga 3 jam untuk menguapkan air dan mengentalkan gula. Input: Kayu bakar atau LPG, air nira, energi panas, waktu. Output: Cairan gula kental, asap/emisi, residu pembakaran.

**5. Pencetakan**

Cairan gula dituangkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi daun, kemudian dibiarkan mengeras secara alami. Input: Cetakan, daun alas, tenaga kerja. Output: Gula aren dalam bentuk padat.

**6. Pengemasan dan Pemasaran**

Gula aren dikemas dalam paket yang berisi 12 biji, kemudian didistribusikan ke pasar lokal. Input: Plastik pembungkus atau kertas kemasan, kendaraan roda dua. Output: Produk siap konsumsi, emisi dari transportasi.

**Penilaian Dampak Lingkungan (LCIA – Life Cycle Impact Assessment)**

Penilaian Dampak Lingkungan (*Life Cycle Impact Assessment / LCIA*) adalah tahap berikutnya setelah inventarisasi daur hidup (LCI) yang bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi dampak lingkungan dari semua aktivitas dalam siklus hidup produk gula aren, mulai dari pengambilan bahan baku hingga proses pengemasan. Metode yang diterapkan dalam LCIA ini mengacu pada pendekatan karakterisasi, yaitu dengan mengalikan jumlah emisi atau konsumsi material (LCI) dengan faktor konversi dampak (*Characterization Factor / CF*) untuk menghasilkan nilai total dampak lingkungan dalam satuan ekuivalen.

**Global Warming Potential (GWP) – kg CO<sub>2</sub>-eq**

*Global Warming Potential (GWP)* merupakan pengukuran seberapa besar kontribusi aktivitas terhadap pemanasan global. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, dan emisi lain dikonversi ke dalam ekuivalen CO<sub>2</sub> (Adhayani et al., 2022). Sumber di produksi Gula Aren meliputi pembakaran kayu bakar (CO<sub>2</sub>). Menurut (Maisarah & Dian, 2024) Rumus yang digunakan dalam Global Warming Potential (GWP) sebagai berikut :

$$GWP_{total} = \sum (Emisi\ gas \times Faktor\ Karakterisasi\ GWP - nya) \dots \dots \dots (1)$$

Tabel 1. *Global Warming Potential* pada beberapan senyawa (Bakshi, 2019)

Gas Rumah Kaca	(GWP) <sub>100</sub> (CO <sub>2</sub> -equivalents)
Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	1
Metana (CH <sub>4</sub> )	25,75
Metana (CH <sub>4</sub> ), Regeneratif	23
Dinitrogenmonoksida (N <sub>2</sub> O)	296
Tetraklorometana	1800
Tetrafluorometana	5700
Heksafluoroetana	11900

**Perhitungan *Global Warming Potential (GWP)* :**

Jika 2 kg kayu bakar yang digunakan maka,

$$GWP_{total} = \sum (Emisi\ gas \times Faktor\ Karakterisasi\ GWP - nya) \dots \dots \dots (2)$$

$$2\ kg\ kayu\ bakar \times 1,83\ kg\ CO_2/kg = 3,66\ kg\ CO_2 - eq$$

**Emisi Transportasi**

Menurut (Kurnia W. et al., 2022) Emisi transportasi yang digunakan dalam distribusi gula aren yaitu menggunakan rumus emisi transportasi dan pada studi kasus ini emisi yang digunakan yaitu bensin dan Jika menggunakan 3 liter bensin maka perhitungannya sebagai berikut.

Tabel 2 Konversi energi dan faktor emisi transportasi (Reza et al., 2024)

Bahan Bakar	Konversi Energi (MJ/L)	Faktor Emisi CO <sub>2</sub> (kg/MJ)	Faktor Emisi CH <sub>4</sub> (kg/MJ)	Faktor Emisi N <sub>2</sub> O (kg/MJ)
Bensin	33	0,0693	0,000033	0,000032
Solar	36	0,0741	0,0000039	0,0000039

Rumus yang digunakan untuk emisi transportasi yaitu :

$$E = KE \times FE \times GWP \dots\dots\dots (3)$$

$E$  = total emisi (kgCO<sub>2</sub> eq)

$Kbb$  = konsumsi bahan bakar (L)

$KE$  = konversi energi ( MJ/L)

$FE$  = faktor emisi (kg/MJ)

Rumus untuk menghitung *Global Warming Potential (GWP)*

$$E = KE \times FE \times GWP \dots\dots\dots (4)$$

$$E = 3L \times 33 \text{ MJ/L} = 99 \text{ MJ}$$

Menghitung masing-masing GWP sesuai tabel 2

$$CO_2 : GWPCO_2 = 99 \times 0.0693 \times 1 = 6.8567 \text{ kg } CO_2 - \text{ eq}$$

$$CH_4 : GWpch_4 = 99 \times 0.000033 \times 28 = 0.0915 \text{ kg } CO_2 - \text{ eq}$$

$$N_2O : GWPN_2O = 99 \times 0.000032 \times 265 = 0.8390 \text{ kg } CO_2 - \text{ eq}$$

Maka, total GWP nya adalah

$$GWP \text{ total} = 6.8567 + 0.0915 + 0.8390 = 7.7872 \text{ kg } CO_2 - \text{ eq}$$

Pembakaran 3 liter bensin menghasilkan ±7,79 kg CO<sub>2</sub>-eq sebagai dampak pemanasan global (GWP) dan emisi yang dihasilkan dari aktivitas transportasi, seperti kendaraan bermotor yang digunakan untuk pengangkutan bahan baku (misalnya air nira), produk, atau tenaga kerja.

### **Integrasi Teknologi Tepat Guna pada Agrowisata**

Pengembangan produk gula aren di Desa Mataiyang, Kabupaten Sumbawa Barat, tidak hanya penting dari segi produksi dan lingkungan, tetapi juga memerlukan pendekatan berkelanjutan yang menggabungkan teknologi tepat guna (TTG) dan berbasis sains dan teknologi (saintek). Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi dampak terhadap lingkungan, serta memperkuat posisi produk sebagai daya tarik wisata kuliner yang edukatif.

### **Implementasi Teknologi Tepat Guna**

Teknologi tepat guna merujuk pada penerapan alat atau metode yang sesuai dengan kondisi lokal masyarakat, mudah digunakan, hemat energi, dan ramah lingkungan. Dalam konteks produksi gula aren, penerapan Teknologi Tepat Guna dapat dilakukan melalui:

1. Penggunaan tungku hemat energi : Untuk menggantikan pembakaran kayu tradisional yang tidak efisien, tungku yang dimodifikasi dengan insulasi panas dapat mengurangi kebutuhan kayu bakar dan emisi gas rumah kaca.
2. Alat pengumpul nira otomatis : Penggunaan teknologi sederhana yang berbasis gravitasi atau katup otomatis dapat meningkatkan efisiensi dalam proses penyadapan nira dan mengurangi risiko kontaminasi.
3. Alat pencetak gula dengan cetakan silikon : Sebagai alternatif untuk daun cetakan, cetakan silikon yang tahan panas dapat digunakan berulang kali dan menghasilkan bentuk yang seragam untuk tujuan pemasaran.

### **Integrasi Edukasi Saintek dalam Wisata Kuliner**

Pendekatan edukatif yang berbasis sains dan teknologi bertujuan untuk menjelaskan proses produksi gula aren secara ilmiah kepada wisatawan dan masyarakat lokal dengan cara yang menarik dan informatif. Beberapa langkah implementasinya meliputi:

1. Pembuatan jalur wisata edukatif atau eduwisata: Menyediakan area demonstrasi yang menunjukkan seluruh proses produksi gula aren, mulai dari pohon aren hingga pencetakan, disertai dengan penjelasan infografis mengenai alur *Life Cycle Assessment (LCA)*.

2. Workshop interaktif: Mengadakan pelatihan tentang teknologi ramah lingkungan, pemanfaatan limbah organik (seperti pembuatan kompos), dan edukasi mengenai emisi karbon untuk pelajar dan pengunjung.
3. Digitalisasi informasi produk: Menggunakan QR Code pada kemasan produk yang terhubung dengan informasi digital tentang proses pembuatan gula aren, dampak lingkungan, serta inovasi teknologi tepat guna yang diterapkan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) pada produksi gula aren mencakup seluruh tahapan mulai dari pengambilan nira, proses pemanasan, pencetakan, hingga pengemasan dan distribusi. Hasil inventarisasi daur hidup (LCI) menunjukkan bahwa proses pemanasan menggunakan kayu bakar dan aktivitas transportasi berbahan bakar bensin merupakan penyumbang dampak lingkungan terbesar. Kategori dampak yang dianalisis meliputi potensi pemanasan global (GWP), deplesi sumber daya, emisi transportasi, dan limbah padat organik. Temuan ini menunjukkan bahwa produksi gula aren secara tradisional masih memberikan beban lingkungan yang cukup signifikan, khususnya akibat penggunaan energi tidak terbarukan.

Hasil *Life Cycle Assessment* (LCA) tersebut dapat dimanfaatkan sebagai media edukasi dalam pengembangan pariwisata berbasis teknologi. Informasi mengenai jejak karbon, penggunaan energi, dan potensi limbah dari proses produksi gula aren dapat diolah menjadi materi edukatif yang menarik dan mudah dipahami. Edukasi ini berfungsi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dan wisatawan terhadap isu keberlanjutan, serta mendorong penggunaan teknologi tepat guna yang lebih ramah lingkungan di tingkat lokal.

Untuk mendukung hal tersebut, dirancanglah model agrowisata yang komunikatif dan interaktif berbasis hasil *Life Cycle Assessment* (LCA). Wisatawan dapat menyaksikan langsung proses produksi, didukung dengan infografis, QR code interaktif, dan demonstrasi teknologi efisien seperti tungku hemat energi. Selain itu, pengunjung juga diberikan pemahaman tentang dampak lingkungan dari setiap tahapan produksi melalui simulasi emisi karbon dan pelatihan pengelolaan limbah. Model ini bertujuan agar wisatawan tidak hanya menikmati gula aren sebagai produk lokal, tetapi juga memahami proses ilmiah dan nilai lingkungan di balik produksinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhayani, F., Ichwana, I., & Siregar, K. (2022). Kajian Life Cycle Assessment (LCA) Sampah Biomassa di Bank Sampah Universitas Syiah Kuala (BSU). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(4), 846–853. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i4.22289>
- Arman, A., Indriana, I., Oliy, N., (2023). Pengembangan Desa Bunuo Sebagai Destinasi Ekowisata Gula Aren. *Communnity Development Journal*, 4(4), 8845–8851. <http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/cdj/article/download/19931/14506>
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Badan Pusat Statistik. (2021). Kabupaten Sumbawa Barat dalam angka 2021. BPS Kabupaten Sumbawa Barat.*
- Bakshi, B. R. (2019). Life Cycle Impact Assessment. In *Sustainable Engineering: Principles and Practice* (pp. 297–316). Cambridge University Press.
- Dewanto, H. A. (2021). SPECTA Journal of Technology. *Sifat Mekanik Produk Metalurgi Serbuk Dari Proses Ball Milling Dengan Bahan Baku Al7075 Terhadap Variasi Temperatur Sinter Dan Tekanan Kompaksi*, 5(1), 13–21. <https://doi.org/10.35718/specta.v9i2.8481481>
- Dian, R. M. (2023). Penggunaan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Sebagai Pendukung Pengambilan Keputusan Dampak Lingkungan Pada Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah Betahpa*, 02(02), 7–15.
- Hutami, R., Pribadi, M. F. I., Nurcahali, F., Septiani, B., Andarwulan, N., Sapanli, K., Zuhud, E. A. M., Al Manar, P., Ichsan, N., & Wahyudi, S. (2023). Proses Produksi Gula Aren Cetak (*Arenga pinnata*, Merr) Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 5(2), 119–130. <https://doi.org/10.30997/jiph.v5i2.10237>
- Kartikasari, I. B., Budiantoro, W., & Cendani, A. I. (2019). Efektifitas Pengolahan Mikroalga dengan Penambahan CO<sub>2</sub> pada Limbah Domestik. *Prosiding SNTK, December*, 21–29.

- Kurnia W., A., Handayani, F. S., & Setyawan, A. (2022). Analisis Emisi GRK dengan metode LCA pada Pekerjaan Konstruksi Jembatan Simping Susun Rangkasbitung. *Matriks Teknik Sipil*, 10(3), 203. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v10i3.61215>
- Maisarah, M., & Dian, R. (2024). Metode Life Cycle Assessment (LCA) Dalam Penilaian Dampak Lingkungan Industri Kelapa Sawit Untuk Kelapa Sawit Berkelanjutan. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 2(1), 15–23. <https://doi.org/10.56211/tabela.v2i1.452>
- Nurhidayati, E., Muliani, L., Judijanto, L., Apriyanto, A., Haryanti, T., Darmayasa, D., Haryani, H., Rohmah, I. Y., Hadiati, M. S., Arifiyanti, A. A., & others. (2025). *Pesona Pariwisata Indonesia: Potensi, Pengembangan, dan Inovasi Membangun Destinasi Pariwisata Indonesia*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia. [https://books.google.co.id/books?id=icY\\_EQAAQBAJ](https://books.google.co.id/books?id=icY_EQAAQBAJ)
- Pramono, A., Ariani, M., Sopiawati, T., & Suharsih. (2025). Penerapan Prinsip-Prinsip Siklus Daur Hidup ( Life Cycle Assessment ) SNI ISO 14044 : 2017 untuk Menghitung Emisi GRK pada Sistem Integrasi Tanaman-Ternak. *Warta Agrostandar*, 1, 1–5.
- Reza, E. Y., Pradiva, A. P., Widyaningsih, T. W., & Fauziah, F. (2024). Analisis Emisi Karbon Pada Kendaraan Dan Peralatan Listrik Rumah Tangga Untuk Mengantisipasi GWP (Global Warming Potential). *Techno.Com*, 23(3), 658–667. <https://doi.org/10.62411/tc.v23i3.11054>
- Rinaldo, R., Suprihatin, S., & Yani, M. (2023). Life cycle assessment produksi crude palm oil (CPO) (studi kasus: PT X Provinsi Bengkulu). *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(3), 651–659. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i3.17131>
- Satrio Wibowo, M., & Arviana Belia, L. (2023). Partisipasi Masyarakat dalam Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan. *Jurnal Manajemen Perhotelan Dan Pariwisata*, 6(1), 25–32.
- Siti Aisyah. (2023). Analisis Daur Hidup Produk Wajik Salak Pada Lima UMKM Di Kawasan Agrowisata Turi. *Jurnal Teknik Energi*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.35313/energi.v12i1.4657>
- Suhariyanto, T. T., Asih, H. M., Ichwanuddin, A., & Rasyid, M. I. (2023). Penerapan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Pada Proses Produksi Downlight Aluminium (Studi Kasus Di UPT Logam Yogyakarta). *Jitmi*, 6(1), 2685–6123.
- Sukmawan, Y., Dewi, R., Riniarti, D., Agusta, H., & Sudradjat, S. (2024). Evaluasi Dampak Lingkungan pada Pembibitan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan Pendekatan Penilaian Daur Hidup. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 11(2), 64–72. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2024.011.02.2>
- Wijatanti, A. (2020). Strategi Penguatan Pariwisata Jogja. *Khasanah Ilmu: Jurnal Pariwisata Dan Budaya*, 11(1), 74–82. <https://doi.org/10.31294/khi.v11i1.7998>
- Yulianto, A. A., & Alhamdi, F. (2022). Jurnal Hasi Penelitian Dan Pengkajian Ilmiah Eksakta. *Jppie*, 01(01), 59–64. <http://jurnal.unidha.ac.id/index.php/jppie>