

---

## Journal Of Industrial Engineering And Technology (Jointech) Universitas Muria Kudus

---

Journal homepage :  
<http://journal.UMK.ac.id/index.php/jointech>

---

### **LIFE CYCLE ENERGY ANALYSIS (LCEA) UNTUK MENGURANGI DAMPAK LINGKUNGAN DARI KONSUMSI ENERGI UNIT THRESHER PADA PT. KAREB ALAM SEJAHTERA**

**Eko Wahyu Abryandoko<sup>1\*</sup>, Faisal ashari<sup>2</sup>, Galih Budi Laksono<sup>3</sup>, Suji'at<sup>4</sup>, Ichwan Hadi Saputra<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universitas Bojonegoro, Jl. Lettu Suyitno No. 2 Bojonegoro, 62119, Indonesia

\* email Koredpondensi: abryandoko@gmail.com

---

#### **INFO ARTIKEL**

*Article history :*

Received : 15 Mei 2025

Accepted : 18 Juni 2025

---

Kata Kunci:  
Konsumsi Energi  
Dampak Lingkungan  
*Life Cycle Energy Analysis*  
Pengolahan Tembakau

---

#### **ABSTRAK**

Krisis energi global menjadikan konsumsi energi sebagai isu penting, khususnya di sektor industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan energi pada unit thresher di Koperasi Kareb Bojonegoro melalui penerapan Life Cycle Energy Analysis (LCEA). Metode penelitian dilakukan dalam tiga tahap yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, serta penilaian dampak lingkungan (LCIA) menggunakan perangkat lunak SimaPro. Data yang dikumpulkan meliputi konsumsi energi listrik selama proses produksi dan dampak lingkungannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dampak lingkungan tertinggi berasal dari kategori respiratory inorganics, climate change, dan carcinogens dengan total skor dampak sebesar 3,33 Pt. Sumber utama dampak berasal dari penggunaan listrik yang sebagian besar bersumber dari pembangkit berbahan bakar fosil. Rekomendasi perbaikan yang diajukan adalah penggantian lampu penerangan konvensional dengan lampu hemat energi jenis LED di area unit thresher. Penggunaan lampu LED dapat mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi kualitas pencahayaan. Penerapan LCEA terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan menangani dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh konsumsi energi di lingkungan industri.

---

## PENDAHULUAN

Krisis energi menjadi permasalahan global yang berdampak signifikan terhadap berbagai sektor, terutama sektor industri. mencatat bahwa sektor bangunan menyumbang sekitar 40% dari total konsumsi energi global. Konsumsi energi yang tinggi berkontribusi terhadap emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan mempercepat laju pemanasan global (Min et al., 2022; Rehman et al., 2023). Penggunaan energi secara berlebihan juga menimbulkan gangguan lingkungan seperti pencemaran udara, perubahan iklim, dan risiko kesehatan bagi manusia (Regina Citra Kurnia Pangestu & Anak Agung Ketut Ayuningsasi, 2024; Singh, 2021).

Evaluasi terhadap konsumsi energi dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan. Efisiensi energi dapat dicapai melalui penerapan teknologi tepat guna, pengelolaan operasional yang efektif, serta pemanfaatan sumber daya secara optimal (Lasaksi et al., 2023; Putra et al., 2024). Keberhasilan perusahaan dalam menerapkan efisiensi energi juga berperan dalam meningkatkan daya saing, menekan biaya produksi, serta mendukung keberlanjutan lingkungan (Judijanto et al., 2023).

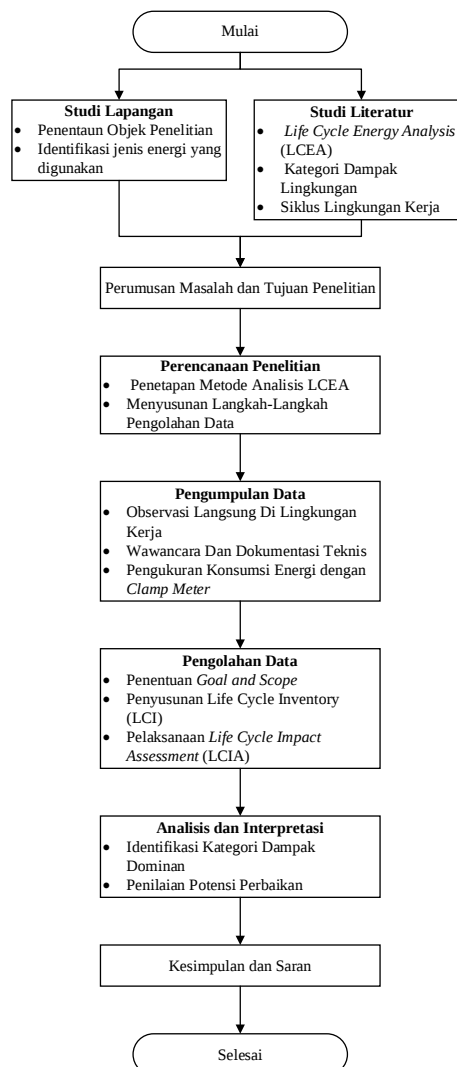
*Life Cycle Energy Analysis* (LCEA) menjadi salah satu metode yang efektif untuk menganalisis konsumsi energi dari awal hingga akhir siklus operasional. LCEA mampu memberikan gambaran menyeluruh terhadap aliran energi yang digunakan dalam suatu sistem produksi dan mengidentifikasi titik-titik kritis yang menjadi sumber pemborosan energi (Sumarata, 2019). Pendekatan ini tidak hanya fokus pada kuantitas energi yang digunakan, tetapi juga mempertimbangkan dampak lingkungan yang ditimbulkan, termasuk emisi gas rumah kaca dan risiko terhadap kesehatan manusia (Filimonau et al., 2011).

Koperasi KAREB Bojonegoro merupakan perusahaan pengolahan tembakau dengan berbagai unit produksi, salah satunya adalah unit thresher. Unit ini memiliki peran penting dalam memisahkan tulang daun dan helai daun tembakau sebelum proses pengeringan. Kapasitas produksinya mencapai 5.000 kg per jam, sehingga intensitas penggunaan energi sangat tinggi. Belum tersedia evaluasi teknis maupun lingkungan secara menyeluruh terkait konsumsi energi di unit ini. Ketidaktahuan terhadap besarnya energi yang digunakan dan dampak yang ditimbulkan dapat menyebabkan inefisiensi dan membahayakan lingkungan sekitar (Hendlin & Bialous, 2020; Mousavi et al., 2023).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis konsumsi energi listrik pada unit thresher Koperasi KAREB menggunakan pendekatan LCEA. Proses dimulai dengan identifikasi siklus produksi secara menyeluruh, termasuk proses *feeding*, penguapan, pemisahan daun, pengeringan, hingga pengepakan. Data konsumsi energi dikumpulkan melalui observasi lapangan, pengukuran langsung menggunakan alat seperti clamp meter, serta dokumentasi teknis dari perusahaan. Analisis dilakukan dengan menyusun inventori energi, menghitung dampak lingkungan berdasarkan metode *Eco Indicator 99*, dan mengolah data menggunakan perangkat lunak *SimaPro* versi 9.4.0 (Verma et al., 2022). Hasil dari analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kategori dampak lingkungan yang dominan seperti *respiratory inorganics*, *climate change*, dan *carcinogens*.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Life Cycle Energy Analysis* (LCEA) untuk mengevaluasi konsumsi energi dan dampak lingkungan dari proses produksi di unit thresher Koperasi KAREB Bojonegoro. Metode LCEA dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh terkait aliran energi selama siklus hidup operasional dan pengaruhnya terhadap lingkungan, sehingga dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan manajerial dan teknis. Gambaran tahapan kegiatan penelitian disajikan dalam flowchart pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Objek penelitian difokuskan pada unit thresher sebagai unit pengolahan tembakau dengan konsumsi energi tertinggi. Lokasi pengamatan dilakukan langsung di area produksi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi aktivitas produksi, wawancara dengan operator dan teknisi, serta dokumentasi data teknis dari perusahaan. Pengukuran konsumsi energi menggunakan clamp meter untuk mencatat beban listrik dari motor, mesin, dan pencahayaan. Data sekunder diperoleh dari literatur ilmiah serta laporan internal perusahaan.

Data dianalisis menggunakan perangkat lunak *SimaPro* versi 9.4.0 yang mengacu pada standar ISO 14040–14044 (Finkbeiner et al., 2006). Analisis dilakukan melalui empat tahap utama: *goal and scope definition*, *inventory analysis*, *life cycle impact assessment (LCIA)*, dan *interpretation*. Tahap pertama mencakup penentuan tujuan, ruang lingkup sistem, unit fungsional (kWh listrik), serta batas sistem yang meliputi proses dari pencampuran bahan hingga pengepakan. Tahap kedua mencakup identifikasi dan kuantifikasi input energi serta output produksi untuk mengetahui konsumsi aktual dalam satu siklus produksi.

LCIA dilakukan dengan mengelompokkan dampak lingkungan berdasarkan kategori seperti *respiratory inorganics*, *climate change*, dan *carcinogens*. Setiap kategori dianalisis

melalui proses *characterization*, *normalization*, dan *weighting*. Hasil akhir dari perhitungan ini menghasilkan *single score*, yang menggambarkan total dampak lingkungan dalam satuan yang terstandar.

Interpretasi hasil digunakan untuk mengidentifikasi kontributor dampak lingkungan terbesar. Hasil ini dijadikan dasar penyusunan rekomendasi teknis efisiensi energi. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap perbaikan praktik keberlanjutan energi di sektor pengolahan tembakau.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Identifikasi Penggunaan Energi

Identifikasi penggunaan energi bertujuan untuk mengetahui konsumsi aktual energi listrik dalam setiap komponen proses produksi pada unit *thresher* Koperasi KAREB. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lapangan dan pengukuran menggunakan *clamp meter* untuk memperoleh nilai konsumsi energi dari masing-masing peralatan listrik. Rincian nilai konsumsi energi tersebut disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Penggunaan Energi Koperasi Kareb Pada Unit *Thresher*

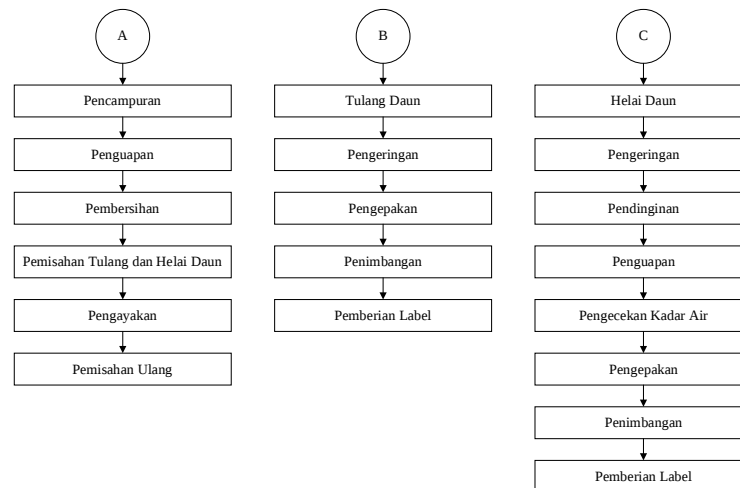
| No | Mesin         | Kapasitas Mesin | Jumlah Mesin (Watt) | Total Kapasitas Mesin (Watt) | Rata-rata Penggunaan |
|----|---------------|-----------------|---------------------|------------------------------|----------------------|
| 1  | Motor Listrik | 2 HP            | 82                  | 276.654                      | 18.800,25 kWh        |
|    |               | 7,5 HP          | 13                  |                              |                      |
|    |               | 15 HP           | 12                  |                              |                      |
|    |               | 25 HP           | 2                   |                              |                      |
|    |               | 50 HP           | 1                   |                              |                      |
| 2  | Mesin Press   | 37 kw           | 4                   | 148.000                      |                      |
| 3  | Lampu Neon    | 30 watt         | 40                  | 1.200                        |                      |
| 4  | Lampu LED     | 50 watt         | 3                   | 150                          |                      |

Tabel tersebut memperlihatkan bahwa konsumsi energi terbesar berasal dari penggunaan motor listrik pada mesin-mesin utama dalam proses pengolahan tembakau. Tercatat penggunaan secara bersamaan dari 82 motor listrik berdaya 2 HP, 13 motor berdaya 7,5 HP, 12 motor berdaya 15 HP, 2 motor berdaya 25 HP dan 1 motor berdaya 50 HP. Terdapat juga empat mesin press dengan daya masing-masing 37.000 Watt serta sistem pencahayaan yang terdiri atas 40 lampu neon dan 3 lampu LED. Seluruh peralatan ini beroperasi dalam rentang waktu yang cukup lama setiap harinya, yaitu antara 15 hingga 18 jam. Total konsumsi listrik harian tercatat sebesar 8.301,25 kWh, yang dihitung berdasarkan daya terpasang, jumlah unit peralatan, dan durasi operasional harian. Meskipun motor listrik berdaya kecil (2 HP) memiliki konsumsi daya rendah, banyaknya jumlah unit dan durasi pemakaian menjadikannya sebagai penyumbang utama konsumsi energi. Selain itu, sistem pencahayaan turut berkontribusi besar karena tetap menyala selama jam kerja, bahkan melampaui waktu operasional mesin utama untuk mendukung aktivitas pascaproduksi dan pembersihan. Informasi ini mengindikasikan bahwa konsumsi energi pada unit *thresher* bersifat tinggi dan tersebar merata di berbagai tahap proses produksi.

## B. Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap *Life Cycle Inventory* (LCI) bertujuan untuk mencatat seluruh input dan output sistem produksi dalam siklus hidup aktivitas harian unit *thresher*. Data yang dikumpulkan pada tahap ini digunakan untuk keperluan penghitungan dampak lingkungan pada tahap LCIA selanjutnya. Input utama pada sistem terdiri dari energi listrik sebesar 8.301,25 kWh per hari dan bahan baku berupa tembakau mentah dengan kapasitas olahan rata-rata 14.000 kg per hari. Output utama sistem berupa tembakau olahan yang telah melewati proses pemisahan antara helai daun dan tulang daun, pengeringan, hingga proses pengepakan dan pelabelan untuk pengiriman ke pelanggan.

Proses produksi pada unit *thresher* terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu: pencampuran (*feeding*), penguapan (*conditioning*), pembersihan (*picking*), pemisahan helai dan tulang daun (*threshing*), pengayakan, pemisahan ulang, pengeringan (*redrying*), pendinginan, pengecekan kadar air, pengepakan, penimbangan, dan pelabelan. Seluruh tahapan tersebut digambarkan secara sistematis dalam Gambar 2



Gambar 2. Overview Model Sistem Produksi Koperasi Kareb Unit *Thresher*, (A) sistem produksi sortir daun tembakau, (B) pemrosesan tulang daun, (C) pemrosesan helai daun.

Berdasarkan skema tersebut, diketahui bahwa konsumsi energi tertinggi terjadi pada proses *threshing* dan *redrying*, karena proses ini melibatkan penggunaan panas dan kerja mekanik yang terus-menerus dalam durasi panjang. Sementara itu, sistem pencahayaan dan motor konveyor berkontribusi pada konsumsi energi tersebar di seluruh tahapan proses.

Untuk melengkapi pemahaman terhadap aliran energi dan material, disusun Tabel 4.3 yang merinci input dan output dari masing-masing tahapan produksi.

Tabel 2. Input dan Output Proses Produksi Unit *Thresher*

| Input         |                   |        | Output   |        |        |
|---------------|-------------------|--------|----------|--------|--------|
| Nama          | Jumlah Penggunaan | Satuan | Nama     | Jumlah | Satuan |
| Listrik       | 28,535.95         | kWh    | Tembakau | 14,000 | kg     |
| Tembakau/Hari | 14,000            | Ton    |          |        |        |

Tabel 2 menjelaskan bahwa tidak semua tahapan memiliki output berupa produk, tetapi ada juga tahapan yang bersifat pendukung namun tetap menyumbang konsumsi energi. Semua

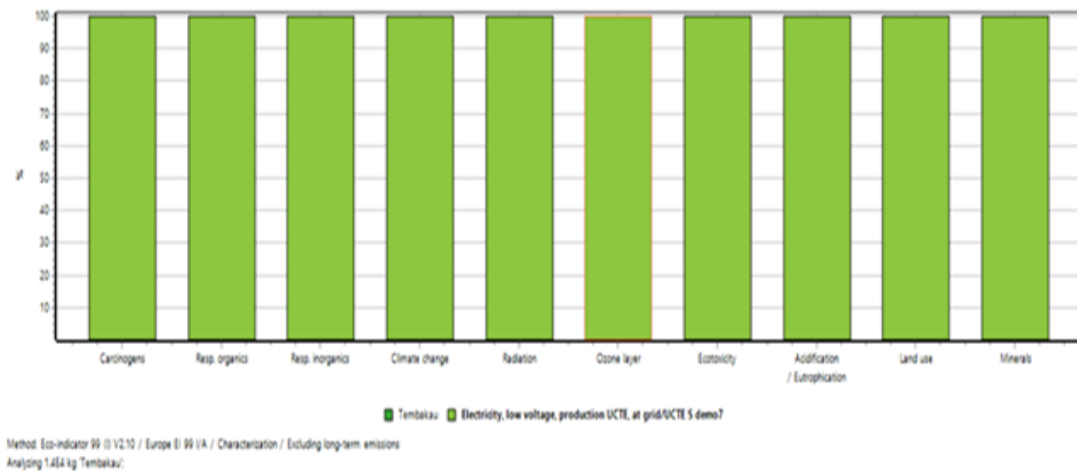
data kuantitatif dalam tabel dimasukkan ke dalam model *SimaPro* untuk selanjutnya digunakan dalam tahap LCIA. Dengan demikian, LCI memberikan dasar yang lengkap dan terstruktur untuk mengevaluasi sejauh mana konsumsi energi dan aliran material dalam sistem produksi memberikan dampak terhadap lingkungan.

### C. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

*Analisis Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* dilakukan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari konsumsi energi listrik selama proses produksi unit thresher. Metode yang digunakan adalah *Eco-Indicator 99* melalui perangkat lunak *SimaPro 9.4.0*, dengan empat tahapan: *characterization*, *normalization*, *weighting*, dan *single score*.

#### 1. Characterization

Hasil *characterization* menunjukkan bahwa kategori dampak terbesar berasal dari *respiratory inorganics* dengan nilai 0,00456 DALY, diikuti oleh *climate change* sebesar 0,00307 DALY, dan *minerals* sebesar 586 MJ surplus. Ketiga kategori tersebut terutama dipengaruhi oleh konsumsi listrik yang tinggi, di mana pembangkit listrik berbahan bakar fosil menghasilkan emisi polutan dan penggunaan sumber daya alam yang tinggi.



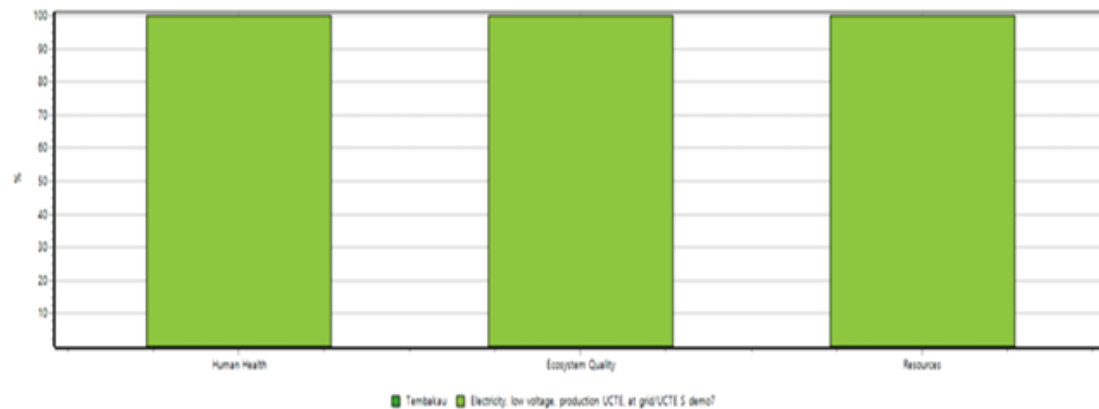
Gambar 3. Hasil *Characterization* Kegiatan Produksi Unit Trhersh

Tabel 3. Total Nilai *Characterization*

| <i>Impact Category</i> | <i>Unit</i> | <i>Total</i> |
|------------------------|-------------|--------------|
| Carcinogens            | Daly        | 0.00071      |
| Resp. Organics         | Daly        | 3.78e-06     |
| Resp. Inorganics       | Daly        | 0.00456      |
| Climate Change         | Daly        | 0.00307      |
| Radiation              | Daly        | 1.22e-05     |
| Ozone layer            | Daly        | 5.41e-07     |
| Ecotoxicity            | PAF*m2yr    | 439          |
| Acidification          | PAF*m2yr    | 217          |
| Land Use               | PAF*m2yr    | 122          |
| Minerals               | Mj Surplus  | 586          |

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 3, terlihat bahwa sistem produksi memiliki dampak terbesar terhadap kesehatan manusia melalui emisi partikel halus dan gas pencemar dari energi

tidak terbarukan. Selanjutnya, dampak lingkungan dianalisis pada tingkat end point yang digambarkan melalui Gambar 4, yang menunjukkan kontribusi dari tiap kategori terhadap kerusakan pada kesehatan manusia, kualitas ekosistem, dan sumber daya.

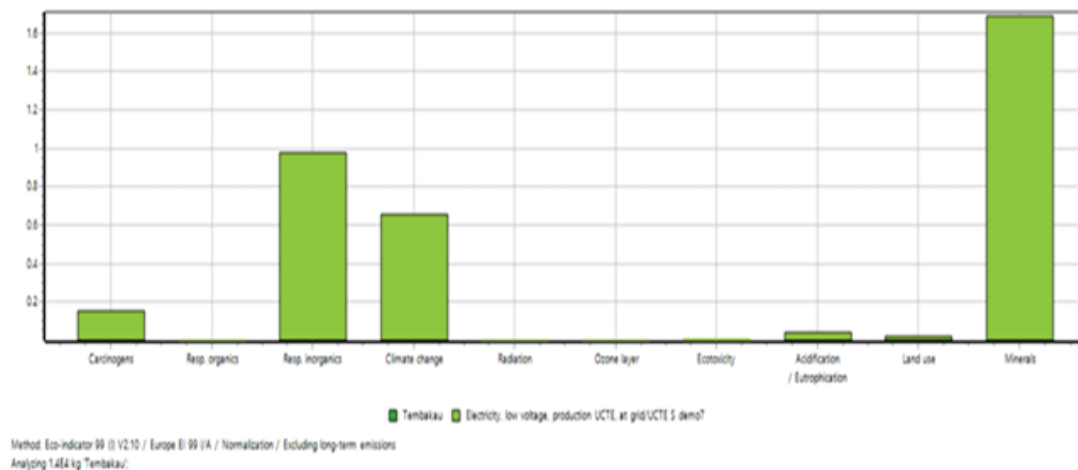


Gambar 4. Dampak Lingkungan *End Point* (Characterization)

Gambar 4 tersebut, dapat disimpulkan bahwa dampak paling dominan terjadi pada kategori *human health*, menunjukkan urgensi efisiensi energi untuk mengurangi risiko terhadap kesehatan masyarakat.

## 2. Normalization

Tahap *normalization* dilakukan untuk membandingkan besarnya masing-masing kategori dampak. Hasilnya menunjukkan bahwa minerals memiliki nilai normalisasi tertinggi yaitu 1,69, diikuti oleh *respiratory inorganics* (0,979) dan *climate change* (0,659). Dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 4.



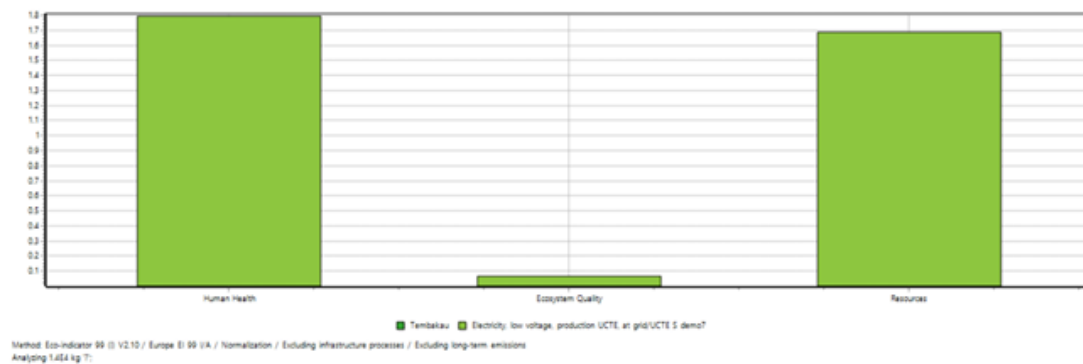
Gambar 5. Normalization Dampak Lingkungan Unit Thresher Koperasi Kareb

Tabel 4. Unit Thresher

| <i>Impact Category</i> | <i>Unit Thresher</i> |
|------------------------|----------------------|
| Carcinogens            | 0.152                |
| Resp. Organics         | 0.000813             |

| <i>Impact Category</i> | <i>Unit Thresher</i> |
|------------------------|----------------------|
| Resp. Inorganics       | 0.979                |
| Climate Change         | 0.659                |
| Radiation              | 0.00262              |
| Ozone layer            | 0.000116             |
| Ecotoxicity            | 0.00783              |
| Acidification          | 0.0387               |
| Land Use               | 0.0218               |
| Minerals               | 1.69                 |

Nilai ini mengindikasikan bahwa sistem produksi sangat tergantung pada sumber daya tambang dan menghasilkan emisi tinggi yang berdampak pada udara dan iklim. Analisis pada tingkat end point diperlihatkan melalui Gambar 6 dan Tabel 5, yang menunjukkan kontribusi unit produksi terhadap kerusakan lingkungan.



Gambar 6. Normalization Dampak Lingkungan End Point

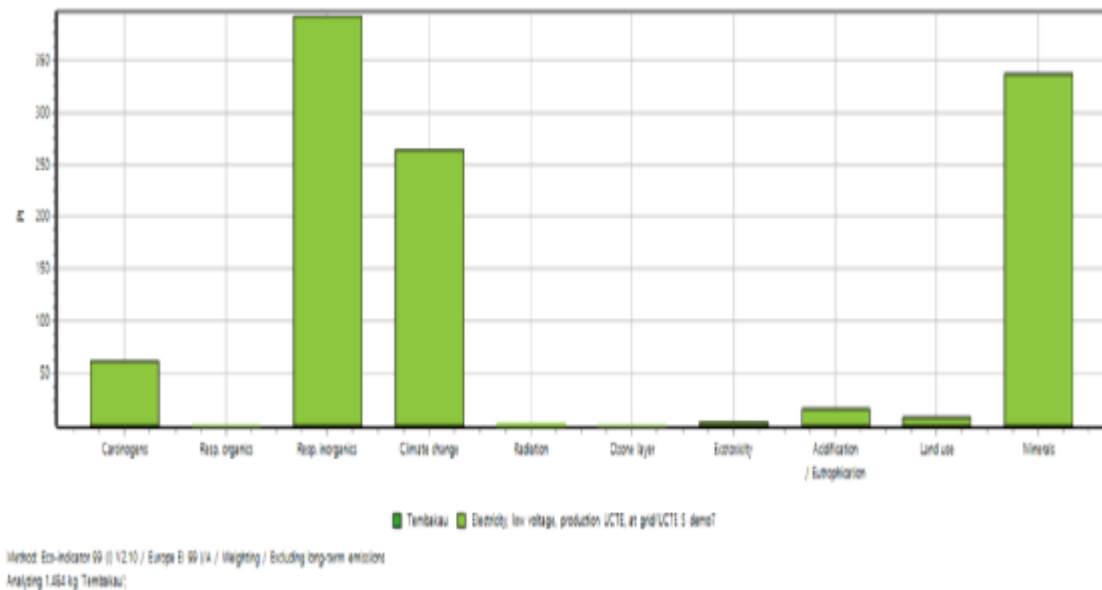
Tabel 5. Kontribusi Unit Kegiatan *Thresher* Terhadap Dampak Lingkungan  
*End Point (Normalization)*

| <b>Unit Kegiatan</b> | <b><i>Human Health</i><br/>(DALY)</b> | <b><i>Ecosystem Quality</i><br/>(PDF*m2yr)</b> | <b><i>Reource Depletion</i><br/>(Mj Surplus)</b> |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Unit Thresher        | 1.79                                  | 0.0684                                         | 1.69                                             |

Data tersebut menunjukkan bahwa human health tetap menjadi kategori dampak terbesar, disusul oleh resources dan ecosystem quality. Artinya, konsumsi energi memberikan dampak luas tidak hanya terhadap manusia tetapi juga terhadap keberlanjutan sumber daya.

### 3. *Weighting*

Pada tahap *weighting*, setiap kategori dampak diberi bobot berdasarkan urgensinya terhadap lingkungan. Kategori dengan nilai tertinggi adalah *respiratory inorganics* sebesar 392 Pt, kemudian minerals 388 Pt dan *climate change* 264 Pt.



Gambar 7. Hasil *Weighting* Kategori Dampak Lingkungan

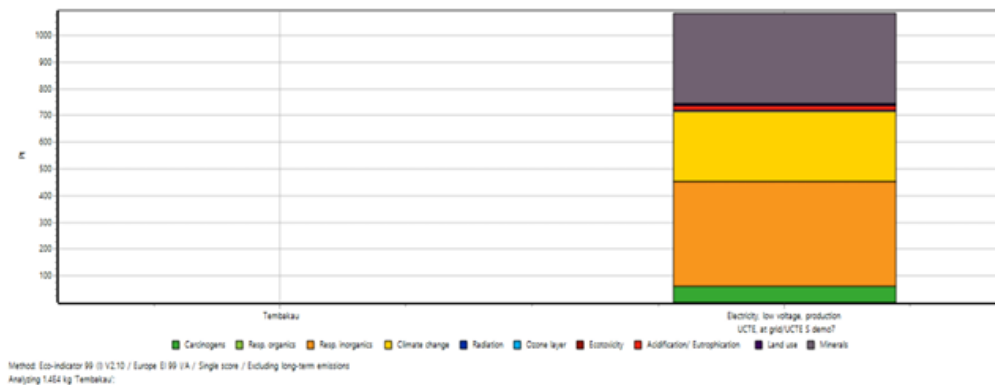
Tabel 6. Nilai Hasil *Weighting*

| <i>Impact Category</i>       | <b>Unit</b> | <b>Total</b> |
|------------------------------|-------------|--------------|
| Total                        | Pt          | 1.080        |
| Carcinogens                  | Pt          | 60.9         |
| Resp. Organics               | Pt          | 0.325        |
| Resp. Inorganics             | Pt          | 329          |
| Climate Change               | Pt          | 264          |
| Radiation                    | Pt          | 1.05         |
| Ozone layer                  | Pt          | 0.0456       |
| Ecotoxicity                  | Pt          | 3.13         |
| Acidification/Eutrophication | Pt          | 15.5         |
| Land Use                     | Pt          | 8.74         |
| Minerals                     | Pt          | 388          |

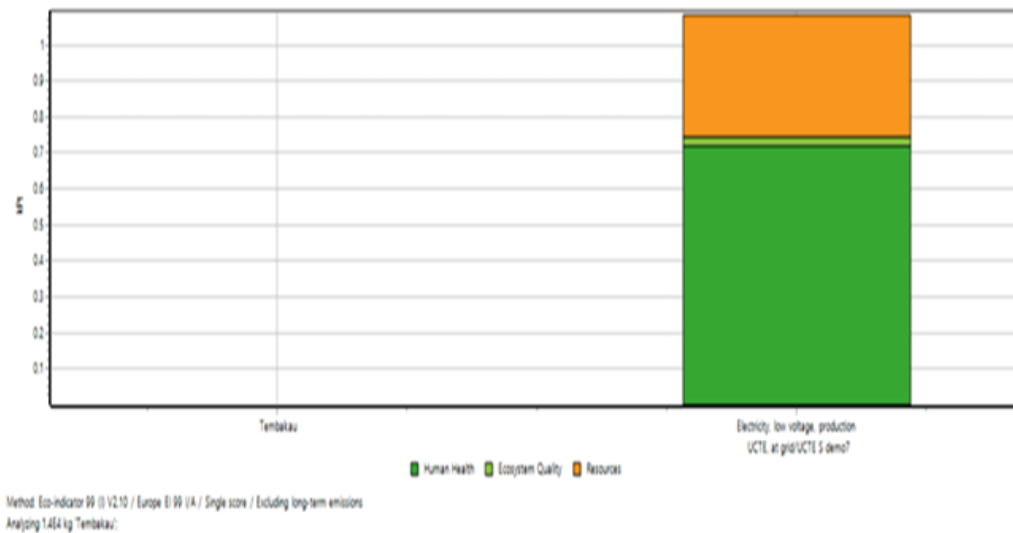
Nilai ini mempertegas bahwa polusi udara akibat konsumsi energi merupakan dampak paling penting untuk dikendalikan. Tingginya bobot pada minerals juga menunjukkan pentingnya efisiensi sumber daya tak terbarukan dalam operasional.

#### 4. *Single Score*

Tahap terakhir dari LCIA adalah perhitungan single score, yaitu nilai total dampak lingkungan yang dihasilkan dari seluruh proses produksi. Nilai total yang diperoleh adalah 1.080 Pt, dengan kontribusi terbesar dari human health sebesar 718 Pt, diikuti oleh *resources* 338 Pt dan *ecosystem quality* 27,3 Pt.



Gambar 8. Hasil *Single Score* Untuk Masing-Masing Unit Kegiatan Produksi Unit *Thresher*



Gambar 9. Hasil *Single Score* Kategori Dampak *End Point*

Tabel 7. Nilai Kategori Dampak *End Point* Pada Unit *Thresher*

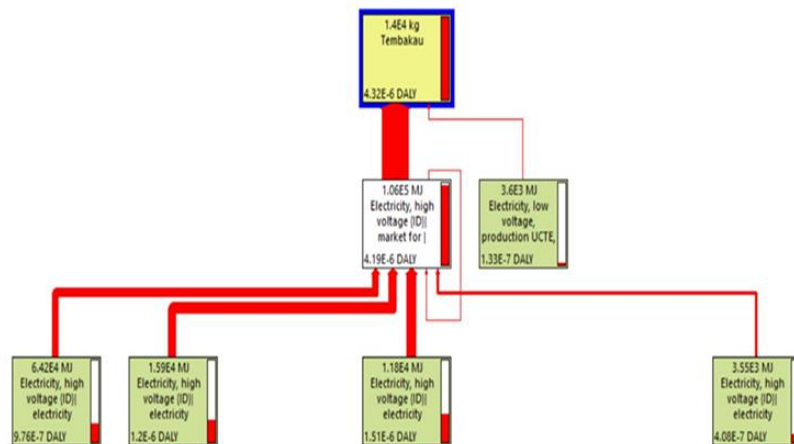
| Unit Kegiatan | <i>Human Health</i><br>(DALY) | <i>Ecosystem Quality</i><br>(PDF*m2yr) | <i>Resource Depletion</i> (Mj Surplus) | Total |
|---------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------|
| Unit Thresher | 718                           | 27.3                                   | 338                                    | 1.080 |

Gambar 8, 9 dan Tabel 7 tersebut, dapat disimpulkan bahwa konsumsi listrik menjadi penyebab utama kerusakan lingkungan, terutama terhadap kesehatan manusia. Nilai-nilai ini menjadi dasar utama untuk merancang strategi perbaikan yang berfokus pada efisiensi energi, teknologi rendah emisi, dan pengelolaan sumber daya yang lebih berkelanjutan.

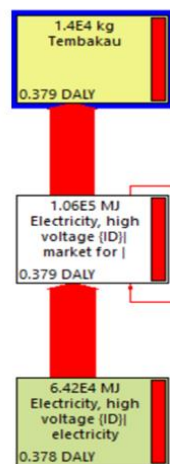
#### D. Analisis Dampak Lingkungan Perusahaan

Berdasarkan hasil analisis LCIA yang telah dilakukan, diketahui bahwa konsumsi energi listrik merupakan penyumbang utama terhadap dampak lingkungan dalam sistem produksi unit *thresher*. Kategori dampak yang paling dominan adalah *respiratory inorganics*, diikuti oleh

*climate change* dan minerals. Kategori respiratory inorganics menunjukkan risiko gangguan kesehatan akibat polusi udara, seperti emisi  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , dan partikulat halus, yang berasal dari pembangkitan listrik berbasis batubara. Kategori *climate change* mencerminkan kontribusi terhadap pemanasan global akibat emisi gas rumah kaca, terutama  $\text{CO}_2$ , sedangkan *minerals* menunjukkan tingginya ketergantungan sistem terhadap sumber daya tambang tidak terbarukan. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun aktivitas produksi tidak menghasilkan emisi secara langsung, konsumsi energi listrik yang intensif tetap memberikan dampak besar terhadap lingkungan melalui emisi tidak langsung dari sumber energinya. Dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram skematik *network characterization* dampak lingkungan *respiratory organics*

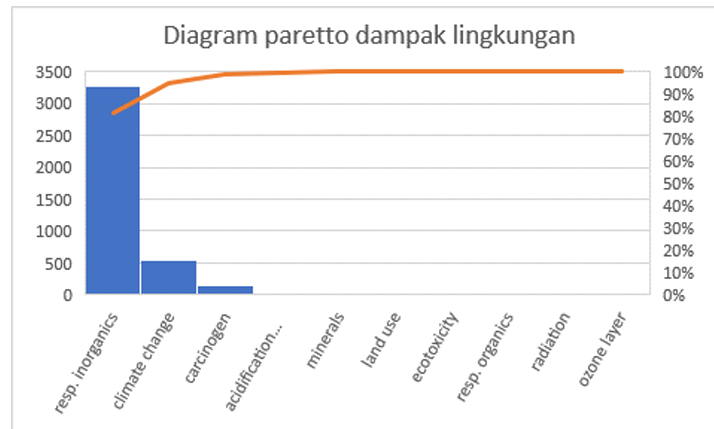


Gambar 11. Diagram skematik *network characterization* dampak lingkungan *respiratory inorganics*

Gambar 11 tersebut dapat dilihat bahwa konsumsi listrik dalam sistem produksi menyebabkan aliran dampak yang kompleks, yang pada akhirnya bermuara pada peningkatan risiko kesehatan manusia. Visualisasi ini mendukung interpretasi bahwa upaya pengurangan konsumsi energi, efisiensi pemakaian mesin, dan perbaikan sumber energi adalah strategi utama dalam menurunkan beban lingkungan dari sistem produksi unit thresher.

### E. Analisa Perbaikan Dampak lingkungan

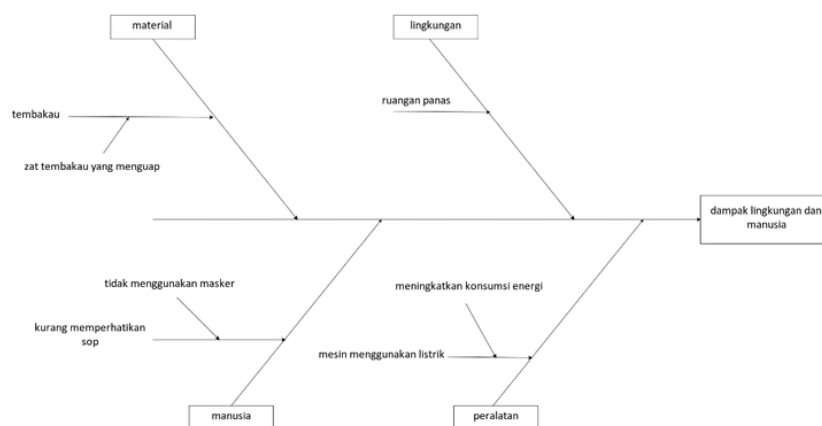
Untuk menentukan prioritas perbaikan dampak lingkungan, dilakukan analisis Pareto berdasarkan hasil *characterization*. Hasilnya menunjukkan bahwa empat kategori dampak menyumbang lebih dari 80% total nilai dampak, yaitu *respiratory inorganics* (23%), *climate change* (19%), *carcinogens* (15%), dan *acidification/eutrophication* (12%). Hal ini menegaskan bahwa fokus upaya mitigasi sebaiknya diarahkan pada pengurangan konsumsi energi listrik yang menjadi penyebab utama keempat kategori tersebut.



Gambar 12. Diagram *pareto* dampak lingkungan unit *thresher*

Gambar 12 memperlihatkan bahwa sebagian besar dampak lingkungan terkonsentrasi pada beberapa kategori utama, sehingga pendekatan pengendalian yang tepat sasaran terhadap penyebab utama akan memberikan hasil yang paling signifikan.

Untuk mengidentifikasi akar masalah yang menyebabkan tingginya konsumsi energi, digunakan diagram *fishbone*. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsumsi energi yang tinggi disebabkan oleh beberapa faktor utama, antara lain penggunaan mesin-mesin tua yang tidak efisien, waktu operasional yang terlalu panjang lebih dari 15 jam per hari, belum diterapkannya sistem manajemen energi otomatis, serta penggunaan lampu neon konvensional yang boros energi. Dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram *fishbone* dampak lingkungan unit *thresher*

Berdasarkan temuan tersebut, disusun beberapa rekomendasi teknis untuk menurunkan dampak lingkungan secara nyata. Rekomendasi tersebut antara lain adalah penggantian lampu neon dengan lampu LED hemat energi, penyesuaian jadwal kerja mesin agar tidak melebihi durasi 12 jam per hari, penggunaan motor listrik berdaya efisiensi tinggi, pemisahan panel listrik berdasarkan zona produksi untuk kontrol beban yang lebih baik, serta pemasangan sistem pemantauan energi digital secara real-time untuk pengawasan konsumsi energi. Implementasi strategi-strategi tersebut diharapkan mampu menurunkan nilai total single score secara signifikan, sekaligus meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem produksi di unit thresher.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik dalam produksi unit thresher di Koperasi KAREB memberikan dampak lingkungan signifikan, terutama pada kategori human health, climate change, respiratory inorganics, dan minerals. Metode Life Cycle Impact Assessment (LCIA) menggunakan Eco-Indicator 99 mengungkapkan bahwa dampak terbesar terjadi pada kesehatan manusia, dengan kontribusi 718 Pt dari total 1.080 Pt. Dampak ini berasal dari emisi tidak langsung akibat penggunaan listrik berbasis fosil. Analisis jaringan dampak menegaskan bahwa konsumsi energi menjadi pemicu utama emisi udara, sedangkan analisis Pareto menunjukkan bahwa empat kategori menyumbang lebih dari 80% total dampak. Diagram fishbone mengidentifikasi penyebab konsumsi energi tinggi, antara lain mesin tua, jam kerja panjang, pencahayaan tidak efisien, dan belum adanya sistem pengelolaan energi. Oleh karena itu, strategi perbaikan yang disarankan mencakup penggunaan LED hemat energi, pembatasan jam kerja mesin, motor efisiensi tinggi, pemisahan panel listrik, dan sistem monitoring energi digital guna menurunkan dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi produksi secara berkelanjutan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Koperasi KAREB Bojonegoro atas izin dan dukungan yang diberikan selama pengumpulan data di unit thresher. Penulis juga mengucapkan terima kasih terutama kepada LPPM Universitas Bojonegoro yang secara tidak langsung membantu dalam pendanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan dan penyelesaian artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Filimonau, V., Dickinson, J., Robbins, D., & Huijbregts, M. A. J. (2011). Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: Life Cycle Energy Analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of tourist accommodation. *Journal of Cleaner Production*, 19(17–18). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.002>
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. In *International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 11, Issue 2). <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.002>
- Hendlin, Y. H., & Bialous, S. A. (2020). The environmental externalities of tobacco manufacturing: A review of tobacco industry reporting. In *Ambio* (Vol. 49, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01148-3>

- Judijanto, L., Putri, V. K., Ansori, T., & Khamaludin, K. (2023). Analisis Dampak Penggunaan Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, dan Teknologi Hijau pada Pengurangan Emisi Karbon di Industri Manufaktur Kota Tangerang. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(12), 1127–1138. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i12.860>
- Lasaksi, P., Putri, V. K., Zainal, A., & Alaydrus, A. (2023). Analisis Bibliometrik Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Proses Produksi Pangan. In *Jurnal Multidisiplin West Science* (Vol. 02, Issue 09).
- Min, J., Yan, G., Abed, A. M., Elattar, S., Amine Khadimallah, M., Jan, A., & Elhosiny Ali, H. (2022). The effect of carbon dioxide emissions on the building energy efficiency. *Fuel*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124842>
- Mousavi, M., Taki, M., Raeini, M. G., & Soheilifard, F. (2023). Evaluation of energy consumption and environmental impacts of strawberry production in different greenhouse structures using life cycle assessment (LCA) approach. *Energy*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128087>
- Putra, U., Yptk, I., Berkelanjutan, M., Terbarukan, T. E., Energi, E., Karbon, E., Produksi, P., & Biaya, P. (2024). *Jurnal Teknik dan Teknologi Tepat Guna ANALISIS KINERJA SISTEM MANUFAKTUR BERKELANJUTAN: INTEGRASI TEKNOLOGI ENERGI TERBARUKAN DALAM PROSES PRODUKSI* Ade Saputra. <https://rcf-indonesia.org/jurnal/index.php/jtech>
- Regina Citra Kurnia Pangestu, & Anak Agung Ketut Ayuningsasi. (2024). Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, dan Transportasi terhadap Emisi Karbon di Indonesia. *Inisiatif: Jurnal Ekonomi, Akuntansi Dan Manajemen*, 3(4), 297–311. <https://doi.org/10.30640/inisiatif.v3i4.3154>
- Rehman, A., Alam, M. M., Ozturk, I., Alvarado, R., Murshed, M., Işık, C., & Ma, H. (2023). Globalization and renewable energy use: how are they contributing to upsurge the CO2 emissions? A global perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22775-6>
- Singh, S. (2021). Energy Crisis and Climate Change. In *Energy*. <https://doi.org/10.1002/9781119741503.ch1>
- Verma, S., Paul, A. R., & Haque, N. (2022). Selected Environmental Impact Indicators Assessment of Wind Energy in India Using a Life Cycle Assessment. *Energies*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/en15113944>