

# LIFE CYCLE ASSESSMENT PRODUKSI BIOFUEL BIJI KARET DENGAN METODE PIROLISIS

Ayuni Lestari <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pendingin Dan Tata Udara, Politeknik Sekayu

Email : lestariayuni13@gmail.com

**Abstrak :** Biji karet merupakan hasil samping yang kurang dimanfaatkan, karena hanya sebagian kecil saja yang dimanfaatkan untuk keperluan pembibitan, belum dimanfaatkan secara optimal dan menjadi salah satu permasalahan yaitu dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan berupa biofuel. Biofuel di produksi melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi dampak lingkungan dari produksi biofuel dari biji karet sebagai bahan bakar. Aplikasi yang akan digunakan sebagai penilai daur hidup lingkungan ( LCA ) adalah Simapro 10.2.0.0 dan metode yang digunakan ialah recipe 2016. Hasil Penelitian memberikan dampak kerusakan lingkungan terbesar Disebabkan oleh pretreatment yang merugikan hingga USD 6,142774 , pada ekosistem dampak terbesar disebabkan oleh proses pyrolysis sebanyak 3,11E-06 Species.yr, dan dampak terhadap Kesehatan Manusia disebabkan oleh aktivasi katalis sebesar 0,003682 Daly. Pada proses aktivasi katalis, penyumbang terbesar adalah dari bahan baku zeolit yang memiliki data kerusakan lingkungan terbesar atas aktivitas pengambilannya di alam. Dari hasil LCA, perbaikan kinerja lingkungan atau continuous improvement yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pengelolaan penggunaan energi dan penggunaan bahan bak katalis yang lebih ramah lingkungan.

**Kata Kunci :** LCA, Simapro, Biji karet

**Abstract :** Rubber seeds are an underutilized by-product, as only a small portion is used for propagation, while the rest remains largely untapped. This underutilization poses a challenge, despite their potential to be developed as a renewable energy source in the form of biofuel. Biofuel is produced through the pyrolysis process. This study aims to identify the potential environmental impacts of biofuel production from rubber seeds as a fuel source. The application used to conduct the Life Cycle Assessment (LCA) is SimaPro 10.2.0.0, employing the ReCiPe 2016 method. The results show that the greatest environmental damage was caused by the pretreatment stage, with a loss of up to USD 6.142774. The most significant impact on ecosystems occurred during the pyrolysis process, contributing to a loss of 3.11E-06 species-years. The impact on human health was mainly due to the

*Received : 4 Mei 2025*

*Accepted : 9 Juni 2025*

*Published : 20 Juli 2025*



**Copyright:** © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

catalyst activation process, with a value of 0.003682 DALY (Disability-Adjusted Life Years). In this stage, the largest contributor was the use of zeolite, which caused the highest environmental damage due to its extraction from nature. Based on the LCA results, improvements in environmental performance (continuous improvement) can be achieved by optimizing energy use and selecting more environmentally friendly catalyst materials.

**Keywords :** LCA, Simapro, Ruber Seed

---

## 1. Pendahuluan

Indonesia menargetkan porsi energi terbarukan sebesar 23% (lebih dari 400 MTOE) pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% (lebih dari 1000 MTOE) di tahun 2050, dengan fokus pada biomassa yang ditargetkan mencapai 26 GW pada 2050 (lebih dari 1000 MTOE) (Ruslan, 2021). Biomassa, termasuk limbahnya, memiliki potensi besar untuk diolah menjadi biofuel sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara (Febriani dkk., 2024). Biomassa, termasuk limbahnya, memiliki potensi besar untuk diolah menjadi biofuel sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara. (Kashem dkk., 2023)

Salah satu jenis limbah biomassa yang belum banyak dimanfaatkan adalah biji karet. Tanaman karet (*Hevea Brasiliensis*) merupakan salah satu tanaman perkebunan tropis yang banyak dibudidayakan, selain pemanfaatan karet dari tanaman karet juga mempunyai potensi lain yaitu pada bijinya, (Lestari dkk., 2023). Tanaman karet (*Hevea brasiliensis*), yang umum dibudidayakan di daerah tropis, menghasilkan biji berwarna coklat dengan ukuran 2,5–3 cm dan berat 2–4 gram, yang berpotensi tinggi sebagai sumber energi (Pizzi dkk., 2020)

Biji karet mempunyai kandungan minyak yang sangat tinggi. Pada metode mekanik atau pengepresan, diperoleh rendemen minyak biji karet sekitar 20 hingga 30% (Shahab & Husnah, 2022). Cangkang biji karet memiliki ciri konstruksi cangkang yang keras mengindikasikan bahwa cangkang biji karet ini, kandungan lignin sebesar 21,60% dan selulosa 61,04% (Iriany dkk., 2023). Biji karet dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan bakar dengan berbagai metode, salah satunya melalui metode pirolisis.

Pirolisis atau pemanasan tanpa udara yang akan menghasilkan 3 (tiga) produk utama yaitu bio-char, bio-oil, dan juga gas mampu bakar (syngas) (Sugiarto dkk., 2024). Teknologi pirolisis sangat berpotensi untuk dikembangkan karena ketersediaan sumber bahan biomassa yang sangat melimpah, teknologinya mudah untuk dikembangkan, bersifat ramah lingkungan dan menguntungkan secara ekonomi (Novita dkk., 2021). Pirolisis bersifat serbaguna, memungkinkan modifikasi parameter proses untuk mengoptimalkan hasil produk (Arielle dkk., 2024). Metode pirolisis mampu menghasilkan produk utama berupa bio-oil, biochar, dan gas pirolisis, yang masing-masing memiliki nilai guna energi maupun ekonomi

Namun, untuk memastikan bahwa proses produksi biofuel dari biji karet ini benar-benar ramah lingkungan dan efisien, diperlukan analisis menyeluruh terhadap dampak lingkungan selama siklus hidup produk tersebut. LCA adalah metode untuk menilai potensi dampak lingkungan dari sistem produk atau jasa pada semua tahap dalam siklus hidup mulai dari ekstraksi sumber daya, kegiatan produksi hingga daur ulang atau pembuangan akhir (Rinaldo dkk., 2023). LCA didefinisikan sebagai suatu proses objektif untuk mengevaluasi beban lingkungan yang terkait dengan suatu produk, proses,

atau aktivitas dengan mengidentifikasi dan mengukur penggunaan dan pelepasan energi dan material ke lingkungan serta mengevaluasi dan menerapkan peluang untuk melakukan perbaikan lingkungan (Wulandari dkk., 2022). LCA mampu memberikan perspektif yang lebih menyeluruh tentang dampak lingkungan dari suatu produk atau proses yang sudah ada (Rusdianasari dkk., 2022)

Dampak lingkungan yang dapat diamati dengan metode LCA adalah pemanasan global, pengasaman, eutrofikasi, penipisan lapisan ozon, penurunan sumber daya abiotik, toksisitas terhadap manusia baik dari bahan beracun di tanah, air, dan udara maupun hewan dan tumbuhan yang terpapar bahan beracun dan konsumsi, serta dampak lainnya (Yani dkk., 2022). Sebagian besar studi LCA berfokus pada masalah lingkungan tunggal seperti penggunaan air, pemanasan global, dan energi yang digunakan untuk menghasilkan satu produk (Sambasivam dkk., 2023)

Metode Life Cycle Assessment digunakan untuk menganalisis siklus daur hidup produksi yang memiliki potensi dampak lingkungan sesuai dengan langkah-langkah standar pada ISO 14040 atau ISO 2006 (Rizky dkk., 2025). Batasan LCA ditetapkan mencakup enam tahap: (1) ekstraksi dan pemrosesan bahan baku; (2) pembuatan; (3) transportasi dan distribusi; (4) pemanfaatan, penggunaan kembali, dan pemeliharaan; (5) daur ulang; dan (6) pembuangan (Liu dkk., 2024)

SimaPro merupakan alat yang profesional dapat membantu proses analisis faktor-faktor yang saling berhubungan dengan lingkungan pada proses produksi suatu produk (Azis, 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan LCA terhadap proses produksi biofuel dari biji karet menggunakan metode pirolisis, dengan fokus pada identifikasi dan kuantifikasi dampak lingkungan di setiap tahapan siklus hidupnya. Hasil dari studi ini diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan dalam pengembangan teknologi biofuel berbasis biji karet yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

### **1.1. Tinjauan Pustaka**

Biji karet merupakan hasil samping yang kurang dimanfaatkan, karena hanya sebagian kecil saja yang dimanfaatkan untuk keperluan pembibitan. Ketersediaannya cukup melimpah, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Kandungan minyak dalam daging biji mkaret atau inti biji karet 45- 50% dengan komposisi 17-22% asam lemak jenuh yang terdiri atas asam palmitat, stearat, arakhnidat, serta asam lemak tidak jenuh sebesar 77-82% yang terdiri atas asam oleat, linoleat, dan linolenat (Relita dkk., 2023). Kernel biji karet menghasilkan hasil sebagai berikut: kadar air 15,97 wt%, zat volatil 47,43 wt%, karbon tetap 32,45 wt%, dan kadar abu 4,15 wt%. Nilai kalor kulit biji karet diperoleh sebesar 3312,8694 kalori per gram (Lestari dkk., 2023). Proses pembuatan Biofuel dengan bahan baku biji karet telah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya. Secara umum diperlukan proses yang tepat untuk menghasilkan Bio-oil ini . salah satunya, Pirolisis adalah proses termokimia di mana material organik, seperti sampah biomassa atau sampah plastik, diuraikan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen . (Rhomadoni dkk., 2024).

## **2. Metode dan Material**

Pada penelitian ini bahan baku berupa Biji Karet menghasilkan Bio-oil dengan proses Pyrolysis, dan produk samping berupa arang ( Charcoal) dan NCG ( Non condantable gas) atau gas yang tak terkondensasi. Bahan baku Biji karet diambil dari kebun karet yang merupakan salah satu limbah perkebunan. Biji karet memiliki kandungan sebagai berikut :

**Table 1.**  
Karakteristik Biji Karet (Lestari dkk., 2023)

| Proximate Analysis | Unit  | Experiment Result |
|--------------------|-------|-------------------|
| Mositure           | %     | 15,97             |
| Ash Content        | %     | 4,15              |
| Volatile Matter    | %     | 47,43             |
| Fixed Carbon       | %     | 32,45             |
| Calori Value       | Cal/g | 3312,8694         |

sehingga dapat menjadi bahan baku alternatif yang baik sebagai bahan baku pembuatan bio oil. pengujian ini dilakukan dengan alat prototype pyrolysis, dari hasil penelitian didapatkan produk sebanyak :

**Table 2.**  
Hasil Yield (Yerizam dkk., 2023)

| No | Sample        | Temperature | % Yield |
|----|---------------|-------------|---------|
| 1  | Rubber Sheeds | 250         | 31,3    |
| 2  |               | 300         | 33,2    |
| 3  |               | 350         | 34,7    |
| 4  |               | 400         | 35,5    |
| 5  |               | 450         | 36,8    |

Namun dalam proses pembuatan bio oil ini memiliki dampak bagi lingkungan seperti pada transportasi, preparasi, proses pyrolysis sampai menjadi produk oleh sebab itu pada penelitian ini akan di uji efek pada lingkungan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Metode LCA digunakan untuk estimasi dan analisis dampak lingkungan yang dilakukan berdasarkan prinsip dan kerangka kerja dalam ISO 14010:2006 yang terdiri dari (1) The Goal and Scope Definition, (2) Life Cycle Inventory (LCI), (3) Life Cycle Impact Assessment (LCIA), dan (4) Interpretation.

Aplikasi yang akan digunakan sebagai penilai daur hidup lingkungan ( LCA ) adalah Simapro 10.2.0.0 dan metode yang digunakan ialah recipe 2016 dengan didukung data data pendukung dengan referensi relevan.

## 2.1. LCA

Life Cycle Assessment (LCA) atau daur hidup lingkungan ialah suatu metode untuk mengetahui dampak lingkungan dari suatu proses dari bahan baku sampai jadi produk. Dengan memperhitungkan dampak rumah kaca dan dampak dampak lain. Life Cycle Assessment (LCA) adalah alat yang komprehensif dan sistematis untuk menilai dampak lingkungan dari produk atau jasa (Ketrin & Rosariawari, 2024). LCA akan menghitung berdasarkan input proses dan output proses dan menilai potensi dampak lingkungan yang signifikan dari LCA berdasarkan tahapan yang sesuai standard dan petunjuk ISO 14040 (ISO 2006). SimaPro merupakan perangkat lunak yang telah dikembangkan oleh konsultan PRE dan telah digunakan secara luas selama lebih dari dua dekade, dengan fokus utama pada analisis Life Cycle Assessment (LCA). Perangkat ini berfungsi untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan memantau dampak lingkungan dari suatu produk atau layanan. (Arba & Thamrin, 2022)

## 2.2. Persiapan Awal

Pada proses awal ialah proses persiapan berupa penggilingan bahan baku dan pengeringan. Bahan baku berupa biji karet dihancurkan dengan mesin giling dengan mesin diesel dan akan didapatkan cangkang dan biji dalam biji karet. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan oven selama 2 jam dengan suhu 70<sup>o</sup>

**Tabel 3**  
Inventory Persiapan Awal

| No              | Input                            | Total | Unit |
|-----------------|----------------------------------|-------|------|
| <b>Material</b> |                                  |       |      |
| 1               | Biji Karet                       | 50    | Kg   |
| <b>Energi</b>   |                                  |       |      |
| 1               | Mesin Giling (diesel)            | 10    | L    |
| 2               | Oven                             | 4     | Kwh  |
| <b>Produk</b>   |                                  |       |      |
| 1               | Biji karet giling ( 50 -90 mesh) | 46,8  | Kg   |
| 2               | Reject                           | 3,2   | Kg   |

## 2.3. Aktivasi Katalis

Pada aktivasi katalis digunakan zeolit alam sebagai bahan baku dan asam sulfat sebagai aktivator. Zeolit diaktivasi dengan cara diimpregnasi dengan asam sulfat pada suhu 78°C, diaduk pada kecepatan 125 rpm selama 1 jam dan dikeringkan menggunakan oven selama 2 jam, (Lestari dkk., 2023)

**Tabel 4**  
Inventory Aktivasi Katalis

| No              | Input        | Total | Unit |
|-----------------|--------------|-------|------|
| <b>Material</b> |              |       |      |
| 1               | Zeolit       | 10    | Kg   |
| 2               | Asam sulfat  | 100   | ML   |
| <b>Energi</b>   |              |       |      |
| 1               | Hotplate     | 0,25  | Kwh  |
| 2               | Oven         | 0,6   | Kwh  |
| <b>Produk</b>   |              |       |      |
| 1               | Zeolit aktif | 10    | Kg   |

## 2.4. Proses Pyrolysis

Pada proses Pyrolysis akan dilakukan pemanasan didalam reaktor pyrolysis dengan suhu mencapai 450 selama 2 jam, alat tersebut menggunakan heater sebagai pemanas dan pendingin sebagai alat kondensasi pada produk dan akan menghasilkan bio oil pada kaluaran kondensor. dihasilkan pula charcoal yang akan tertinggal pada bottom alat pyrolysis, dan gas yang tak terkondensasi akan di pompa kan dengan pompa vakuum, pada pengujian terseebut dilakukan 10 kali percobaan dengan bahan baku biji karet 2,5kg. Berikut rincian table inventory input untuk 10 kali percobaan alat.

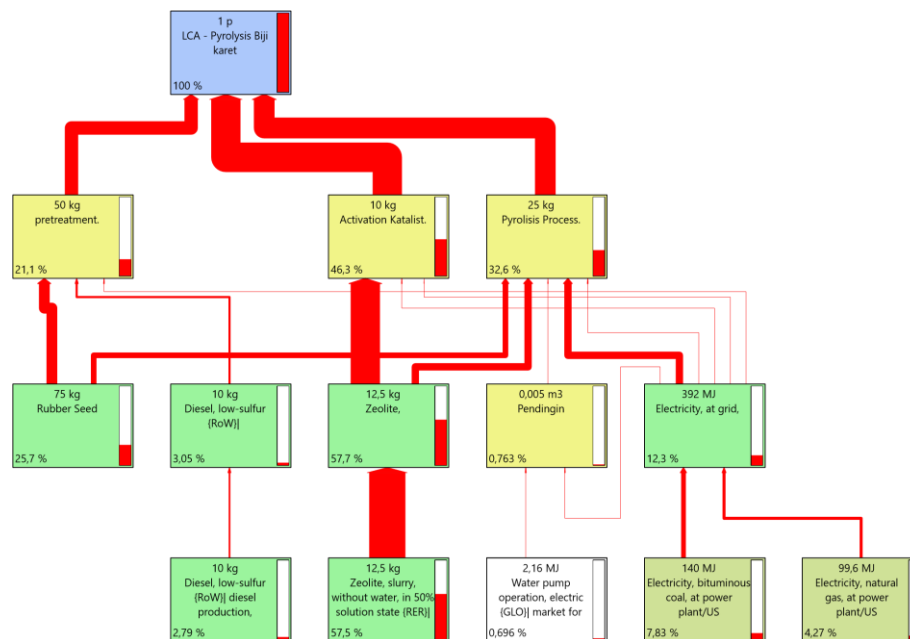
**Tabel 5**  
inventory proses Pyrolysis

| No              | Input                   | Total | Unit |
|-----------------|-------------------------|-------|------|
| <b>Material</b> |                         |       |      |
| 1               | Biji Karet giling       | 25    | Kg   |
| 2               | Zeolit aktif            | 2,5   | Kg   |
| <b>Energi</b>   |                         |       |      |
| 1               | Alat Pyrolysis (heater) | 100   | KWh  |
| 2               | Pompa Pendingin         | 6     | KWh  |
| 3               | Pompa Vakuum            | 3,5   | KWh  |
| <b>Produk</b>   |                         |       |      |
| 1               | Bio oil                 | 36,8  | %    |
| 2               | Charcoal                | 47,6  | %    |
| 3               | NCG                     | 15,6  | %    |

### 3. Hasil dan Pembahasan

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

Pada tahap ini memiliki 5 bagian yakni karakterisasi (Caracterization), penilaian kerusakan (damage assesment), Normalisasi (normalization), Pembobotan (weighting), dan Single Score. Penilaian dilakukan dengan menggunakan aplikasi Simapro 10.2.0.0 dan metode yang digunakan ialah recipe 2016. Metode ini dipilih karena memiliki penilaian dampak yang cukup banyak, penilaian Recipe 2016 memiliki metode dampaknya bervariasi dan faktor karakterisasi nya dapat digunakan di indonesia (Devi & Mirwan, 2023). Berikut hasil online dari penggunaan aplikasi simapro 10.2.0.0. dengan menggunakan metode recipe 2016.



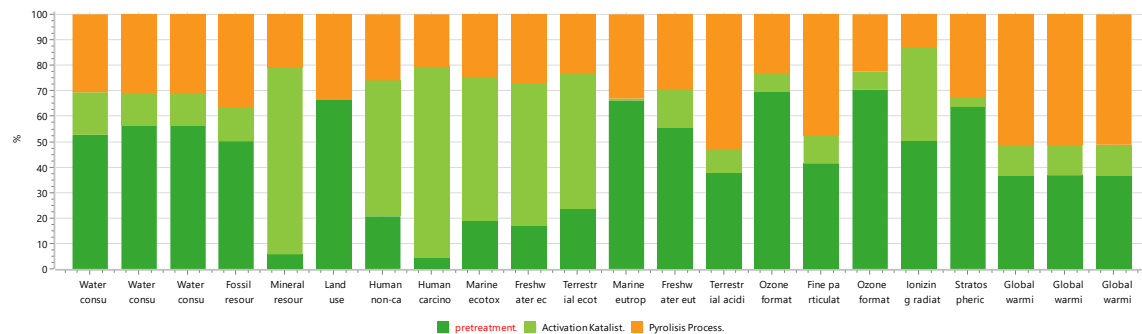
**Gambar 1.** Hasil online Proses Pyrolysis Biji karet

### 3.2. Analisis Karakteristik

Pada tahap karakterisasi (Characterization) dengan melakukan pengukuran dampak dari hasil atau kegiatan pada tiap indikator dampak. Pada metode recipe 2016 memiliki 22 indikator dampak yang diamati seperti dampak air konsumsi, sampai ke global warming. Berikut hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan aplikasi simapro.

**Tabel 6**  
Hasil Karakterisasi

| Impact category                          | Unit       | Total     | pretreatment | Activation Katalist | Pyrolysis Process |
|------------------------------------------|------------|-----------|--------------|---------------------|-------------------|
| Water consumption, Aquatic ecosystems    | species.yr | 1,15,E-12 | 6,03,E-13    | 1,92,E-13           | 3,50,E-13         |
| Water consumption, Terrestrial ecosystem | species.yr | 3,40,E-08 | 1,91,E-08    | 4,29,E-09           | 1,06,E-08         |
| Water consumption, Human health          | DALY       | 5,69,E-06 | 3,21,E-06    | 7,06,E-07           | 1,78,E-06         |
| Fossil resource scarcity                 | USD2013    | 1,22,E+01 | 6,13,E+00    | 1,63,E+00           | 4,42,E+00         |
| Mineral resource scarcity                | USD2013    | 1,78,E-01 | 1,01,E-02    | 1,30,E-01           | 3,70,E-02         |
| Land use                                 | species.yr | 8,87,E-07 | 5,88,E-07    | 5,83,E-09           | 2,93,E-07         |
| Human non-carcinogenic toxicity          | DALY       | 2,60,E-03 | 5,35,E-04    | 1,39,E-03           | 6,73,E-04         |
| Human carcinogenic toxicity              | DALY       | 2,67,E-03 | 1,18,E-04    | 2,00,E-03           | 5,54,E-04         |
| Marine ecotoxicity                       | species.yr | 1,59,E-06 | 3,01,E-07    | 8,92,E-07           | 3,94,E-07         |
| Freshwater ecotoxicity                   | species.yr | 2,15,E-09 | 3,71,E-10    | 1,20,E-09           | 5,82,E-10         |
| Terrestrial ecotoxicity                  | species.yr | 2,84,E-09 | 6,82,E-10    | 1,50,E-09           | 6,63,E-10         |
| Marine eutrophication                    | species.yr | 3,01,E-10 | 1,99,E-10    | 1,79,E-12           | 1,00,E-10         |
| Freshwater eutrophication                | species.yr | 5,40,E-08 | 2,99,E-08    | 8,32,E-09           | 1,57,E-08         |
| Terrestrial acidification                | species.yr | 2,23,E-07 | 8,38,E-08    | 2,12,E-08           | 1,18,E-07         |
| Ozone formation, Terrestrial ecosystems  | species.yr | 1,09,E-07 | 7,60,E-08    | 7,66,E-09           | 2,54,E-08         |
| Fine particulate matter formation        | DALY       | 2,45,E-04 | 1,01,E-04    | 2,69,E-05           | 1,17,E-04         |
| Ozone formation, Human health            | DALY       | 7,51,E-07 | 5,29,E-07    | 5,33,E-08           | 1,69,E-07         |
| Ionizing radiation                       | DALY       | 9,38,E-08 | 4,73,E-08    | 3,45,E-08           | 1,20,E-08         |
| Stratospheric ozone depletion            | DALY       | 5,26,E-07 | 3,34,E-07    | 2,01,E-08           | 1,72,E-07         |
| Global warming, Freshwater ecosystems    | species.yr | 1,19,E-10 | 4,37,E-11    | 1,42,E-11           | 6,13,E-11         |
| Global warming, Terrestrial ecosystems   | species.yr | 4,37,E-06 | 1,60,E-06    | 5,20,E-07           | 2,25,E-06         |
| Global warming, Human health             | DALY       | 2,19,E-03 | 8,02,E-04    | 2,60,E-04           | 1,12,E-03         |



**Gambar 2.** Hasil Karakterisasi

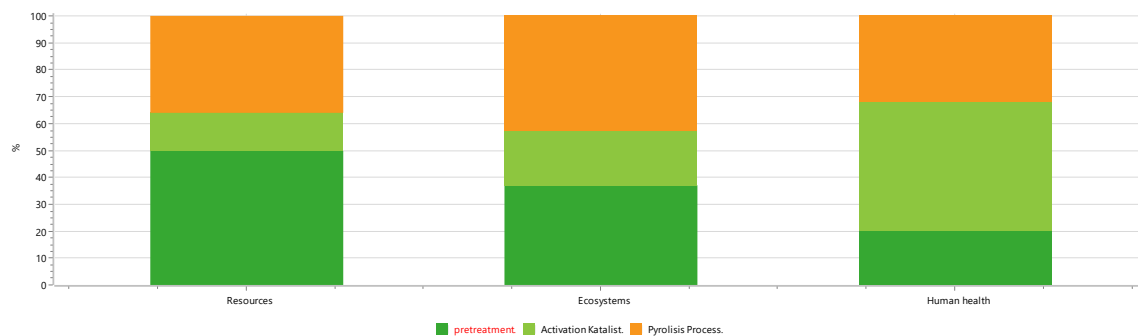
### 3.3. Penilaian kerusakan

Pada penilaian kerusakan proses penting dalam Life Cycle Assessment yang menerjemahkan data lingkungan teknis menjadi indikator kerusakan nyata terhadap manusia, ekosistem, dan sumber daya. Berikut hasil dari damage assesment yang telah didapatkan pada aplikasi siampro.

**Tabel 7**

Hasil Penilaian kerusakan

| Damage category | Unit       | Total    | pretreatment | Activation Katalist | Pyrolysis Process |
|-----------------|------------|----------|--------------|---------------------|-------------------|
| Resources       | USD2013    | 12,36022 | 6,142774     | 1,756396            | 4,461045          |
| Ecosystems      | species.yr | 7,27E-06 | 2,70E-06     | 1,46E-06            | 3,11E-06          |
| Human health    | DALY       | 0,007712 | 0,001559     | 0,003682            | 0,00247           |



**Gambar 3.** Hasil Penilaian kerusakan

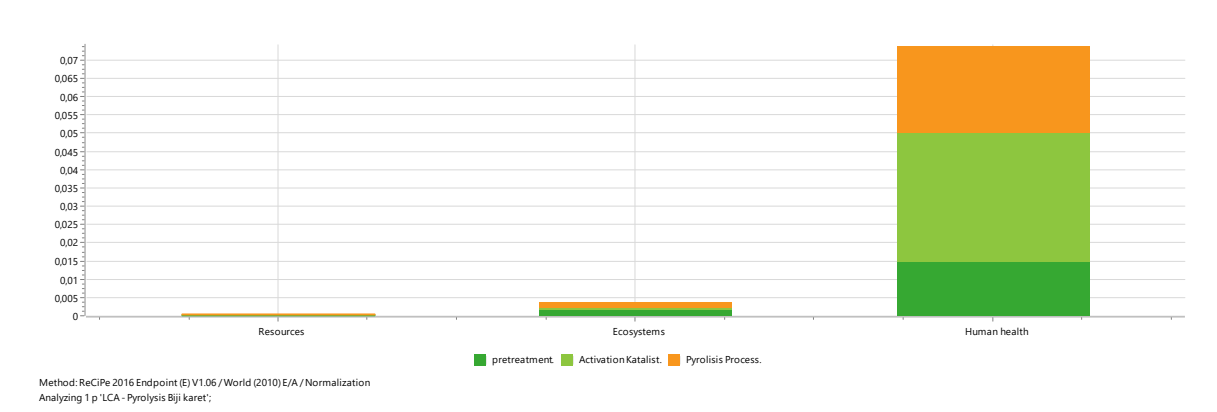
Pada tabel dan grafik diatas pada kerusakan lingkungan terbesar Disebabkan oleh pretreatment yang merugikan hingga USD 6,142774 , pada ekosistem dampak terbesar disebabkan oleh proses pyrolysis sebanyak 3,11E-06 Species.yr , dan dampak terhadap Kesehatan Manusia disebabkan oleh aktivasi katalis sebesar 0,003682 Daly,

### 3.4. Normalisasi

Tahap normalisasi dalam analisis LCA merupakan proses penyamaan satuan dari berbagai jenis dampak lingkungan dengan menggunakan faktor normalisasi. Proses ini dilakukan dengan mengalikan setiap nilai dampak dengan faktor tertentu agar seluruh efek lingkungan dapat dibandingkan dalam satuan yang seragam. Pada tahap ini, dampak-dampak yang telah dihitung sebelumnya diklasifikasikan ke dalam kategori *endpoint*, berdasarkan hasil analisis LCA yang telah dilakukan (Devi & Mirwan, 2023). Pada tahap ini didapatkan dampak tertinggi yaitu oada kesehatan manusia sebesar 0,073649, yang disebabkan oleh aktivasi katalis. Pada proses aktivasi katalis, penyumbang terbesar adalah dari bahan baku zeolit yang memiliki data kerusakan lingkungan terbesar atas aktivitas pengambilannya di alam. Berikut hasil normalisasi dapat dilihat pada tabel dan gambar

**Tabel 8**  
Hasil Normalisasi

| Damage category | Total    | pretreatment | Activation Katalist | Pyrolysis Process |
|-----------------|----------|--------------|---------------------|-------------------|
| Resources       | 0,000441 | 0,000219     | 6,27E-05            | 0,000159          |
| Ecosystems      | 0,003781 | 0,001406     | 0,00076             | 0,001615          |
| Human health    | 0,073649 | 0,014893     | 0,035166            | 0,02359           |



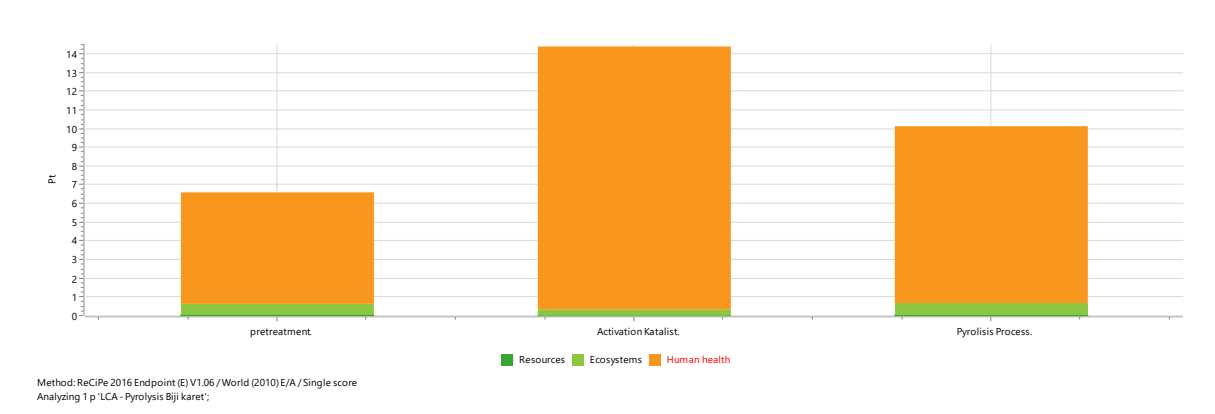
**Gambar 4.** Hasil Normalisasi

### 3.5. Pembobotan dan Single Score

Tahap ini merupakan bagian dari penilaian LCIA (Life Cycle Impact Assessment) yang berfungsi untuk memberikan bobot atau peringkat terhadap berbagai kategori dampak berdasarkan tingkat kepentingannya. Pada hasil penilaian ini, dampak terhadap kesehatan manusia tercatat sebagai yang paling signifikan, dengan nilai sebesar 29.45955 Pt. Dalam konteks ini, 1 Pt merepresentasikan seperseribu dari total dampak lingkungan yang dialami oleh rata-rata penduduk Eropa atau negara maju dalam kurun waktu satu tahun (Devi & Mirwan, 2023) . Berikut hasil pembobotan dan single score pada aplikasi simapro.

**Tabel 9**  
Hasil Pembobotan dan Single Score

| Damage category | Unit | Total    | Pretreatment | Activation Katalist | Pyrolysis Process |
|-----------------|------|----------|--------------|---------------------|-------------------|
| Total           | Pt   | 31,06023 | 6,563166     | 14,38305            | 10,11402          |
| Resources       | Pt   | 0,088252 | 0,043859     | 0,012541            | 0,031852          |
| Ecosystems      | Pt   | 1,51243  | 0,562223     | 0,304169            | 0,646037          |
| Human health    | Pt   | 29,45955 | 5,957083     | 14,06634            | 9,436127          |



**Gambar 5.** Hasil Pembobotan dan Single Score

#### 4. Kesimpulan

LCA merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk menganalisis kinerja lingkungan pada proses produksi Bio-oil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi Bio-oil dari Biji karet melalui proses Pyrolysis menggunakan Simapro 10.2.0.0 dengan metode recipe 2016 memberikan dampak kerusakan lingkungan terbesar Disebabkan oleh pretreatment yang merugikan hingga USD 6,142774 , pada ekosistem dampak terbesar disebabkan oleh proses pyrolysis sebanyak 3,11E-06 Species.yr, dan dampak terhadap Kesehatan Manusia disebabkan oleh aktivasi katalis sebesar 0,003682 Daly. Pada proses aktivasi katalis, penyumbang terbesar adalah dari bahan baku zeolit yang memiliki data kerusakan lingkungan terbesar atas aktivitas pengambilannya di alam. Dari hasil LCA, perbaikan kinerja lingkungan atau continuous improvement yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pengelolaan penggunaan energi dan penggunaan bahan bak katalis yang lebih ramah lingkungan.

#### Daftar Pustaka

- Arba, Y., & Thamrin, S. (2022). Journal Review: Perbandingan Pemodelan Perangkat Lunak Life Cycle Assessment (LCA) untuk Teknologi Energi. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(2), 142–153. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14001>
- Arielle, D. T. L., Nalume, W. G., & Gilbert, Y. (2024). A Review of the Life Cycle Analysis for Plastic Waste Pyrolysis. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 14(03), 113–145. <https://doi.org/10.4236/ojpchem.2024.143006>
- Azis, R. A. (2020). *Analisis Dampak Lingkungan Produksi Kayu Lapis Dengan Metode Life Cycle Assessment (studi kasus PT. Sengon Kondang Nusantara)* [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Magelang.

- Devi, S. A., & Mirwan, M. (2023). Analisis Life Cycle Assessment (LCA) pada Proses Produksi Pupuk ZA II Menggunakan Metode Recipe 2016. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(3), 620–632. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i3.2074>
- Febriani, A. V., Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2024). *Review: Analisis Potensi dan Tantangan Biomassa Sebagai Bahan Bakar pada PLTU dan PLTBm*.
- Iriany, Hasibuan, R., Novita, D., & Ummah, N. M. (2023). Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Buah Karet dan Ranting Kayu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.9818>
- Kashem, S. B. A., Bhuiyan, A. A., Firoz, M., Karim, Md. R., Mobin Siddique, M. B., Majid, M. E., Kunju, A. A., Nashbat, M., Hasan-Zia, M., Ashraf, A. I., & Ali, M. W. (2023). *Life Cycle Assessment of Biofuel Production from Household Waste and the Sustainability of the Processes: A Comprehensive Review*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4615065>
- Ketrin, E., & Rosariawari, F. (2024). *Identifikasi Dampak Lingkungan dengan Metode Pendekatan Life Cycle Assessment Pada Proses Produksi Pabrik Gula*.
- Lestari, A., Yerizam, M., & Hasan, A. (2023). Characterization of Rubber Seed (Hevea Brasiliensis) as Raw Material for The Production of Biofuel. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 7(3), 217–224. <https://doi.org/10.55043/jaast.v7i3.140>
- Liu, Y., Zhu, Z., Zhang, R., & Zhao, X. (2024). Life cycle assessment and life cycle cost analysis of Jatropha biodiesel production in China. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(22), 28635–28660. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03614-7>
- Novita, S. A., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, 4(1), 53–67. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105>
- Pizzi, A., Duca, D., Rossini, G., Fabrizi, S., & Toscano, G. (2020). Biofuel, Bioenergy and Feed Valorization of By-Products and Residues from Hevea brasiliensis Cultivation to Enhance Sustainability. *Resources*, 9(9), 114. <https://doi.org/10.3390/resources9090114>
- Relita, D. T., Suriyanti, Y., Sore, A. D., & Astikawati, Y. (2023). *Pelatihan Pengolahan Minyak Goreng Dari Biji Karet Untuk Mengefisiensikan Pengeluaran Rumah Tangga*. 6.
- Rhomadoni, F. R., Siti Jamilatun, M. Idris, & Martomo Setyawan. (2024). Mekanisme dan Aplikasi Pirolisis Biomassa Dalam Produksi Biochar, Bio-Oil dan Gas Pirolisis. *Seminar Nasional Inovasi dan Teknologi (SEMNASINTEK)*.
- 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>
- Rizky, N., Prima Vitasari, & Thomas Priyasmanu. (2025). Analisis Life Cycle Assessment (Lca) Pada Proses Pembuatan Cuka Apel Di Umkm Hasil Bumi Kota Batu. *Jurnal Valtech (Jurnal Mahasiswa Teknik Industri)*, 8(1).
- Rusdianasari, R., Utarina, L., Kalsum, L., Wulandari, D., & Bow, Y. (2022). Environmental Potential Impact on Biofuel Production from Thermal Cracking of Palm Shell using Life Cycle Assessment. *Journal of Ecological Engineering*, 23(12), 61–67. <https://doi.org/10.12911/22998993/154847>

- Ruslan, R. (2021). Status Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan dan Opsi Nuklir dalam Bauran Energi Nasional. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 23(1), 39. <https://doi.org/10.17146/jpen.2021.23.1.6161>
- Sambasivam, K. M., Kuppan, P., Laila, L. S., Shashirekha, V., Tamilarasan, K., & Abinandan, S. (2023). Kernel-Based Biodiesel Production from Non-Edible Oil Seeds: Techniques, Optimization, and Environmental Implications. *Energies*, 16(22), 7589. <https://doi.org/10.3390/en16227589>
- Shahab, A., & Husnah, H. (2022). Produksi Biodiesel Dari Minyak Biji Karet Dengan Teknologi Transesterifikasi Menggunakan Katalis Koh. *Jurnal Redoks*, 7(2), 33–38. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i2.9532>
- Sugiarto, T., Junun Sartohadi, Nur Ainun Harlin Jennie Pulungan, Ngadisih, YB Praharto, & Nurul Hidayati. (2024). Inovasi Reaktor Pirolisis Produksi Biochar Berbahan Baku Organic Waste Slurry Dari Sampah Perkotaan Terpilah Dengan Kontrol Tekanan. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(1).
- Wulandari, D., Rusdianasari, R., & Yerizam, M. (2022). Life Cycle Assessment of Production Bio-oil from Thermal Cracking Empty Fruit Bunch (EFB). *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*, 6(3), 34–39. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v6i3.118>
- Yani, M., Toruan, D. P. M. L., Puspaningrum, T., Sarfat, M. S., & Indrawanto, C. (2022). Life cycle assessment of coconut oil product. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1063(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1063/1/012017>
- Yerizam, M., Hasan, A., Lestari, A., & Jannah, A. M. (2023). Biofuel Production from Rubber Seeds by Pyrolysis Method using Natural Zeolite Catalyst. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(2), 1709–1719. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.2595>