

# ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES PRODUKSI PRODUK PAVING DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* STUDI KASUS PT. YASKA LOMBOK

*Indra Sebrian Husmadi, Agus Hindarto Wibowo, Endang Widuri Asih*  
Jurusan Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.Jl.  
Kalisahak 28 Yogyakarta  
E-mail: bryanhusmadi@gmail.com

## ABSTRACT

*PT Yaska is a company engaged in the manufacturing of building materials. One of the products produced by this company is paving blocks. For the production of paving blocks, cement, sand, water and electricity are needed. The dominant residual waste produced is cement and sludge due to stagnant water, besides that the excessive use of water and electricity also has a negative impact on the environment. Until now, PT Yaska has not measured the environmental impact of its production process. This study analyzes environmental impacts using the Life Cycle Assessment (LCA) method with gate to gate limits and indicators according to the database in the OpenLCA application. Based on the results of the environmental impact analysis with LCA, the paving block production process was dominated by the pressing process with a value of 8.61290E5 kg-DB eq and a normalized value of 1.93790E-8. The pressing process has an impact on the largest to the smallest categories such as marine aquatic ecotoxicity, abiotic depletion (fossil fuels), global warming, acidification, photochemical oxidation, eutrophication, human toxicity, terrestrial ecotoxicity, ozone layer depletion and abiotic depletion.*

*Kata kunci: Building Material, Paving Block, Life Cycle Assessment*

## INTISARI

PT Yaska merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur bahan bangunan. Produk yang dihasilkan dari perusahaan ini salah satunya adalah *paving block*, untuk produksi *paving block* dibutuhkan semen, pasir, air hingga energi listrik. Limbah sisa produksi yang dominan dihasilkan adalah semen dan lumpur akibat genangan air, selain itu penggunaan air dan listrik yang berlebihan juga berdampak negatif pada lingkungan. PT Yaska hingga saat ini belum mengukur dampak lingkungan dari proses produksi yang dilakukan. Penelitian ini menganalisa dampak lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan batasan *gate to gate* dan indikator sesuai dengan database pada aplikasi *OpenLCA*. Berdasarkan hasil analisa dampak lingkungan dengan *LCA* proses produksi *paving block* didominasi oleh proses pengepresan dengan nilai sebesar 8,61290E5 kg-DB eq dan nilai normalisasi sebesar 1,93790E-8. Proses pengepresan berdampak pada kategori terbesar hingga terkecil seperti *marine aquatic ecotoxicity, abiotic depletion (fossil fuels), global warming, acidification, photochemical oxidation, eutrophication, human toxicity, terrestrial ecotoxicity, ozon layer depletion* dan *abiotic depletion*.

*Kata kunci: Bahan Bangunan, Paving, Block, Life Cycle Assessment.*

## PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Perkembangan industri konstruksi saat ini ditandai dengan peningkatan kualitas bahan konstruksi dan munculnya bahan konstruksi baru. Bahan yang digunakan pada campuran paving biasanya berupa agregat halus berupa pasir. Dalam pembuatan paving komposisi bahannya sama dengan beton yaitu semen, pasir dan air (Curran, 2016). PT Yaska adalah perusahaan bahan bangunan bersertifikasi ISO-K yang memproduksi *Paving Block* dengan sertifikat Standar Mutu Nasional. PT Yaska berbasis di kota Lombok Barat di provinsi Nusa Tenggara Barat. PT Yaska belum pernah mengukur dampak lingkungan dari proses produksinya, maupun limbah yang dihasilkannya (Pen, 2019). Salah satu metode untuk menentukan dampak lingkungan adalah *Life Cycle Assessment (LCA)*. LCA memungkinkan evaluasi dampak lingkungan kumulatif dari semua fase siklus hidup produk, yang seringkali tidak dipertimbangkan dalam analisis konvensional (Brujin et al., 2002). Hasil dari LCA berupa proses mana yang memiliki dampak terbesar terhadap

lingkungan, memungkinkan perusahaan untuk mencari opsi alternatif untuk memperbaiki proses tersebut (Purwanto 2020). Banyak jenis penilaian dampak yang dapat dilakukan, sehingga diperlukan kajian yang komprehensif, diantaranya dengan metode LCA (Purba, 2018). Penerapan konsep LCA pada produk yang berbeda juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDG) dalam hal produksi dan konsumsi berkelanjutan, yaitu SDG nomor 12. SDG nomor 12 memiliki tujuan terkait peningkatan kesejahteraan melalui kegiatan ekonomi yang mengurangi penggunaan dan pencemaran sumber daya alam sepanjang siklus kehidupan (Harjanto, 2017).

## **BAHAN DAN METODE ((MATERIALS AND METHODS))**

### **Objek Penelitian**

Objek yang diamati pada penelitian ini adalah proses produksi *paving block* untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh PT Yaska.

### **Metode Pengumpulan Data**

#### 1. Data Primer

Observasi guna melakukan pengamatan proses produksi di perusahaan dan wawancara guna mendapatkan data terkait proses produksi perusahaan.

#### 2. Data Sekunder

Studi literatur guna mempelajari teori dan informasi yang berkaitan dengan pemecahan masalah dengan beberapa jurnal penelitian terdahulu sebagai studi literatur

### **Tahapan Penelitian**

#### **Studi Pendahuluan**

##### 1. Lingkungan Hidup

Menurut Undang Undang No. 23 Tahun 1997, lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain (Purba, 2018).

##### 2. Dampak Lingkungan

Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Sedangkan kerusakan lingkungan hidup adalah perubahan langsung dan/atau tidak langsung terhadap sifat fisik, kimia, dan/atau hayati lingkungan hidup yang melampaui kriteria baku kerusakan lingkungan hidup (Peni, 2019).

##### 3. AMDAL

AMDAL merupakan kajian mengenai dampak penting suatu Usaha dan/atau Kegiatan yang direncanakan pada lingkungan hidup yang diperlukan bagi proses pengambilan keputusan tentang penyelenggaraan Usaha dan/atau Kegiatan (Purba, 2018). Hal-hal yang dikaji dalam proses AMDAL adalah aspek fisik-kimia, ekologi, sosioekonomi, sosial-budaya, dan kesehatan masyarakat sebagai pelengkap studi kelayakan suatu rencana usaha dan/atau kegiatan.

##### 4. Pengolahan Limbah

Pengelolaan limbah merupakan penanganan limbah secara keseluruhan agar limbah tersebut tidak mengganggu kesehatan, estetika, dan lingkungan. Penanganan tersebut mencakup cara memindahkan dari sumbernya, mengolah, dan mendaur-ulang kembali (Purba, 2018).

##### 5. *Life Cycle Assessment*

Menurut ISO 14040, LCA adalah teknik untuk menilai dampak lingkungan dari suatu produk. Dari awal LCA hingga perannya dalam bahan bangunan seperti yang didefinisikan oleh ISO. Pada tahun 1960, LCA terbatas pada tahap penggunaan produk. Sejak tahun 1980-an muncul ide penerapan LCA di lingkungan hingga ISO memutuskan bahwa LCA dapat digunakan di semua industri. *Life Cycle Assessment* (LCA) terdiri dari empat langkah, di antaranya adalah:

- a. Menentukan Tujuan dan Ruang Lingkup
- b. Analisis Inventori

- c. Analisis Dampak Lingkungan
- d. Interpretasi Hasil

**HASIL DAN PEMBAHASAN (RESULT AND DISCUSSIONS)**

1. Penentuan Tujuan (*Goals and Scope*)

Penelitian bertujuan mengevaluasi dampak lingkungan dari proses produksi *paving block*. Data untuk *Life Cycle Assessment* berupa jenis material, jumlah material dan kebutuhan energi listrik yang digunakan. Perhitungan dampak lingkungan menggunakan aplikasi *OpenLCA* dengan pendekatan *gate to gate* dengan database yang ada pada aplikasi.

2. Input data *Life Cycle Inventory* (LCI)

a. Kebutuhan Bahan Baku

Kebutuhan bahan baku proses produksi berupa pasir, semen dan air yang menjadi bahan baku pembuatan *paving block*.

**Tabel 1.** Kebutuhan bahan baku proses produksi *paving block*

| No. | Bahan Baku | Jumlah | Satuan   |
|-----|------------|--------|----------|
| 1   | Pasir      | 1.000  | Kubik    |
| 2   | Semen      | 400    | Kilogram |
| 3   | Air        | 11.000 | Kubik    |

b. Kebutuhan Energi

Kebutuhan energi proses produksi berupa listrik, matahari dan angin. Energi diperlukan pada proses pencampuran dengan mesin *mixer*, proses penggunaan air dengan mesin air dan proses pencetakan dengan mesin pencetak *paving block*. Perhitungan kebutuhan energi dapat diformulasikan sebagai berikut.

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

**Tabel 2.** Kebutuhan energi listrik proses produksi *paving block*

| No.   | Mesin              | Daya        | Waktu  | Jumlah    |
|-------|--------------------|-------------|--------|-----------|
| 1     | Mesin <i>Mixer</i> | 5.000 watt  | 7 jam  | 38,5 KWh  |
| 2     | Mesin Cetak        | 16.500 watt | 7 jam  | 115,5 KWh |
| 3     | Mesin Air          | 500 watt    | 35 jam | 17,5 KWh  |
| Total |                    |             |        | 171,5 KWh |

**Tabel 3.** Kebutuhan energi total proses produksi *paving block*

| No. | Energi   | Jumlah | Satuan |
|-----|----------|--------|--------|
| 1   | Listrik  | 171,5  | KWh    |
| 2   | Matahari | 16     | MJ     |
| 3   | Angin    | 3-8    | m/s    |

3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)

a. *Networking*

b. *Impact Analysis*

*Impact Analysis* merupakan penilaian dampak lingkungan dari beberapa indikator terhadap proses produksi. Adapun dampak yang dihasilkan pada proses seluruh proses secara *gate to gate* dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4. Jenis dampak proses mixer paving block**

| <b>Dampak</b>                           | <b>Nilai</b> | <b>Satuan</b> |
|---|--------------|---------------|
| <i>Abiotic Depletion</i>                | 1,52097E-6   | Kg Sb eq      |
| <i>Abiotic Depletion (fossil fuels)</i> | 2,66909E4    | MJ            |
| <i>Eutrophication</i>                   | 0,79872      | Kg PO4-eq     |
| <i>Human Toxicity</i>                   | 206,19702    | Kg 1,4-DB eq  |
| <i>Ozone Layer Depletion</i>            | 0,00015      | Kg CFC-11 eq  |
| <i>Terrestrial Ecotoxicity</i>          | 1,25436      | Kg 1,4_DB eq  |
| <i>Acidification</i>                    | 11,33121     | Kg SO2 eq     |
| <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>       | 2,93759E5    | Kg 1,4-DB eq  |
| <i>Photochemical Oxidation</i>          | 0,62973      | Kg C2H4 eq    |
| <i>Global Warming</i>                   | 2441,83279   | Kg CO2 eq     |
| <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>   | 3,50808      | Kg 1,4-DB eq  |

**Tabel 5. Jenis dampak proses conveyor, lumbung bahan dan kereta bahan paving block**

| <b>Dampak</b>                           | <b>Nilai</b> | <b>Satuan</b> |
|---|--------------|---------------|
| <i>Abiotic Depletion</i>                | 1,52097E-6   | Kg Sb eq      |
| <i>Abiotic Depletion (fossil fuels)</i> | 2,66909E4    | MJ            |
| <i>Eutrophication</i>                   | 0,79872      | Kg PO4-eq     |
| <i>Human Toxicity</i>                   | 206,19702    | Kg 1,4-DB eq  |
| <i>Ozone Layer Depletion</i>            | 0,00015      | Kg CFC-11 eq  |
| <i>Terrestrial Ecotoxicity</i>          | 1,25436      | Kg 1,4_DB eq  |
| <i>Acidification</i>                    | 11,33121     | Kg SO2 eq     |
| <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>       | 2,93759E5    | Kg 1,4-DB eq  |
| <i>Photochemical Oxidation</i>          | 0,62973      | Kg C2H4 eq    |
| <i>Global Warming</i>                   | 2441,83279   | Kg CO2 eq     |
| <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>   | 3,50808      | Kg 1,4-DB eq  |

**Tabel 6. Jenis dampak proses cetakan paving block**

| <b>Dampak</b>                           | <b>Nilai</b> | <b>Satuan</b> |
|---|--------------|---------------|
| <i>Abiotic Depletion</i>                | 5,80514E-6   | Kg Sb eq      |
| <i>Abiotic Depletion (fossil fuels)</i> | 5,31942E4    | MJ            |
| <i>Eutrophication</i>                   | 1,53071      | Kg PO4-eq     |
| <i>Human Toxicity</i>                   | 413,64684    | Kg 1,4-DB eq  |
| <i>Ozone Layer Depletion</i>            | 0,0003       | Kg CFC-11 eq  |
| <i>Terrestrial Ecotoxicity</i>          | 2,22735      | Kg 1,4_DB eq  |
| <i>Acidification</i>                    | 22,27245     | Kg SO2 eq     |
| <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>       | 5,77525E5    | Kg 1,4-DB eq  |
| <i>Photochemical Oxidation</i>          | 1,21999      | Kg C2H4 eq    |
| <i>Global Warming</i>                   | 4621,92124   | Kg CO2 eq     |
| <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>   | 7,04925      | Kg 1,4-DB eq  |

**Tabel 7. Jenis dampak proses pengepresan paving block**

| Dampak                                  | Nilai      | Satuan       |
|---|------------|--------------|
| <i>Abiotic Depletion</i>                | 1,00893E-5 | Kg Sb eq     |
| <i>Abiotic Depletion (fossil fuels)</i> | 7,96976E4  | MJ           |
| <i>Eutrophication</i>                   | 2,26270    | Kg PO4-eq    |
| <i>Human Toxicity</i>                   | 621,09665  | Kg 1,4-DB eq |
| <i>Ozone Layer Depletion</i>            | 0,00044    | Kg CFC-11 eq |
| <i>Terrestrial Ecotoxicity</i>          | 3,20034    | Kg 1,4_DB eq |
| <i>Acidification</i>                    | 33,21370   | Kg SO2 eq    |
| <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>       | 8,61290E5  | Kg 1,4-DB eq |
| <i>Photochemical Oxidation</i>          | 1,81026    | Kg C2H4 eq   |
| <i>Global Warming</i>                   | 6802,00968 | Kg CO2 eq    |
| <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>   | 10,59042   | Kg 1,4-DB eq |

**Tabel 8. Jenis dampak proses pengeringan, penyiraman dan penjemuran paving block**

| Dampak                                  | Nilai      | Satuan       |
|---|------------|--------------|
| <i>Abiotic Depletion</i>                | 1,00893E-5 | Kg Sb eq     |
| <i>Abiotic Depletion (fossil fuels)</i> | 7,96976E4  | MJ           |
| <i>Eutrophication</i>                   | 0,26270    | Kg PO4-eq    |
| <i>Human Toxicity</i>                   | 62,10966   | Kg 1,4-DB eq |
| <i>Ozone Layer Depletion</i>            | 4,38116E-5 | Kg CFC-11 eq |
| <i>Terrestrial Ecotoxicity</i>          | 3,32137    | Kg 1,4_DB eq |
| <i>Acidification</i>                    | 33,21370   | Kg SO2 eq    |
| <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>       | 8,61290E4  | Kg 1,4-DB eq |
| <i>Photochemical Oxidation</i>          | 0,18103    | Kg C2H4 eq   |
| <i>Global Warming</i>                   | 680,20097  | Kg CO2 eq    |
| <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>   | 1,05904    | Kg 1,4-DB eq |

4. Analisis Normalization

Analisis ini digunakan untuk mengetahui besarnya kontribusi dampak relatif untuk setiap hasil indikator proses yang dilakukan sehingga diketahui dampak indikator yang terbesar.

| Dampak                                  | Proses      | Nilai       |
|---|-------------|-------------|
| <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>       | Pengepresan | 4,98071E-7  |
| <i>Abiotic Depletion (fossil fuels)</i> | Pengepresan | 5,89218E-8  |
| <i>Acidification</i>                    | Pengepresan | 5,06994E-8  |
| <i>Global Warming</i>                   | Pengepresan | 3,26576E-8  |
| <i>Human Toxicity</i>                   | Pengepresan | 3,23641E-8  |
| <i>Photochemical Oxidation</i>          | Pengepresan | 2,66161E-8  |
| <i>Eutrophication</i>                   | Pengepresan | 3,08381E-9  |
| <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>   | Pengepresan | 1,32312E-9  |
| <i>Ozone Layer Depletion</i>            | Pengepresan | 1,08812E-9  |
| <i>Terrestrial Ecotoxicity</i>          | Pengepresan | 6,53790E-10 |
| <i>Abiotic Depletion</i>                | Pengepresan | 5,54180E-11 |

5. Analisis Dampak

Dampak *global warming* tertinggi pada proses pengepresan dikarenakan penggunaan energi

pada proses produksi yang berlebihan. Dampak *human toxicity* tertinggi pada proses pengepresan dikarenakan bahan kimia yang digunakan. Dampak *freshwater aquatic ecotoxicity* tertinggi pada proses pengepresan dikarenakan emisi zat racun masuk ke udara, air maupun tanah terhadap air tawar. Dampak *photochemical oxidation* tertinggi pada proses pengepresan dikarenakan bahan bakar gas menghasilkan emisi SOX dan CH<sub>4</sub>. Dampak *acidification* tertinggi pada proses pengepresan dikarenakan konsumsi energi listrik untuk mengoperasikan mesin. Dampak *eutrophication* tertinggi pada mesin pengepresan dikarenakan eutrofikasi bahan kimia saat produksi berlangsung. Dampak *abiotic depletion* tertinggi pada pengepresan dikarenakan bahan kimia yang digunakan saat proses produksi. Dampak *abiotic depletion (fossil fuels)* tertinggi pada proses pengepresan dikarenakan penggunaan energi selama produksi. Dampak *marine aquatic ecotoxicity* tertinggi pada pengepresan dikarenakan penggunaan bahan kimia dan air pada proses produksi. Dampak *ozone layer depletion* tertinggi pada pengepresan dikarenakan energi listrik yang digunakan. Dampak *terrestrial ecotoxicity* tertinggi pada pengepresan dikarenakan penggunaan bahan kimia selama produksi.

#### 6. Interpretasi

Interpretasi adalah langkah akhir penelitian dengan aplikasi LCA. Interpretasi untuk memperbaiki proses pengepresan *paving block* yang berpotensi memberikan dampak negatif bagi lingkungan hidup dan sosial. Selain itu upaya perbaikan berkelanjutan yang dilakukan bertujuan agar perusahaan produksi *paving block* secara ekonomi dan bisnis menguntungkan.

#### 7. Sustainable Development

##### a. Aspek Lingkungan

Proses Produksi paving dapat menerapkan sistem green production melalui konsep 3R(Reuse, Recycle dan Reduce), penerapan sistem tersebut diharapkan dapat meminimalisir atau mengurangi limbah serta mengefisienkan penggunaan energi pada proses produksi. namun, untuk dmengenai kebutuhan penggunaan bahan baku dan energi yang digunakan agar dapat meminimalisir dampak terhadap lingkungan yang terjadi pada proses produksi paving. Pada penggunaan bahan baku utamanya pasir dan semen, penyesuaian dapat dilakukan dengan cara mempertimbangkan jenis bahan baku yang digunakan dengan banyaknya jumlah produk paving yang akan dibuat sehingga kebutuhan bahan baku dapat lebih efektif dan efisien sedangkan pada kebutuhan energi penyesuaian dapat dilakukan dengan cara menggunakan mesin dan alat yang memiliki daya yang lebih rendah dari mesin dan alat yang ada pada PT. Yaska Lombok saat ini sehingga, dampak terhadap lingkungan pada saat proses produksi paving dapat di minimalisir.

##### b. Aspek Sosial

Pada aspek sosial, dengan melakukan Corporate social responsibility (CSR) perusahaan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar dan dapat menjadi salah satu cara membuka lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar serta dapat menciptakan hubungan baik antara PT Yaska dan masyarakat sekitar.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang analisis dampak lingkungan dapatdisimpulkan sebagai berikut:

1. Kategori dampak lingkungan yang dominan pada proses produksi *paving block* terjadi pada proses pengepresan dengan nilai kontribusi sebesar 8,61290E5 kg-DB eq dan nilai normalisasi sebesar 1,93790E-8.
2. Kategori dampak lingkungan terbesar hingga terkecil seperti *marine aquatic ecotoxicity*, *abiotic depletion (fossil fuels)*, *global waming*, *acidification*, *photochemical oxidation*, *eutrophication*, *human toxicity*, *terrestrial ecotoxicity*, *ozon layer depletion* dan *abiotic*

*depletion.*

3. Evaluasi dampak lingkungan proses produksi *paving block* pada kategori *abiotic depletion* sebesar 3.33843E-5 kg Sb eq, *abiotic depletion (fossil fuels)* sebesar 2.06743E5 MJ, *eutrophication* sebesar 5.71075 kg PO<sub>4</sub><sup>--</sup> eq, *human toxicity* sebesar 1618.20514 kg 1,4-DB eq, *acidification* sebesar 85.35248 kg SO<sub>2</sub> eq, *marine aquatic ecotoxicity* sebesar 2.21365E6 kg 1,4-DB eq, *photochemical oxidation* sebesar 4.60486 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq, *global warming* sebesar 1.70091E4 kg CO<sub>2</sub> eq, *terrestrial ecotoxicity* sebesar 7.69338 kg 1,4-DB eq, *fresh water aquatic ecotoxicity* sebesar 27.62265 kg 1,4-DB eq dan *ozone layer depletion* sebesar 0.00111 kg CFC-11 eq.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiansyah, J. S., Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2019). Kajian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) dalam Produksi Pupuk Urea: Studi Kasus PT Pupuk Kujang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 522.
- Arba'i, A., Faridz, R., & Jakfar, A. A. (2019). Life Cycle Assessment ( LCA ) in Herbal Turmeric Acid Products at UD . AL-Mansyurien Kamal Bangkalan. *Agroindustrial Technology*, 03(02), 78–94.
- Astuti, A. D. (2019). Analisis Potensi Dampak Lingkungan Dari Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assessment (Lca). *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 15(1), 51–64.
- Bruijn, et al. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment*. Kluwer Acafemic Publisher: New York.
- Chen, X., LU, X dan Hu, D., (2015). Assessment of Sustainable Development: A case Study of Wuhan as a Pilot City in China, *Ecology ' , Jurnal ecology indicators*, Volume 50, halm.206-214.
- Curran, M.A., (2016), *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, Amerika Serikat: Environmental Protection Agency (EPA).
- Darwin, Andi. (2018). *Managemen Kinerja Lingkungan dengan Pendekatan LCA dan ANP pada Departemen Processing di PT Lotus Indah Textile Industries*. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dornfeld, D.A., (2018). *Green Manufacturing Fundamentals and Applications*, New York: Springer Science+Business Media.
- De Naddya, Y. F., Sukendar, I., & Nurwidiana, N. (2020). Analisa Dampak Lingkungan Material dan Energi Proses Pembuatan Batik Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA). *Prosiding Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering*, 556–564.
- Fistcar, W. A. (2020). Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) Pada Pemilihan Perkerasan Kaku dan Lentur Kontruksi Jalan Tol Balikpapan - Samarinda. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(2), 307–314.
- GaBi, (2011). *Handbook For Life Cycle Assessment (LCA) Using The Gabi Software*, PE International, Leinfelden-Echterdingen Germany.
- GreenDelta. (2016). *openLCA 1.5 Basic Modelling*. GreenDelta: Jerman
- Harjanto, T. R., Fahrurrozi, M. & Bendiyasa, I M., (2017), *Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa*, Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Harnaingtyas, Amanda. (2019). *Evaluasi Dampak Lingkungan Produk Kertas Dengan Menggunakan Life Cycle Assessment Dan Analytic Network Process Pada Pabrik Kertas Leces*. Malang : Universitas Brawijaya.

- Hermawan, dkk., (2018), Peran Life Cycle Analysis (Lca) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca (031k), Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Kartika, U. D., Nugraha, W. D., Hadiwidodo, M., Studi, P., Lingkungan, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2017). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Produksi Karet dengan Metode LCA (Life Cycle Assessment) dan Perhitungan penyerapan Karbon PT. Perkebunan Nusantara IX Ngobo. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1–10.
- Megasari, K., Yunita, R., & Swantomo, D. (2019). Studi Komparasi Penggunaan Kuningit Dengan Iradiator Sebagai Pengawet Tahu Dengan Pendekatan Life Cycle Assessment. *Jurnal Forum Nuklir*, 13(2), 55.
- Menoufi, K. A. I. (2011). An overview on Life Cycle Impact Assessment ( LCIA ) methodologies: A state of the art. Dissertation.
- Peiris, R. L., Kulatunga, A. K., & Jinadasa, K. B. S. N. (2019). Conceptual model of Life Cycle Assessment based generic computer tool towards Eco-Design in manufacturing sector. *Procedia Manufacturing*, 33, 83–90.
- Peni, Idawati. (2019) . Design for AC ( Air Conditioner ) efficiency system in building throught LCC ( Life cyle cost ) and LCA ( life cyle assessment ) . Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Purba, Andi Darwin. (2018). Managemen Kinerja Lingkungan dengan Pendekatan LCA dan ANP pada Departemen Processing di PT Lotus Indah Textile Industries. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Purwanto, A. T. & Lingkungan, P. M. (2020). Perangkat Manajemen Lingkungan. Production, 1-21.
- Thom, M. J., Kraus, J. L & Parker, D. R. 2011. Life-Cycle Assesment as a Sustainabaility Management Tool: Strengths, Weaknesses, and Other Considerations. Wiley Periodicals.
- Sirait, M. (2020). Studi Life Cycle Assessment Produksi Gula Tebu : Studi Kasus di Jawa Timur. *Rekayasa*, 13(2), 197–204.
- Sumitro, D. A., & Kusumawanto, A. (2020). Penilaian Daur Hidup Produksi Gas Bumi Dan Kondensat Di Lapangan South Processing Unit ( SPU ) – Swamp Area. *Jurnal Envirotek*, 12(2), 98–105.
- Yuwono, R., Sekar, D., Londo P., dan Taufik, M. (2021). Kumpulan Praktek Pengelolaan Lingkungan Terbaik Perusahaan Peraih Peringkat Proper Hijau Tahun 2012. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.