

p-ISSN: 2962-4738 e-ISSN: 2962-4584

Vol. 2 No. 8 Agustus 2023

**LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PADA PROSES PENGUJIAN PARAMETER
KIMIA AIR LIMBAH DOMESTIK****Mega Putri Arumdhani, Anggia Rizki Fadhillah**

Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Bakrie

Email: megaputriarumdhani@gmail.com, anggiazkifadhillah@gmail.com

Abstrak

Pengujian parameter kualitas lingkungan diperlukan agar limbah yang akan dibuang tidak mencemari lingkungan. Pada penelitian ini akan dilakukan penilaian daur hidup atau Life Cycle Assasment (LCA) pada pengujian parameter kimia air limbah domestik (NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak) dengan mengumpulkan data inventory input dan output, menganalisis hasil LCA dan menemukan unit proses yang memiliki dampak paling signifikan terkait Global Warming Potensial (GWP), serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Penelitian ini mencakup lingkup cradle to gate dari proses penyimpanan sampel hingga penerbitan sertifikat uji, database yang digunakan yaitu ecoinvent dan dapat diakses menggunakan software SimaPro dengan pengolahan data menggunakan microsoft excel. Analisa LCA menghasilkan hotspot pada unit proses preparasi sampel COD. Dampak lingkungan yang dihasilkan dari penelitian dengan periode September 2021 - Agustus 2021 untuk nilai GWP sebesar 68,29 kg CO₂eq. Rekomendasi yang diberikan adalah agar pemakaian alat untuk reaktor COD dan alat destilasi sesuai dengan jam penggunaan.

Kata Kunci: Air Limbah, Life Cycle Assessment, Laboratorium, Sertifikat Uji.**Abstract**

Environmental quality parameter testing is required so that the waste to be disposed of does not pollute the environment. In this research a life cycle assessment (LCA) will be carried out in testing the chemical parameters of domestic wastewater (NH₃, COD, BOD, TSS and Fatty Oil) by collecting input and output inventory data, analyzing the LCA results and finding the process units that are has the most significant impact on the Global Warming Potential (GWP), and provides recommendations for improving environmental quality. This research covers the scope of cradle to gate from the sample storage process to the issuance of test certificates, the database used is ecoinvent and can be accessed using SimaPro software with data processing using Microsoft Excel. LCA analysis produces hotspots in the COD sample preparation process unit. The environmental impact resulting from research for the period September 2021 - August 2021 for a GWP value of 68.29 kg CO₂eq. The recommendation given is that the use of tools for COD reactors and distillation equipment is in accordance with the hours of use.

Keywords: Wastewater, Life Cycle Assessment, Laboratory, Test Certificate.**PENDAHULUAN**

Laboratorium Lingkungan adalah Laboratorium yang melakukan pengujian parameter Fisika, Kimia dan biologi yang sejalan dengan Undang- Undang yang berlaku dalam kerangka kerja pengelolaan lingkungan (Pakpahan, 2014). Di dalam melaksanakan kegiatan-kegiatan ini Laboratorium lingkungan akan menghasilkan limbah dalam bentuk zat cair, padat dan limbah gas. Limbah-limbah ini berasal dari sisa bahan kimia yang tidak dapat lagi digunakan. Peran laboratorium lingkungan sangat penting yaitu untuk

melakukan pengujian parameter kualitas lingkungan agar limbah yang akan dibuang ke lingkungan tidak mencemari lingkungan. Salah satu peran penting laboratorium lingkungan adalah untuk membantu penyusunan laporan UKL/UPL, AMDAL, RKL/RPL penyusunan dokumen tersebut harus melakukan pengujian seperti udara ambien, air limbah industri/domestik, air minum, air permukaan, dan emisi yang berada pada wilayah perusahaan/industri. Hasil yang dikeluarkan oleh laboratorium lingkungan berupa sertifikat hasil uji yang sudah di akui oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Menurut PERMENLHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Air limbah domestik bisa berasal dari tempat tinggal, institusi, perusahaan, serta industri. Limbah cair baik domestik maupun non domestik mempunyai beberapa karakteristik sesuai dengan sumbernya, karakteristik limbah cair dapat digolongkan pada karakteristik fisik, kimia, dan biologi (Metcalf & Eddy, 2003). Dengan adanya regulasi terkait air limbah domestik maka air limbah yang akan dibuang ke lingkungan harus dilakukan pengujian kadar pencemar air limbah terlebih dahulu agar tidak mencemari lingkungan, salah satu parameter ujinya, yaitu NH₃, COD, BOD, TSS, dan Minyak Lemak. Untuk melakukan pengujian air limbah domestik pada laboratorium uji akan menghasilkan limbah cair, limbah padat, maupun limbah gas.

Pada penelitian ini akan dilakukan penilaian daur hidup atau Life Cycle Assessment (LCA) pada pengujian air limbah domestik kadar pencemar NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak untuk 1 sertifikat uji. Penilaian dilakukan karena pengujian kadar pencemar NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak bersifat rutin yang dilakukan setiap hari pada laboratorium pengujian dan mengingat bahwa setiap kegiatan menghasilkan dampak kepada lingkungan maka perlu dilakukan penelitian berapa besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan pengujian kadar pencemar NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak sampai penerbitan sertifikat hasil uji. Penilaian pada kegiatan analisis laboratorium hingga menerbitkan sertifikat uji belum pernah dikaji, oleh karena itu dilakukan penelitian terkait dampak lingkungan yang dihasilkan pada proses pengujian air limbah domestik untuk parameter NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak dengan metode LCA.

LCA adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk menganalisa dampak suatu produk lingkungan selama siklus hidup produk. LCA secara umum merupakan pendekatan untuk mengukur dampak lingkungan yang diakibatkan oleh produk atau aktivitas mulai dari pengambilan raw material, diikuti proses produksi dan penggunaan, dan berakhir pada pengelolaan sampah atau limbah. Pada penelitian ini akan berfokus pada ruang lingkup cradle to gate, dimana penilaian dan menganalisa dampak dari penyimpanan sampel hingga penerbitan sertifikat hasil uji untuk parameter NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak. Dampak yang akan dibahas pada penelitian ini adalah Global Warming Potensial (GWP). Pendekatan LCA ini dipilih untuk mengetahui angka dan data valid mengenai emisi dan limbah yang dihasilkan selama proses pengujian NH₃, COD, BOD, TSS dan Minyak Lemak sampai penerbitan sertifikat hasil uji dengan kategori dampak yang sudah ditentukan dan mengetahui langkah selanjutnya untuk meningkatkan kualitas lingkungan.

METODE PENELITIAN

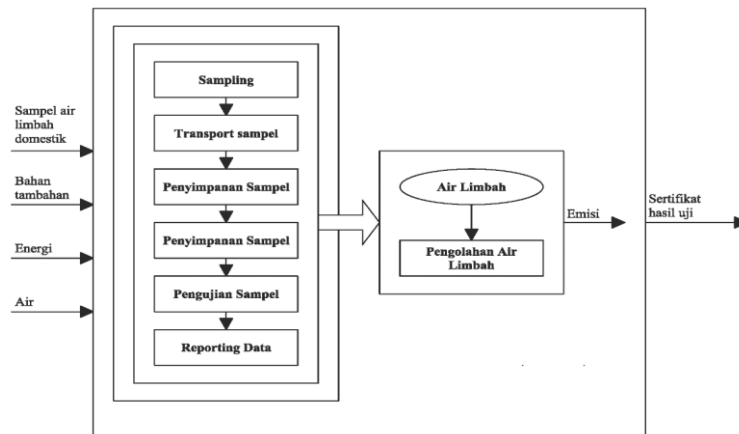
Menurut ISO 14040, pelaksanaan LCA terdiri dari empat tahapan, yaitu penetapan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis hasil dampak dan interpretasi daur hidup (ISO, 2006). Penentuan tujuan dan ruang lingkup merupakan tahapan penting untuk memberi batasan pada kajian. Data yang digunakan merupakan hasil pemantauan yang dimiliki oleh laboratorium pengujian. Analisis inventori dilakukan dengan cara memasukkan data input (raw material, energy, auxiliary materials) serta output (product, waste, emissions) untuk menentukan pemakaian bahan apa saja yang menghasilkan dampak bagi lingkungan. Analisis dampak dilakukan dengan menghitung emisi dari produksi bahan-bahan yang digunakan sebagai input serta emisi yang dihasilkan dari proses pengujian air limbah.

Hasil dari penilaian potensi dampak yang sudah ditentukan akan diketahui hotspot dan dapat dilakukan intepretasi. Intepretasi dilakukan sesuai dengan tujuan dan lingkup yang telah ditetapkan agar mendapatkan kesimpulan dan dapat memberikan rekomendasi agar dilakukannya perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses yang diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Tahap pertama untuk melakukan LCA adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup dari penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pada unit proses mana yang memiliki dampak paling signifikan terhadap *Global Warming Potensial (GWP)*, *Human carcinogenic toxicity* dan *freshwater ecotoxicity*. Penentuan ruang lingkup harus ditentukan pada penelitian, pada penelitian ini ruang lingkup yang di ambil adalah *Cradle to gate* yang artinya subjek penelitian adalah proses sampling hingga penerbitan sertifikat uji. Ruang lingkup dari kajian ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ruang lingkup kajian LCA pengujian air limbah

Life Cycle Inventory

Bahan baku yang digunakan pada proses pengujian berupa sampel air limbah yang dikirim dari pengguna jasa pengujian air limbah domestik. Parameter uji yang dilakukan adalah penetapan kadar ammonia NH_3 , *chemical oxygen demand (COD)*, *biological oxygen demand (BOD)*, *total suspended solid (TSS)*, dan minyak lemak.

Sampel air limbah diterima pada proses penerimaan sampel yang memerlukan pendingin untuk menjaga kondisi sampel sebelum dilakukan pengujian. Sampel yang sudah disimpan dilakukan preparasi yang berbeda-beda untuk masing-masing parameter uji. Semua sampel melalui proses preparasi sampel. Preparasi sampel memberikan banyak peluang untuk mengurangi nilai integritas hasil uji (McDowall, 2017). Pengujian kadar NH_3 dilakukan sesuai dengan standar SNI 06-6989.30-2005 tentang cara uji kadar ammonia dengan spektrofotometer secara fenat. Metode ini menggunakan prinsip ammonia akan bereaksi dengan hipoklorit dan fenol yang dikatalis oleh natrium nitroprusida yang akan membentuk senyawa biru indofenol. Pengujian kadar COD mengacu pada SNI 6989.2:2019 tentang cara uji kebutuhan oksigen kimiawi dengan refluks tertutup secara spektrofotometri dengan prinsip oksidator $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ menghasilkan Cr^{3+} dan sisa Cr^{6+} . Pengujian BOD mengacu pada SNI 6989.72:2009 Tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia. Metode ini menggunakan prinsip sejumlah contoh uji ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ selama 5 hari. Pengujian TSS mengacu pada SNI 6989.3:2019 Tentang Cara uji padatan tersuspensi total secara gravimetri. Residu pada sampel yang tertahan pada media penyaring akan di keringkan pada kisaran suhu $103\text{ }^\circ\text{C} - 105\text{ }^\circ\text{C}$ hingga mencapai bobot tetap. Pengujian minyak dan lemak mengacu pada SNI 06-6989.10-2004 Tentang Cara uji minyak dan lemak secara gravimetri. Minyak dan lemak dalam sampel air di ekstraksi dengan pelarut organik dalam corong pisah untuk menghilangkan air yang masih tersisa digunakan Na_2SO_4 anhidrat. Ekstrak minyak dan lemak dipisahkan dari pelarut organik secara destilasi. Residu yang tertinggal pada labu destilasi ditimbang sebagai minyak dan lemak.

Input yang digunakan pada pengujian air limbah domestik berupa bahan baku, bahan tambahan dan energi. Besaran Input yang digunakan untuk masing-masing unit proses ditampilkan pada Tabel 1 – Tabel 6.

Tabel 1. Input preparasi sampel dan pengujian NH₃

| Input | Satuan | Tahun 2021 |
|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Aquades | L | 60.12 |
| Listrik | kWh | 7908.81 |
| Tisu | kg | 2.89 |
| <i>Sodium nitroprusside</i> | kg | 0.01 |
| <i>Phenol</i> | kg | 0.27 |
| <i>Ethanol</i> | L | 1.78 |
| <i>Tri-sodium citrate</i> | kg | 8.0 |
| <i>Sodium hydroxide</i> | kg | 0.04 |
| <i>Natrium hypochlorite</i> | kg | 1.11 |
| <i>Acetone</i> | L | 2.00 |

Tabel 2. Input preparasi sampel dan pengujian COD

| Input | Satuan | Tahun 2021 |
|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Aquades | L | 29.70 |
| Listrik | kWh | 24058.28 |
| Tisu | kg | 2.89 |
| <i>Potassium dichromate</i> | kg | 0.02 |
| <i>Silver sulfate</i> | kg | 0.07 |
| <i>Mercury (II) sulfate</i> | kg | 0.07 |
| <i>Sulfuric acid</i> | L | 7.33 |
| <i>Acetone</i> | L | 2.00 |

Tabel 3. Input preparasi sampel dan pengujian BOD

| Input | Satuan | Tahun 2021 |
|-------------------------------|---------------|-------------------|
| Aquades | L | 89.87 |
| Listrik | kWh | 2681.39 |
| Tisu | kg | 2.64 |
| <i>Sodium thiosulfate</i> | Kg | 0.02 |
| <i>Potassium dichromate</i> | Kg | 6.13E-04 |
| <i>Potassium iodide</i> | Kg | 2.00E-03 |
| <i>Sulfuric acid</i> | L | 0.03 |
| <i>Glucose monohydrate</i> | Kg | 0.02 |
| <i>Glutamic acid</i> | Kg | 0.02 |
| <i>Magnesium sulfate</i> | Kg | 0.02 |
| <i>Calcium chloride</i> | Kg | 0.03 |
| <i>Iron (III) chloride</i> | Kg | 5.00E-04 |
| <i>Potassium dihydrogen</i> | Kg | 0.04 |
| <i>Ammonium chloride</i> | Kg | 1.70E-03 |
| <i>Manganese (II) sulfate</i> | Kg | 3.84 |
| <i>Sodium hydroxide</i> | Kg | 4.00 |
| <i>Sodium iodide</i> | Kg | 1.08E-03 |
| <i>Acetone</i> | L | 2.00 |

Tabel 4. Input preparasi sampel dan pengujian TSS

| Input | Satuan | Tahun 2021 |
|-----------------------|---------------|-------------------|
| Aquades | L | 151.03 |
| Listrik | kWh | 15578.84 |
| Tisu | kg | 2.89 |
| <i>Hexane</i> | L | 60.04 |
| <i>Sodium sulfate</i> | kg | 10.00 |

| | | |
|--------------------------|----|-------|
| <i>Hydrochloric acid</i> | L | 3.00 |
| <i>Stearic acid</i> | kg | 28.20 |
| <i>Acetone</i> | L | 14.06 |

Tabel 5. Input reporting hasil uji

| Input | Satuan | Tahun 2021 |
|--------------|---------------|-------------------|
| Listrik | kWh | 84.41 |
| Kertas | kg | 94.81 |
| Tinta | kg | 1.18 |
| Amplop | kg | 10.78 |

Tabel 6. Input sampling air limbah

| Input | Satuan | Tahun 2021 |
|---------------|---------------|-------------------|
| Air limbah | L | 2810.0000 |
| Botol sampel | kg | 1703.5560 |
| Masker | kg | 2.7052 |
| Sarung tangan | kg | 8.8498 |

Output yang dihasilkan dari proses pengujian parameter air limbah domestik ditunjukkan pada Tabel 6. Output terdiri dari produk utama, limbah cair dan limbah padat.

Tabel 7. Output pengujian parameter air limbah tahun 2021

| Output | Satuan | Tahun 2021 |
|----------------------|---------------|-------------------|
| Sertifikat hasil uji | lembar | 1405 |
| Air limbah | L | 2545.30 |
| Tisu bekas | kg | 11.83 |
| Kertas saring bekas | kg | 0.17 |
| Botol sampel | kg | 1703.5560 |
| Masker | kg | 2.7052 |
| Sarung tangan | kg | 8.8498 |

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Hasil dari kajian ini adalah *life cycle impact assessment* dari proses pengujian air limbah domestik untuk mendapatkan 1 sertifikat hasil uji. Kajian ini menghitung dampak dari *cradle to gate*, yang menghitung dampak lingkungan mulai dari *raw material acquisition* sampai dengan dihasilkan sertifikat hasil uji. Total dari penilaian dampak GWP yang dihitung adalah sebesar 74.59 kgCO₂eq sertifikat hasil uji¹. Hasil perhitungan per masing-masing proses ditunjukkan oleh Tabel 7.

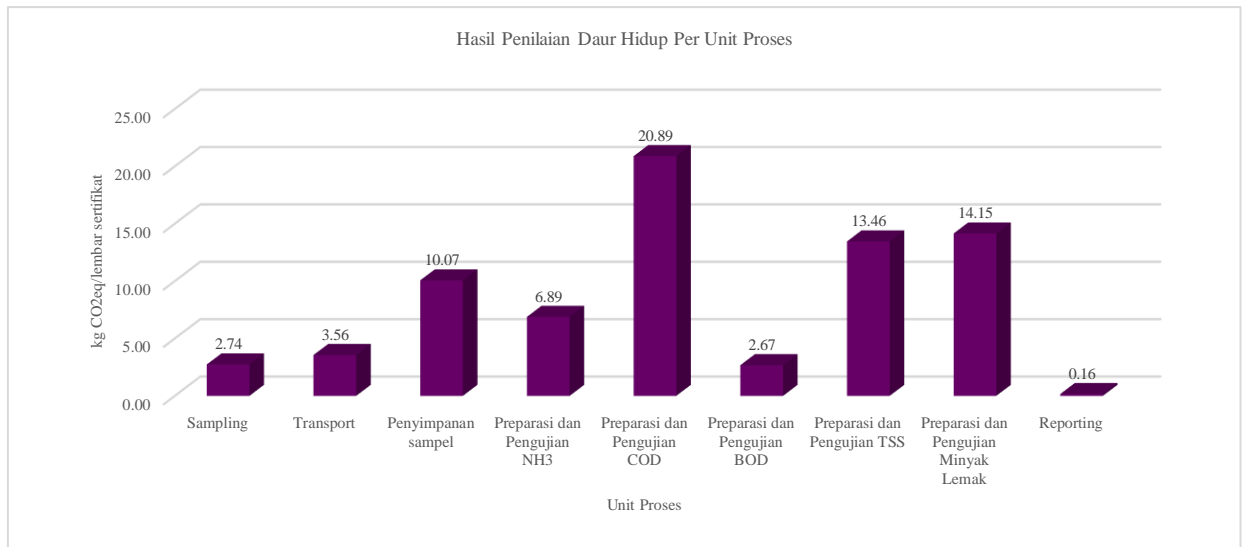
Tabel 8. Hasil perhitungan dampak GWP per masing-masing unit proses

| Unit Proses | Satuan | Dampak GWP |
|---|--------------------------|-------------------|
| Sampling | | 1.13 |
| Transport | | 2.74 |
| Penyimpanan sampel | | 3.56 |
| Preparasi dan Pengujian NH ₃ | | 10.07 |
| Preparasi dan Pengujian COD | kg CO ₂ eq | 6.89 |
| Preparasi dan Pengujian BOD | | 20.89 |
| Preparasi dan Pengujian TSS | | 2.67 |

| | |
|-------------------------|--------------|
| Preparasi dan Pengujian | |
| Minyak Lemak | 13.46 |
| Reporting | 14.15 |
| Total | 75.72 |

Interpretasi Data

Unit proses yang menghasilkan dampak paling tinggi untuk menghasilkan satu lembar sertifikat uji adalah proses preparasi dan pengujian BOD dikarenakan pada proses ini memerlukan waktu preparasi yang lebih lama sehingga menggunakan energi listrik yang lebih besar. Penggunaan energi yang besar berbanding lurus dengan dampak yang dihasilkan. *Hotspot* atau unit proses yang menyumbang dampak paling tinggi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil penilaian daur hidup kategori dampak GWP per Unit Proses

Rekomendasi

Rekomendasi yang dapat diberikan yaitu pembaharuan standar operasional prosedur (SOP) pemakaian alat reaktor COD. Pemakaian alat reaktor COD menyala selama jam kerja yaitu 8 jam. Oleh karena itu dilakukan pembatasan jam penggunaan alat reaktor COD agar dampak lingkungan bisa berkurang. Pembatasan pemakaian alat reaktor COD yang sebelumnya menyala selama jam kerja akan dibatasi penggunaannya menjadi 5 jam saja selama jam kerja. Hal ini dilakukan karna alat reaktor COD tidak digunakan selalu, jadi untuk meminimalisir penggunaan listrik yang besar, reaktor COD hanya akan menyala selama 5 jam saja. Detail SOP ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekomendasi Perbaikan Berdasarkan Hasil LCA

| SOP COD Reaktor lama | Reaktor | Rekomendasi perbaikan SOP COD Reaktor |
|-------------------------------------|---------|---|
| COD | reaktor | COD reaktor |
| dihidupkan dari pukul 08.00 – 17.00 | | dihidupkan setelah selesai dilakukan preparasi yaitu pada pukul 13.00 – 17.00 |

Setelah dilakukan pembaharuan SOP terdapat penurunan nilai dampak lingkungan untuk pemakaian alat reaktor COD. Penurunan nilai dampak lingkungan sebelum dan sesudah penerapan SOP ini ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Penurunan Nilai GWP Sebelum dan Sesudah Penerapan SOP

| Data | GWP KgCO_{2eq} |
|-------------|-----------------------------------|
| Sebelum | 74.59 |
| Setelah | 66.87 |
| Persentase | 10.40% |

Perubahan dampak yang terjadi apabila menyesuaikan jam pengoperasian COD reaktor menghasilkan penurunan potensi dampak GWP sebesar 10.30%.

KESIMPULAN

Kajian LCA yang dilakukan terhadap proses pengujian NH₃, COD, BOD, TSS, dan Minyak Lemak pada air limbah domestik untuk menghasilkan 1 lembar sertifikat hasil pengujian parameter air limbah domestik menyumbangkan dampak sebesar 75.72 kg CO_{2eq} dengan penyumbang terbesar adalah penggunaan energi listrik yang digunakan pada saat pengujian sampel air limbah.

BIBLIOGRAFI

- Annisaa Naba Khoiru. 2022. Analisis Dampak Lingkungan Menggunakan Metode Life Cycle Assesment (LCA) pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Gedek PT. Air Bersih Jatim. Universitas Islam Negri Sunan Ampel. Surabaya.
- Arba Yasfina dan Suyono Thamrin. Journal Review: Perbandingan Pemodelan Perangkat Lunak *Life Cycle Assesment* (LCA) untuk Teknologi Energi. Universitas Pertahanan Republik Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2005). Cara Uji Kadar Amonia Dengan Spektrofotometer Secara Fenat. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2016). Manajemen lingkungan - Penilaian daur hidup - Prinsip dan kerangka kerja. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2017). Manajemen lingkungan - Penilaian daur hidup – Persyaratan dan Panduan. Jakarta.
- Baumann, H dan Tillman, A., M. 2002. The Hitchhiker’s Guide to LCA. University of Technology. Goteborg. Sweden.
- Bunce, J. N. 1994. Environmental Chemistry 2nd edition. Canada: Wuerz Publishing Ltd.
- Bonnin, E. P., Biddiger, E. J., dan Botte, G., G. 2008. Effect of Catalyst on Electrolysis of Ammonia Efflents. Jurnal Power Sources.
- Hanafi, J., DKK. 2021. Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA). Kementerian Lingkungan Hidupa dan Kehutanan.
- Huijbregts, M, A., J DKK. 2016. ReCiPe 2016 v1.1 A Harmonized Life Cycle Impact Assesment Method at Midpoint and Endpoint Level. National Institute for Public Health and the Environment.
- (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. IPCC Guidelines for Naional Greenhouse Gas Investories. Vol.2: Energy. USA (US): Washington DC
- Kautzar, DKK. 2015. Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Kulit Menggunakan Metode LCA dan ANP. Universitas Brawijaya.Malang
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2009. Peraturan Menteri Lingkungan Nomor 06 Tahun 2009 Tentang Laboratorium Limgkungan. Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. In Pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional.

- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2016. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 16 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta.
- Laboratorium Pengujian – Komite Akreditasi Nasional. (n.d). Retrieved Juli 31, 2022, from <http://kan.or.id/index.php/programs/sni-iso-iec-17025/laboratorium-penguji>
- Lazuardi. 2003. Penipisan Lapisan Ozon dan Penanggulangannya. Jurnal Pendidikan Science, Vol. 27 No. 3. Universitas Negri Medan
- Metcalf., dan Eddy. 2003. Waste Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4l Edition, McGraw-Hill, New York.
- Metcalf & Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse.3rd ed. (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill,Inc. New York, Singapore. 1334 p.
- Nikmah Malikhatun, 2020. Penilaian Siklus Hidup dalam Proses Produksi *Crucdle Palm Oil* (CPO) Pada Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit PT X. Universitas Bakrie
- Pakpahan, F. 2014. Kompleks Laboratorium Badan Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta. Universitas Atmajaya Yogyakarta
- Peran Penting Laboratorium Lingkungan Bagi Para Pelaku Usaha – Advance Analytics Asia. (n.d). Retrieved Juli 31, 2022, from <https://lab.id/peran-penting-laboratorium-lingkungan-bagi-pelaku-usaha/>
- Pré, 2020. SimaPro Database Manual Methods Library. SimaPro
- Rahmah Alifia, 2020, *Life Cycle Assesment (LCA) Pada Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit PT. X Indonesia Dengan Impact Categories Global Warming Potential, Acidification dan Eutrophication*. Universitas Bakrie
- Rizkiawan Hosi. 2015. Pengaruh Perubahan Suhu Udara Terhadap Konsumsi Listrik Pada Rumah Tangga dan Bisnis di Kotta Pekanbaru. Universitas Riau.
- Rizkiawalia, E. 2017. Kajian Peluang dan Kelayakan Penerapan Produksi Bersih di Laboratorium Lingkungan DLH Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Universitas Diponegoro.
- Sari, M., S. 2009. Life Cycle Assesment Untuk Proses Hulu Produksi Minyak Bumi Area Gerai dan Gas Bumi Area Betara di Blok Jabung Kabupaten Tanjung Jabung Timur dan Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provisi Jambi Oleh Petrochina Internasional Jabung LTD. Universitas Dipenegoro.
- Saputra I Putu Eka Rizky. 2017. Penerapan Life Cycle Energi Analysis (LCEA) Untuk Mengurangi Dampak Lingkungan Dari Konsumsi energi Di Hotel Alila Manggis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabata
- Umaly, R.C. dan Ma L.A. Cuvin. 1988. Limnology: Laboratory and field guide,Physico-chemical factors, Biological factors. National Book Store,Inc. Publishers. Metro Manila. 322 p.
- Yatim, E. 2007. Dampak dan Pengendalian Hujan Asam di Indonesia. Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas, Vol. 2 No. 1, Padang.



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