

## ANALISIS *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) PADA PROSES PEMBUATAN CUKA APEL DI UMKM HASIL BUMI KOTA BATU

Niyang Rizky S<sup>1)</sup>, Prima Vitasari<sup>2)</sup>, Thomas Priyasmanu<sup>3)</sup>

<sup>1,3)</sup> Program Studi Teknik Industri S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Industri S-2, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Nasional Malang

Email : [niyangrizkys@gmail.com](mailto:niyangrizkys@gmail.com)

**Abstrak,** Kegiatan produksi cuka apel berpotensi menimbulkan emisi dan limbah yang berpotensi dapat mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan pada proses pembuatan cuka apel di UMKM Hasil Bumi berupa limbah padat: ampas apel dan potongan buah yang busuk dengan total berat mencapai 34,8 Kg pada satu kali periode produksi. Limbah tersebut memiliki potensi untuk mencemari lingkungan berupa bau tidak sedap dan tumbuhnya kuman, bakteri serta serangga. Berdasarkan data yang ditemukan di lapangan, penelitian ini bertujuan untuk Analisis *Life Cycle Asssment* (LCA) Pada Proses Pembuatan Cuka Apel di UMKM Hasi Bumi Kota Batu, menggunakan analisis *Life Cycle Assessment* (LCA). Analisis dampak kerusakan lingkungan menggunakan aplikasi *SimaPro* 9.3 dengan metode *Eco-Indicator* 99 pada *database Eco-Invent* 3 yang akan membagi menjadi tiga *Damage Category*. Nilai dampak untuk satu kilogram limbah apel mengandung dampak pada kesehatan manusia yaitu *Carcinogens* sebesar 1,3E-5 DALY, kualitas ekosistem yaitu *Ecotoxicity* sebesar 15, 3 PAF\*m2yr, dan dampak pada sumber daya nilai tertinggi pada kategori *Fossil Fuels* dengan nilai sebesar 0,368 MJ Surplus.

**Kata kunci :** Dampak Lingkungan, Cuka Apel, *Life Cycle Assessment*

### PENDAHULUAN

Dalam satu kali produksi UMKM Sari Apel mampu menghabiskan 50 kg apel. Pada proses produksi tersebut menghasilkan tiga bentuk limbah antara lain: potongan bagian buah apel yang busuk (1,5 kg), ampas apel yang telah diperas (18,3 kg), dan endapan sari buah dan ragi yang tercampur pada mesin fermentasi 15 (kg). Limbah produksi saat ini diberikan kepada peternak babi atau sapi sebagai campuran bahan pakan ternak, juga sebagai pupuk tanaman untuk konsumsi pribadi. Dalam proses menunggu limbah apel diserahkan oleh peternak, limbah apel hanya disimpan pada karung tertutup hingga memakan waktu tiga hingga lima hari, sehingga akan muncul belatung atau hewan serangga lainnya dan, bau tidak sedap yang muncul melalui sela-sela serat karung. Membuang limbah padat mengakibatkan beberapa tantangan teknis yang kompleks yang tidak terbatas pada pencemaran lingkungan tetapi juga membahayakan ekologi air. (Datta, S., Mitra, M., & Roy, 2024). Sesuai dengan Permen No. 3 tahun 2013 bahwa pengelolaan sampah sebagaimana yang dimakud pada pasal 14 (d) meliputi: pemadatan, pengoposan, daur ulang limbah, dan mengonversi sampah sebagai sumber energi (Peraturan Menteri PU Nomor 3/PRT/M/2013, 2013)

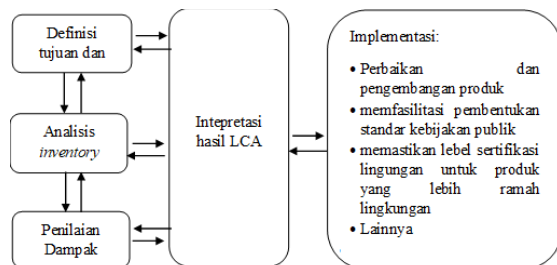
Perusahaan yang meningkatkan kinerja dalam mengelola lingkungan telah terbukti membuat perusahaan menjadi lebih efisien, memiliki nilai kompetitif yang lebih baik, dan menciptakan *imej* perusahaan yang baik. (Soejadmiko, et al., 2021). Sebagaimana UMKM ingin mendukung konsep *Green Industry*, maka perlu untuk memperhatikan bagaimana proses produksi yang dilakukan tidak berdampak buruk/negatif pada lingkungan. Akan tetapi, UMKM belum mengetahui sejauh mana dampak ekologi akan muncul dari proses produksi yang dilakukan, sehingga diperlukan analisis mengenai proses pembuatan cuka apel menggunakan metode analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk menganalisis proses input data material dan output yang dihasilkan sebagai bahan pertimbangan untuk menerapkan pengelolaan limbah sesuai dengan konsep *Green Industry*.

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 (Curran, 2018). *SimaPro* merupakan alat yang profesional dapat membantu proses analisis faktor-faktor yang saling berhubungan dengan lingkungan pada proses produksi suatu produk (Azis, 2020). Fase LCA digunakan sebagai

bahan mengevaluasi dampak lingkungan dengan mengubah hasil LCI (*Life Cycle Inventory*) menjadi indikator dampak titik tengah atau titik akhir yang spesifik (Patel & Singh, 2024). Kategori dampak terdapat dua jenis yaitu *endpoint* dan *midpoint*. *Endpoint* menjelaskan jenis kerusakan akhir pada lingkungan dan kesehatan manusia yang disebabkan oleh beban dan dampak lingkungan. *Midpoint* berisi masalah lingkungan bagaimana beban lingkungan berkontribusi pada dampak lingkungan yang ditimbulkan (Maisarah & Dian, 2024).

## METODE

Penelitian dilakukan pada UMKM Hasil Bumi, di Dusun Putuk Gangsiran, Kecamatan Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur. Menurut ISO 14040 dan GB/T 24040, seluruh proses penilaian siklus hidup dapat dibagi menjadi empat komponen utama, yaitu; 1) *goal and scope*; 2) analisis inventaris siklus hidup (LCI); 3) evaluasi dampak siklus hidup (LCIA); 4) interpretasi hasil siklus hidup (Zhao & You, 2022).



Gambar 1 Kerangka Kerja Evaluasi Siklus Hidup

## b. Life Cycle Inventory

Tabel 1 Data *Life Cycle Inventory* (LCI) Material Cuka Apel

| Input | Jumlah | Satuan | Output                       | Jumlah | Satuan |
|-------|--------|--------|------------------------------|--------|--------|
| Apel  | 50     | Kg     | Ampas apel dari penggilingan | 19,8   | Kg     |
|       |        |        | Sari buah apel               | 30,3   | Liter  |
| Air   | 150    | Liter  | Endapat fermentasi           | 15     | Liter  |
| Gula  | 50     | Kg     | Fermentasi                   |        |        |

Fase LCA ini mencakup penggabungan dan perhitungan aliran input dan output untuk sistem produksi (ISO 2006b). Hal ini mencakup “emisi ke udara, tanah, dan air serta konsumsi air, energi, dan bahan baku” (Patel & Singh, 2024).

## c. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Penentuan *Goals and Scope*

Tujuan dalam asesmen ini adalah untuk mengetahui dampak lingkungan yang timbul dari aktivitas produksi cuka apel, khususnya pada aktivitas produksi cuka apel. Pembatasan dalam asesmen, sebagai berikut:

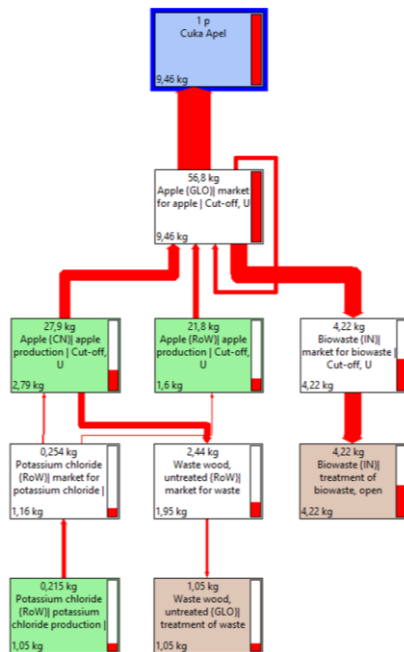
1. Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan standar *Eco-Indicator 99*
2. Peninjauan dampak lingkungan berasal dari kategori dampak lingkungan yang telah dikelompokkan menjadi delapan, yakni: 1) *Carcinogens*, 2) *Reps*, 3) *organic*, 4) *Resp. Inorganic*, 5) *Climate Change*, 6) *Radiation*, 7) *Ozone Layer*, 8) *Ecotoxicity*, 9) *Acidification*, 10) *Eutrophication*, 11) *Land Use*, 12) *Minerals*, dan 13) *Fossil Fuels*.
3. Analisis dampak pada dampak terbesar.
4. *Life Cycle Inventory* yang diperlukan pada asesmen ini yaitu data material pada proses produksi.

Merupakan tahap evaluasi yang meliputi pemilihan metode, analisis kategorisasi dampak, dan proses perhitungan dampak (Luo & Su, 2024). Penilaian dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan aplikasi *SimaPro 9.6.0* menggunakan *database ecoinvent* serta metode *Eco Indicator 99*. Data yang

diperoleh dalam penilaian dampak diantaranya adalah *Characterization*, *Normalization*, *Weight*, *Single Score*, dan *Network*.

### 1. Network Impact Assessment

*Network impact assessment* akan menggambarkan hubungan dari material buah apel dengan limbah (waste) terhadap dampak lingkungan kemudian dihubungkan pada pembuangan limbah untuk menghasilkan siklus produk pada material buah apel. *Network impact assessment* ditunjukkan pada gambar dan tabel berikut.



Gambar 2. Diagram Hasil *Network* Material Apel

### 2. Characterization

Hasil perhitungan dampak lingkungan pada setiap kategorinya menunjukkan nilai kontribusi dalam bentuk persentase, pada hasil analisis menggunakan aplikasi *SimaPro* menunjukkan nilai dengan persentasi tertinggi terdapat pada *Impact Category* *Human Health*, *Carcinogens* dengan nilai 1,3E-5 DALY. Hasil *Characterization* dampak lingkungan pada *Impact Category* ditampilkan pada tabel berikut.

| Characterization                    |                               |            |          |                                           |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------|----------|-------------------------------------------|
| Damage Assessment                   |                               |            |          |                                           |
| Normalization                       |                               |            |          |                                           |
| Weighting                           |                               |            |          |                                           |
| Single score                        |                               |            |          |                                           |
| Skip categories: Never              |                               |            |          |                                           |
| Se                                  | Impact category               | Unit       | Total    | Apple (GLO) market for apple   Cut-off, U |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Carcinogens                   | DALY       | 1,3E-5   | 1,3E-5                                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Resp. organics                | DALY       | 4,96E-8  | 4,96E-8                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Resp. inorganics              | DALY       | 2,26E-5  | 2,26E-5                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Climate change                | DALY       | 3,51E-6  | 3,51E-6                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Radiation                     | DALY       | 7,29E-9  | 7,29E-9                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ozone layer                   | DALY       | 2,52E-10 | 2,52E-10                                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ecosystem                     | PdFm2yr    | 15,3     | 15,3                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acidification/ Eutrophication | PdFm2yr    | 0,813    | 0,813                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Land use                      | PdFm2yr    | 4,16     | 4,16                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Minerals                      | MI surplus | 0,549    | 0,549                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Fossil fuels                  | MI surplus | 0,368    | 0,368                                     |

Gambar 3 Hasil dari *Characterization* Dampak Lingkungan pada *Impact Category*

Sumber: Olah data pada aplikasi *Simapro* 9.3

### 3. Normalization

Tahap *normalization* bertujuan untuk mendapatkan nilai komparatif pada setiap masing-masing jenis dampak dengan kesamaan pada satuan. *Normalization* merupakan hasil perhitungan berdasarkan tiga macam dampak yakni: 1) *Human Health*, 2) *Ecosystem Quality*, dan 3) *Resource* yang ditampilkan pada tabel dan diagram berikut.

| Characterization                    |                   |      |          |                                           |
|-------------------------------------|-------------------|------|----------|-------------------------------------------|
| Damage Assessment                   |                   |      |          |                                           |
| Normalization                       |                   |      |          |                                           |
| Weighting                           |                   |      |          |                                           |
| Single score                        |                   |      |          |                                           |
| Skip categories: Never              |                   |      |          |                                           |
| Se                                  | Damage category   | Unit | Total    | Apple (GLO) market for apple   Cut-off, U |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Human Health      |      | 0,00447  | 0,00447                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ecosystem Quality |      | 0,00114  | 0,00114                                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Resources         |      | 0,000121 | 0,000121                                  |

Gambar 4 Nilai *Normalization* berdasarkan *Damage Category*

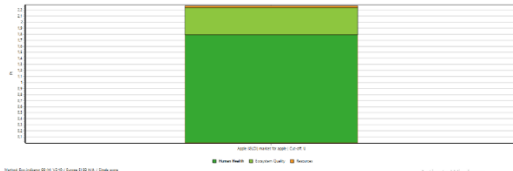
### 4. Single Score

Pada tahap ini akan menunjukkan nilai yang diperoleh dari hasil masing-masing kategori terhadap *damage category*. Menurut data yang telah diolah melalui aplikasi *SimaPro* diperoleh *damage category* dari hasil yang terbesar hingga terkecil yaitu *Human Health*, *Ecosystems*, *Resources* disajikan dalam tabel dan diagram berikut.

| Network                             |                   |      |        |                                           |
|-------------------------------------|-------------------|------|--------|-------------------------------------------|
| Time                                |                   |      |        |                                           |
| Impact assessment                   |                   |      |        |                                           |
| Characterization                    |                   |      |        |                                           |
| Damage Assessment                   |                   |      |        |                                           |
| Normalization                       |                   |      |        |                                           |
| Weighting                           |                   |      |        |                                           |
| Single score                        |                   |      |        |                                           |
| Skip categories: Never              |                   |      |        |                                           |
| Se                                  | Damage category   | Unit | Total  | Apple (GLO) market for apple   Cut-off, U |
|                                     | Total             | Pt   | 2,27   | 2,27                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Human Health      | Pt   | 1,79   | 1,79                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ecosystem Quality | Pt   | 0,455  | 0,455                                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Resources         | Pt   | 0,0243 | 0,0243                                    |

Gambar 5 Nilai *Single* Berdasarkan *Damage Category*

Sumber: Olah data pada aplikasi *Simapro* 9.3



Gambar 6 Diagram Single Score berdasarkan Damage Category

Sumber: Olah data pada aplikasi Simapro 9.3

#### d. Interpretasi Hasil

##### 1. Damage Assessment Kategori Human Health

Penilaian *damage category* pada *human health* menunjukkan kontribusi dari proses produksi cuka apel terhadap kesehatan manusia. Menurut perhitungan dari *software SimaPro* didapatkan hasil tertinggi pada dampak kesehatan manusia yaitu *Carcinogens* sebesar 1,3E-5 DALY.

*Carcinogens* termasuk pada dua kategori dampak yang mengindikasikan potensi emisi bahan kimia sehingga dapat menyebabkan penyakit pada manusia. Diukur dalam Unit Toksisitas Komparatif untuk manusia (CTUh), yang berasal dari model konsensus Internasional USEtox.

##### 2. Damage Assessment Kategori Ecosystem Quality

Dalam kategori ini terdapat tiga jenis *impact assessment*, yaitu: *Ecotoxicity*, *Acidification/Eutrophication*, dan *Land Use*. Melalui perhitungan hasil analisis melalui *software SimaPro* didapatkan nilai dampak tertinggi pada dampak kualitas ekosistem yaitu *Ecotoxicity* sebesar 15,3 PAF\*m2yr.

*Ecotoxicity* merupakan dampak terhadap organisme air tanah dari zat beracun yang dipancarkan ke lingkungan (Ecochain, 2024) terkait dengan perubahan biodiversitas penting dalam komposisi spesies didalam dan di sekitar area yang digunakan, misalnya ketika padang rumput dibajak untuk menyediakan ruang bagi pertanian yang subur (sebuah kasus transformasi lahan), komposisi spesies akan sangat berubah

$$PAF(c) = \frac{1}{1 + e^{(\alpha - \log c)/\beta}}$$

dan berkurang. PAF dihitung dari kombinasi fungsi distribusi yang diperkirakan dan konsentrasi medan yang dihitung

c: konsentrasi zat

$\alpha$ : parameter yang dihitung dari rata-rata NOEC untuk zat tunggal untuk semua spesies

$\beta$ : koefisien yang berasal dari standar deviasi NOEC untuk zat tersebut

#### 3. Damage Assessment Kategori Resource

Kategori *resource* berkaitan dengan kerusakan sumber daya yang mampu mempengaruhi generasi yang akan datang atau sumber daya yang tidak dapat digunakan (Rasyid & Anggriani, 2024). Pada kategori ini memiliki dua jenis *impact assessment* yaitu *Minerals* dan *Fossil Fuels*. Pada proses produksi berdasarkan total masukan material, nilai tertinggi pada kategori *Fossil Fuels* dengan nilai sebesar 0,368 MJ Surplus. Faktor kerusakan menyatakan MJ Surplus energi per kg bahan bakar yang diekstraksi, atau per m2 gas yang diekstraksi, atau mer MJ energi yang diekstraksi. satuan kerusakan adalah MJ surplus energi.

Tabel 2 Nilai Akhir Dampak Lingkungan

| Damage Category                 | Jumlah           |
|---------------------------------|------------------|
| Carcinogens (Human Health)      | 1,3E-5 DALY      |
| Ecotoxicity (Ecosystem Quality) | 15,3 PAF*m2yr    |
| Fossil Fuels (Resource)         | 0,368 MJ Surplus |

#### e. Usulan Pengelolaan Limbah

Pada penelitian ini usulan yang digunakan adalah melakukan penerapan produksi bersih pada proses produksi cuka apel dengan menggunakan konsep *Green Industry*. Diketahui bahwa pada proses produksi cuka apel yang turut menyumbang dampak buruk bagi lingkungan adalah limbah apel, berupa ampas apel, potongan bagian busuk buah apel, dan air endapan. Adapun saran penerapan produksi bersih pada produksi cuka apel di UMKM Hasil Bumi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Saran Penerapan Pengelolaan Limbah Industri Hijau

| No | Konsep <i>Green Industry</i> | Usulan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Pemilihan bahan baku         | Pemilihan bahan baku apel yang berkualitas supaya mengurangi limbah potongan buah apel yang busuk.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2  | Peralatan produksi           | Menggunakan peralatan yang hemat energi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3  | Proses produksi              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pemilhan bahan baku</li> <li>2. Penggunaan peralatan serta pembuangan yang ramah lingkungan</li> <li>3. Ampas apel dapat digunakan sebagai tepung pengganti gandum dengan cara dikeringkan di dalam oven.</li> <li>4. Sebagai media tanaman pengganti pot. Ampas apel yang telah dikeringkan, dipadatkan dan digunakan menjadi media tanam.</li> </ol> |
| 4  | Pembuangan limbah            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memanfaatkan ampas apel menjadi pupuk organik untuk petani</li> <li>2. Mengolah ampas apel menjadi tepung.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                  |

### KESIMPULAN DAN SARAN

Rekomendasi perbaikan berdasarkan penerapan produksi bersih dengan pendekatan konsep *green industry* yang terbagi pada lima kategori usulan yakni; 1) pemilihan bahan

baku, 2) peralatan produksi, 3) proses produksi, 4) pembuangan limbah, dan 5) manajemen perusahaan. Usulan konsep *green industry* tersebut dapat dilakukan secara bertahap dan dilakukan secara berkelanjutan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Azis, R. A. (2020). *Analisis Dampak Lingkungan Produksi Kayu Lapis Dengan Metode Life Cycle Assessment (Studi Kasus PT. Sengon Kondang Nusantara)*. 41.
- Datta, S., Mitra, M., & Roy, S. (2024). Sustainable Solid Waste Disposal to Mitigate Water Pollution Problem and Its Social Environmental Impact. *Cham: Springer Nature Switzerland.*, 47–65. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-58253-0\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-58253-0_3)
- Ecochain. (2024). *Impact Categories (LCA) – the Complete Overview*. Ecochain Technologies. <https://ecochain.com/blog/impact-categories-lca/>
- Luo, Y., & Su, R. (2024). Environmental Impact of Waste Treatment and Synchronous Hydrogen Production: Based on Life Cycle Assessment Method. *Toxics*, 12(9), 652. <https://doi.org/10.3390/toxics12090652>
- Maisarah, M., & Dian, R. (2024). Metode Life Cycle Assessment (LCA) Dalam Penilaian Dampak Lingkungan Industri Kelapa Sawit Untuk Kelapa Sawit Berkelanjutan. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 2(1), 15–23. <https://doi.org/10.56211/tabela.v2i1.452>
- Milà I Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Knuchel, R. F., Gaillard, G., Michelsen, O., Müller-Wenk, R., & Rydgren, B. (2007). Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(1), 5–15. <https://doi.org/10.1065/lca2006.05.250>
- Patel, K., & Singh, S. K. (2024). Sustainable Waste Management: a Comprehensive Life Cycle Assessment of Bioethanol Production from Agricultural and Municipal Waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(39), 51431–51446.

- <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34612-z>
- Peraturan Menteri PU Nomor 3/PRT/M/2013. (2013). Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. *Permen PU Nomor 3/PRT/M/2013*, Nomor 65(879), 2004–2006. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/144707/permen-pupr-no-03prtm2013-tahun-2013>
- Rasyid, M., & Anggriani, R. (2024). Penerapan Life Cycle Assessment (LCA) Pada Proses Produksi Minyak Kayu Putih di Desa Sawa-Namlea. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4, 18970–18984.
- Soedjatmiko, S., Tjahjadi, B., & Soewarno, N. (2021). Do Environmental Performance and Environmental Management Have a Direct Effect on Firm Value? *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(1), 687–696. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no1.687>
- Zhao, X., & You, F. (2022). Life Cycle Assessment of Microplastics Reveals Their Greater Environmental Hazards Than Mismanaged Polymer Waste Losses. *Environmental Science and Technology*, 56(16), 11780–11797. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01549>