

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

<sup>1)</sup>Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Email : 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 tak sedap dan tumbuhnya kuman, bakteri serta serangga. Berdasarkan data yang ditemukan dilapangan, 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*.

### 1. Pendahuluan

Dalam satu kali produksi UMKM Sari Apel mampu menghabiskan 50 kg apel. Pada proses produksi tersebut menghasilkan tiga bentuk limbah antaralain: potongan bagian buah apel yang busuk (1,5 Kg), ampas apel yang telah di peras (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 di amkud 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)

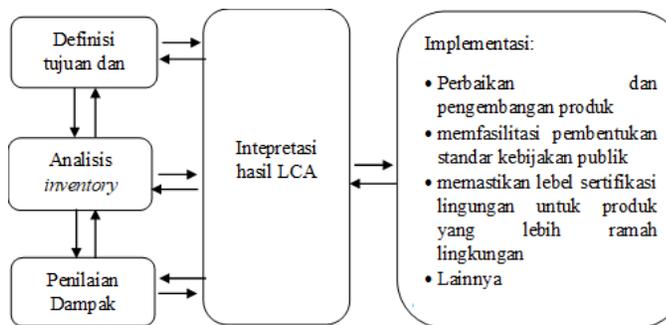
Perusahaan yang meningkatkan kinerja dalam mengelola lingkungan telah terbukti membuat perusahaan menjadi lebih efisien, memiliki nilai kompetitif yang lebih baik, dan menciptakan *imej* perusahaan yang baik. (Soejadmiko et al., 2021). Sebagaimana UMKM ingin mendukung konsep *Green Industry*, maka perlu 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 professional 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 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).

## 2. 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

## 3. Hasil dan Diskusi

### a. Penentuan *Goals and Scope*

Tujuan dalam assessment ini adalah untuk mengetahui dampak lingkungan yang timbul dari aktivitas produksi cuka apel, khususnya pada aktivitas produksi cuka apel. Pembatasan dalam assessment, 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 assessment ini yaitu data material pada proses produksi.
- b. *Life Cycle Inventory*

Table 1 Data Life Cycle Inventory (LCI) Material Cuka Apel

Input	Jumlah	Satuan	Output	Jumlah	Satuan
Apel	50	Kg	Ampas apel sisa pengilingan	19,8	Kg
			Sari Buah Apel	30,3	Liter
Air	190	Liter	Endapan 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)*

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 data base *ecoinvent* serta metode *Eco Indicator 99*. Data yang diperoleh dalam penilaian dampak diantaranya adalah *Characterization*, *Normaization*, *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.

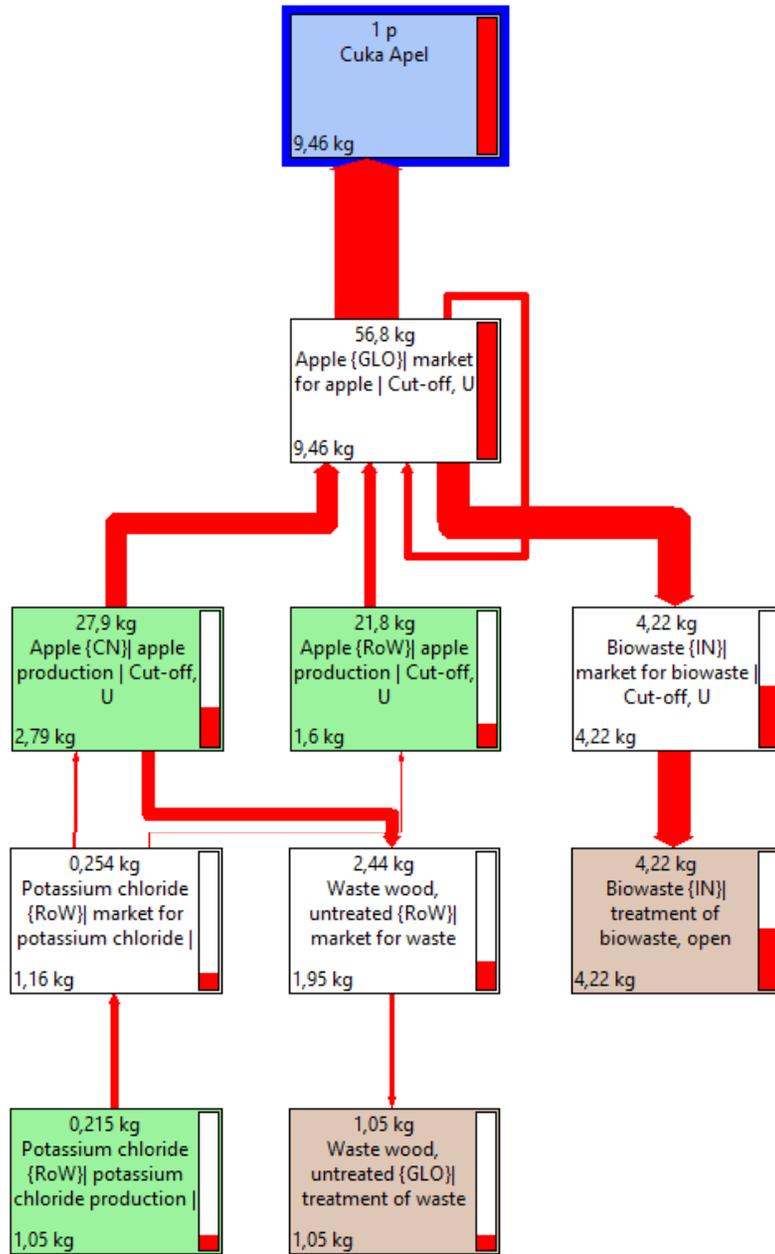


Diagram 1 Hasil Network Material Apel

## 2. Characterization

Hasil perhitungan dampak lingkungan pada setiap kategorinya menunjukkan nilai kontribusi dalam bentuk presentase, pada hasil analisis menggunakan aplikasi *SimaPro* menunjukkan nilai dengan presentasi 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.

Tabel 1 Hasil dari *Characterization* Dampak Lingkungan pada *Impact Category*

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"/>	Ecotoxicity	PAF*m2yr	15,3	15,3
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0,813	0,813
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	PDF*m2yr	4,16	4,16
<input checked="" type="checkbox"/>	Minerals	MJ surplus	0,549	0,549
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil fuels	MJ surplus	0,368	0,368

(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.

Tabel 2 Nilai *Normalization* berdasarkan *Damage Category*

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

## 4. Single Score

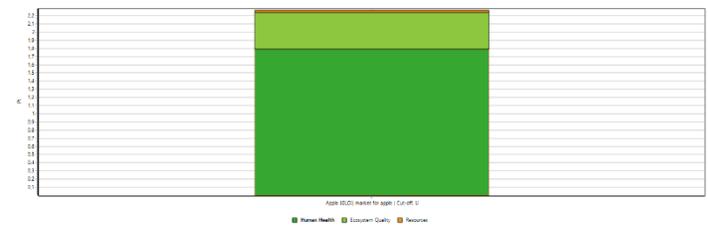
Pada tahap ini akan menunjukkan nilai yang diperoleh dari hasil masing-masing kategori terhadap *damage category*. Menurut data yang telah diolah melalui aplikasi *SimaPro* diperoleh *damage category* dari hasil yang terbesar hingga terkecil yaitu *Human health, Ecosystems, Resources* disajikan dalam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

Tabel 3 Nilai *Single* Berdasarkan *Damage Category*

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

(Sumber: Olah data pada aplikasi Simapro 9.3)

Diagram 2 *Single Score* berdasarkan *Damage Category*



(Sumber: Olah data pada aplikasi Simapro 9.3)

## d. Intepretasi 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 *mpact 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 di dalam 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 dan berkurang. PAF dihitung dari kombinasi fungsi distribusi yang diperkirakan dan konsentrasi medan yang dihitung

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

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 memengaruhi 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 m<sup>2</sup> gas yang diekstraksi, atau per *MJ* energi yang diekstraksi. satuan kerusakan adalah *MJ surplus energi*.

Table 2 Nilai Akhir Dampak Lingkungan

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

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 Green Industry	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	<p>Pemilihan bahan baku</p> <p>Penggunaan peralatan serta pembuangan yang ramah lingkungan</p> <p>Reclaim dan Recovery</p> <p>Ampas apel dapat digunakan sebagai tepung pengganti gandum dengan cara mengeringkan ampas apel mealui oven</p> <p>Sebagai media tanaman pengganti pot. Ampas apel yang telah kering dipadatkan dan digunakan menjadi media tanam.</p>
4.	Pembuangan Limbah	<p>Memanfaatkan ampas apel menjadi pupuk organik untuk petani.</p> <p>Mengolah ampas apel menjadi tepung</p> <p>Mengubur limbah agar tidak menjadi sarang nyamuk atau serangga lainnya.</p>
5.	Manajemen Perusahaan	Kebijakan perusahaan yang mendukung pengelolaan limbah berupa komitmen menerapkan green industri secara berkelanjutan.

#### 4. Kesimpulan

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.

#### 5. 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 Sawan-Namlea. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4, 18970–18984.
- SOEDJATMIKO, S., TJAHIJADI, 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>