

Evaluasi *Eco-Efficiency* dan Dampak Lingkungan dengan *Life Cycle Assessment* di UMKM Tempe Sukoharjo

Mathilda Sri Lestari^{*1)}, Suprpto²⁾, dan Sri Hartanti³⁾

^{1,2)}Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjend Sujono Humardani No. 1 Jombor, Sukoharjo, 57521 Indonesia

³⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281 Indonesia

Email: mathilda3015@gmail.com , supraptodd2@gmail.com , artanti473@gmail.com

ABSTRAK

UMKM Tempe Sukoharjo yang memiliki aktivitas transportasi, produksi, dan *packaging*. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis terhadap praktik *Green Supply Chain* di UMKM Tempe Sukoharjo pada *Life Cycle Assessment* pada *Software* Simapro 9.5.0 digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana dampak lingkungan yang dihasilkan, serta untuk mengetahui secara spesifik jenis material yang memberikan pengaruh paling besar terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan analisis *carbon footprint*, *Life Cycle Assessment*, dan *Eco-Efficiency* untuk memberikan rekomendasi upaya pengurangan jejak karbon, dan mendukung penggunaan penggunaan sumber daya secara efisien, serta pengurangan jumlah limbah. Analisis LCA menunjukkan bahwa proses yang memberikan *environmental impact* paling besar adalah proses *transportation*. Seluruh produk memiliki nilai EEI antara 0-1, menunjukkan produk terjangkau dari segi biaya, tetapi tidak *sustainable*. Pada produk Tempe Pendek memiliki nilai EER 2%, artinya memiliki efisiensi lingkungan yang kurang baik, sedangkan Tempe Panjang dan Tempe Besar Panjang memiliki nilai EER 41%, artinya memiliki efisiensi lingkungan cukup baik.

Kata kunci: *Eco-Efficiency*, *Green Supply Chain*, *Life Cycle Assessment*

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) menjadi sumber perekonomian yang besar di Indonesia. Hal ini terbukti bahwa UMKM memiliki kontribusi terhadap PDB sebesar 61,07% atau senilai Rp 8.573,89 Triliun. UMKM mampu menyerap 117 juta pekerja atau 97% dari total tenaga kerja yang ada, serta dapat menghimpun 60,4% dari total investasi (Kementerian Koperasi dan UKM, 2023). UMKM mampu memberikan pengaruh besar terhadap perekonomian. Sebab aktivitas UMKM dapat mempengaruhi sektor ekonomi lainnya secara signifikan (Supriatna et al., 2023). Hal ini terlihat dari adanya berbagai kolaborasi antara UMKM dengan berbagai *stakeholder* (Zimmermann et al., 2024; Kane et al., 2017), maupun melalui aktivitas rantai pasok yang melibatkan berbagai industri (Carissimi et al., 2023).

Salah satu aktivitas rantai pasok yang dilakukan UMKM adalah aktivitas pemenuhan bahan baku maupun material lain yang dibutuhkan untuk proses operasional. Ini menunjukkan bahwa UMKM merupakan bagian dari jaringan rantai pasok, di mana setiap UMKM menerapkan strategi yang berbeda untuk mengelola rantai pasokan mereka (Winter et al., 2023). Hal ini sejalan dengan aktivitas yang dilakukan di UMKM Tempe Sukoharjo, yaitu salah satu UMKM yang saat ini sedang berkembang dan merekrut tenaga kerja dari masyarakat sekitar. UMKM Tempe Sukoharjo memiliki 3 aktivitas utama, yaitu transportasi, produksi, dan *packaging*.

Proses transportasi terjadi pada aktivitas pembelian bahan baku berupa kedelai, maupun proses distribusi. Pembelian kedelai dilakukan di Pasar Legi, sedangkan pada proses distribusi yaitu menyetorkan Tempe ke kantin sekolah, kantin pabrik di Sukoharjo, dan berjualan tempe keliling di area Sukoharjo. Kendaraan yang digunakan untuk pembelian bahan baku adalah Colt

L300, yang menggunakan bahan bakar solar. Sedangkan untuk proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar bensin.

Penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil tentunya menghasilkan emisi CO₂ yang dapat mempengaruhi lingkungan. Kendaraan mampu menimbulkan berbagai macam gas dan partikel termasuk berbagai senyawa organik dan anorganik dengan berat molekul yang dapat dihirup langsung melalui hidung, termasuk CO₂ (Primasanti & Aryani, 2022). Setiap liter solar dapat menghasilkan 2,67kg CO₂ (IPCC, 2006). Sedangkan setiap liter bensin mampu menghasilkan 2,4kg CO₂ (Setiawan, 2022). Peningkatan polusi atau kadar emisi menjadi permasalahan yang serius, karena pengaruhnya terhadap kesehatan masyarakat secara global (Idrees & Zheng, 2020).

Aktivitas UMKM Tempe Sukoharjo selanjutnya adalah proses produksi. Bahan baku yang digunakan adalah kedelai, sejumlah 200kg per hari. Banyaknya kapasitas produksi berbanding lurus dengan jumlah limbah yang dihasilkan. Limbah pangan merupakan masalah yang harus diperhatikan baik di negara maju maupun negara berkembang, sebab berkaitan dengan kesehatan, ketahanan pangan, dan aspek keberlanjutan utama lainnya (Walia & Sanders, 2019). Bahan pangan jika tidak dikelola dapat memberikan dampak ekonomi dan sosial, serta tekanan yang tidak semestinya pada sumber daya alam dan lingkungan yang terbatas (Chirsanova & Calcatiniuc, 2021).

UMKM Tempe Sukoharjo telah menerapkan pengelolaan limbah. Di antaranya limbah ampas kedelai dan air sisa pencucian kedelai digunakan untuk pakan ternak. Hal ini menunjukkan bahwa UMKM Tempe Sukoharjo memiliki tanggung jawab terhadap keberlangsungan lingkungan. Tetapi seluruh kegiatan operasional di UMKM Tempe Sukoharjo tentunya menggunakan sumber daya yang banyak, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui dampak lingkungan dari keseluruhan proses tersebut. Purwaningsih et al., (2020) telah melakukan penelitian untuk mengukur *eco-cost* dan EER (*Eco Efficiency Ratio*) dari produksi pensil, serta dilakukan analisis *Life Cycle Assessment*. Hasilnya menunjukkan bahwa *EEI (Eco Efficiency Index)* produk pensil adalah 1,69 artinya produk tersebut *affordable* dan *sustainable*. Tetapi analisis *Life Cycle Assessment* yang digunakan hanya fokus pada proses produksi saja, dan belum melakukan analisis operasional secara keseluruhan.

Menurut Amjad et al. (2023), proses bisnis harus memperhatikan perspektif kinerja ekonomi dan lingkungan secara menyeluruh. Hal ini bertujuan memberikan keseimbangan antara dimensi ekonomi, lingkungan, dan sosial keberlanjutan. Daddi et al. (2017) melakukan penelitian mengukur dampak lingkungan dari *Tannery Industry* di Italia, di mana UMKM yang menggunakan tindakan kolektif dengan pendekatan klaster untuk berbagi sumber daya dan teknologi mampu memberikan efisiensi yang lebih tinggi, serta mengurangi *carbon footprint*. Besné et al. (2018) juga melakukan penelitian mengintegrasikan *Fuzzy Logic* dengan *Life Cycle Assessment* untuk analisis efisiensi lingkungan. Integrasi metode ini memberikan peringkat preferensi yang menunjukkan urutan skenario berdasarkan tingkat efisiensi lingkungan. Produk yang dihasilkan yaitu plastik dengan mempertimbangkan 6 lokasi pemasok *polypropylene*, dan focus penelitian pada dampak ekonomi dan lingkungan per unit fungsional. Ini menunjukkan bahwa analisis yang dilakukan hanya fokus pada transportasi, dan belum mempertimbangkan aktivitas lain selama operasional.

Penelitian ini akan dilakukan analisis *carbon footprint*, *Life Cycle Assessment*, dan *Eco-Efficiency*. Sehingga dapat memberikan rekomendasi kepada UMKM Tempe Sukoharjo sebagai upaya pengurangan jejak karbon, dan mendukung penggunaan penggunaan sumber daya secara efisien, serta pengurangan jumlah limbah. Analisis *carbon footprint* mampu membantu memberikan strategi penghematan energi (Firouzian et al., 2024). Sedangkan *Eco-Efficiency*

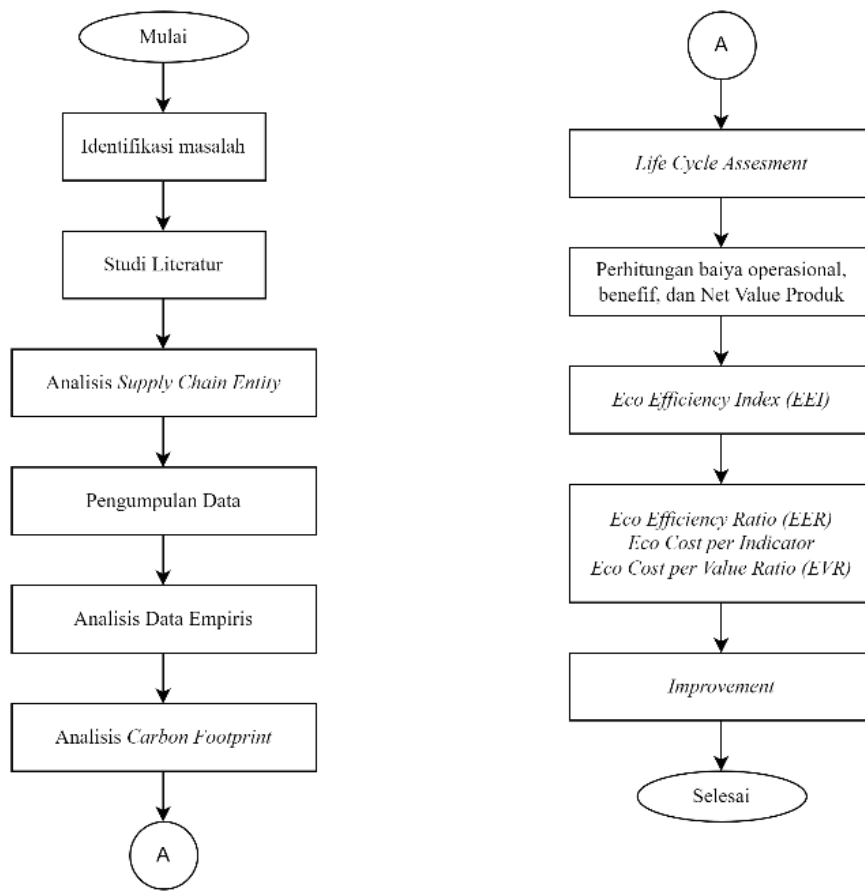
adalah cara untuk mengurangi dampak lingkungan dan menghasilkan sumber daya di sepanjang siklus hidup produk sekaligus mencapai harga yang kompetitif. Strategi ini menghasilkan suatu produk dengan kinerja yang lebih baik, menggunakan sedikit energi dan sumber daya alam yang diambil. *Eco-Efficiency* ini menggabungkan konsep efisiensi ekonomi berdasarkan prinsip efisiensi penggunaan sumber daya alam. *Eco-Efficiency* merupakan kombinasi efisiensi ekonomi dan efisiensi ekologi (Grady, 1999). Melalui perhitungan *Eco Efficiency* ini dapat diketahui besarnya keuntungan yang diperoleh dari aktivitas produksi dan pengelolaan limbah di UMKM Tempe Sukoharjo, serta dapat digunakan untuk mengetahui kuantifikasi indikator tingkat keberlanjutannya.

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis terhadap praktik *Green Supply Chain* yang diterapkan oleh UMKM Tempe Sukoharjo pada aktivitas transportasi, produksi, dan *packaging*. *Life Cycle Assessment* pada *Software* Simapro 9.5.0 digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana dampak lingkungan yang dihasilkan oleh aktivitas UMKM Tempe Sukoharjo, serta untuk mengetahui secara spesifik jenis material yang memberikan pengaruh paling besar terhadap lingkungan. Penilaian *Life Cycle Assessment* dianggap sebagai salah satu alat paling penting untuk mencapai tujuan tersebut (Scheepens et al., 2016). Limbah makanan memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, karena proses pembuatannya menggunakan energi dan karbon. 25% dari seluruh air bersih yang tersedia, setara dengan 600km³, digunakan untuk memproduksi pangan dan berakhir sebagai limbah (Sampepajung et al., 2023).

2. Metode

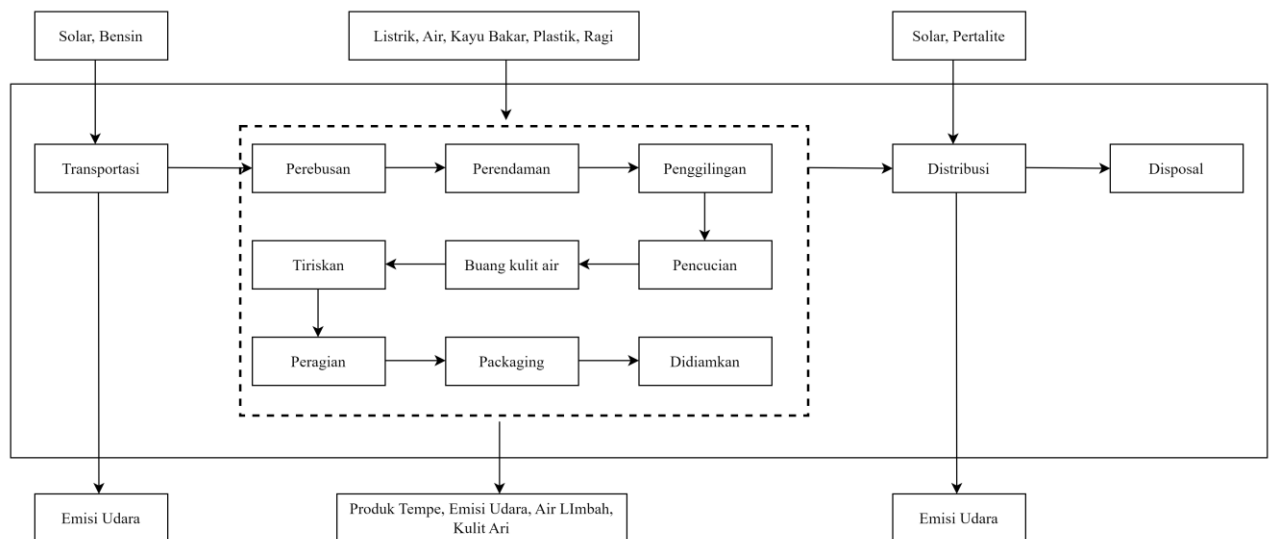
Paper ini fokus pada perhitungan emisi dari keseluruhan operasional di UMKM Tempe Sukoharjo. Selanjutnya dilakukan evaluasi menggunakan *Life Cycle Assessment dan EEI (Eco Efficiency Index)*. Melalui *paper* ini, dapat diketahui besarnya keuntungan dan tingkat keberlanjutan dari seluruh operasional di UMKM Tempe Sukoharjo, yang saat ini telah mulai menerapkan prinsip *green*. Strategi *Eco-Efficiency* ini digunakan untuk mengurangi dampak lingkungan dari setiap proses yang dilakukan di UMKM Tempe Sukoharjo. Dengan strategi ini, produk yang dihasilkan memiliki kinerja yang lebih baik dan membutuhkan lebih sedikit energi serta sumber daya alam (Grady, 1999).

Analisis *Life Cycle Assessment* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menilai dan mengetahui dampak terhadap lingkungan dari penggunaan material. Terdapat berbagai metode untuk penilaian dampak lingkungan dengan tujuan yang berbeda. Kasus ini menggunakan metode *ReCiPe* yang memungkinkan analisis secara komprehensif dari berbagai dampak lingkungan. *Life Cycle Assessment* pada penelitian ini menggunakan *cradle to grave*, artinya analisis ini dilakukan pada keseluruhan siklus dari proses produksi hingga pengolahan limbah, yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan produk dimulai dari pengambilan bahan baku hingga produk tersebut dikonsumsi. *Flowchart* penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Sedangkan *scope* pada *Life Cycle Assesment* ditunjukkan dengan *System Boundary* pada Gambar 2.



Gambar 2. System Boundary

3. Hasil dan Pembahasan

Carbon Footprint

Perhitungan emisi CO₂ dari konsumsi listrik digunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Faktor konversi} \times \text{Jumlah pemakaian listrik (kWh)} \times \text{NCV} \quad (1)$$

Faktor konversi yang digunakan sebesar 0,891 kg/kWh, dengan jumlah pemakaian listrik sebesar 12,25 kWh/hari, sehingga dihasilkan bahwa total emisi yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik tersebut adalah sebesar 0,013kg CO₂/hari. UMKM Tempe Sukoharjo juga menghasilkan limbah organik. Limbah organik tersebut juga menghasilkan emisi CO₂, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{EF} \times \text{komoditas} \quad (2)$$

Jumlah EF yang digunakan sebesar 0,374, sehingga diketahui jumlah emisi yang dihasilkan dari limbah organik yaitu sebesar 11,351kg CO₂/hari. Berdasarkan seluruh perhitungan emisi karbon di atas, maka jumlah keseluruhan karbon emisi UMKM Tempe Sukoharjo disajikan pada Tabel 1.

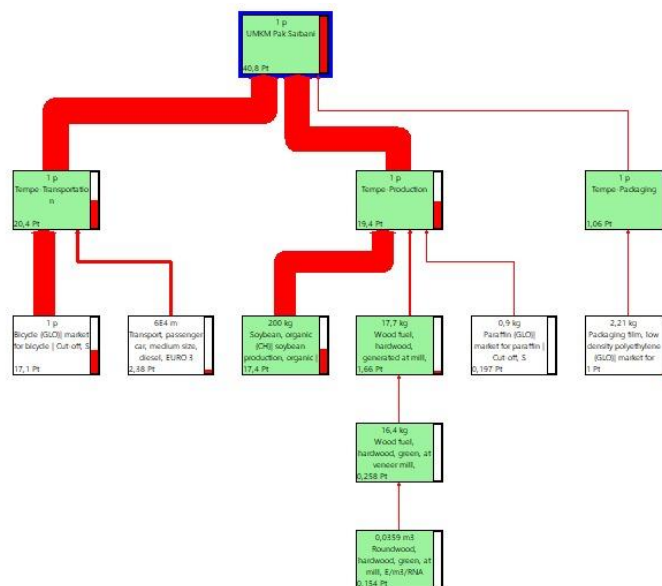
Tabel 1. Total Emisi Carbon di UMKM Tempe Sukoharjo

Jenis Emisi Karbon	Jumlah Emisi Karbon (kg CO ₂ /hari)
Konsumsi Listrik	0,013
Sampah Organik	11,351
Total	11,364

Life Cycle Assessment

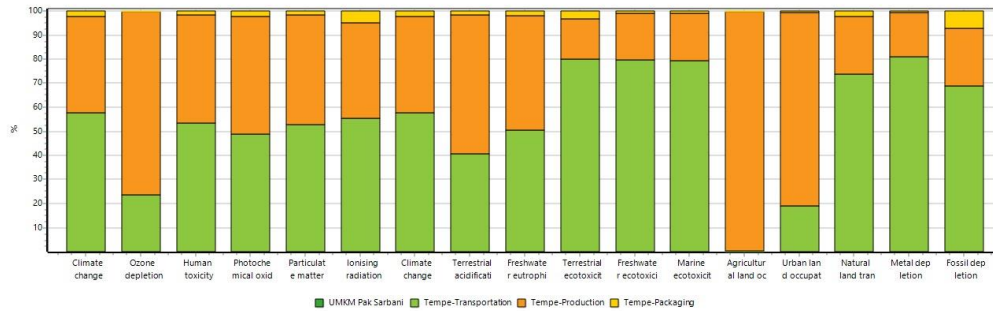
Analisis *Life Cycle Assessment* pada penelitian ini akan dilakukan pada aktivitas transportasi, produksi, dan *packaging*. Berdasarkan hasil LCA menggunakan metode *ReCiPe End point*, pada *network* kegiatan yang terdapat di UMM Tempe Sukoharjo untuk memproduksi 200kg Tempe dalam satu hari dari awal pengadaan bahan baku, produksi hingga *packaging* terlihat bahwa transportasi memberikan dampak yang dominan terhadap lingkungan.

Setelah dilakukan normalisasi data, dari tiga aspek lingkungan yaitu *Human Health, ecosystems* dan *resources* terlihat jelas bahwa memang didominasi oleh proses transportasi. Hal ini diakibatkan karena besarnya jarak tempuh pada proses distribusi. Selanjutnya dilakukan *breakdown* terhadap masing-masing proses untuk mengetahui faktor yang menghasilkan dampak lingkungan dari setiap proses yang ada.



Gambar 3. LCA Network Keseluruhan Proses Operasional UMKM Tempe Sukoharjo

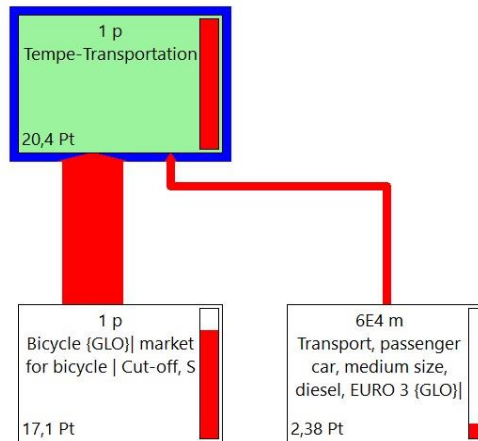
Gambar 3 menunjukkan bahwa proses *transportation* memberikan dampak yang paling signifikan. Pada proses *production* dan *packaging* juga memberikan kontribusi, tetapi dampaknya lebih kecil dari *transportation*. Hal ini mengindikasikan bahwa fokus utama untuk mengurangi dampak lingkungan ini harus diarahkan ke peningkatan efisiensi dan pengurangan emisi pada tahap *transportation*. Selanjutnya *impact assessment* dari keseluruhan proses yang terdapat di UMKM Tempe Sukoharjo disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Impact Assessment* Keseluruhan Proses Operasional UMKM Tempe Sukoharjo

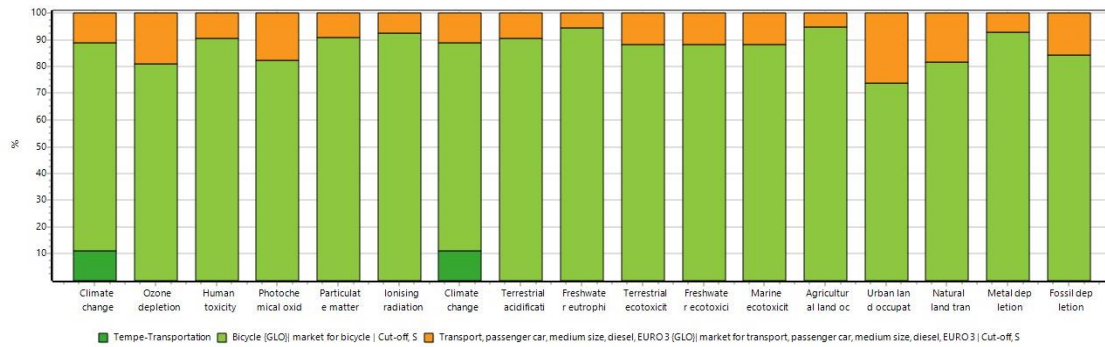
1. Life Cycle Transportation

Life Cycle Assessment pada aktivitas transportasi memainkan peran penting dalam menentukan jejak karbon sebuah produk, mulai dari pengiriman bahan baku hingga pengiriman produk jadi ke konsumen akhir. Evaluasi pada *Life Cycle Transportation* tidak hanya mempertimbangkan emisi CO₂ dari kendaraan, tetapi memperhitungkan penggunaan energi, polusi udara, dan dampak lainnya yang terkait dengan infrastruktur transportasi. *Life Cycle Transportation* pada UMKM Tempe Sukoharjo disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. *LCA Network Transportation Process* UMKM Tempe Sukoharjo

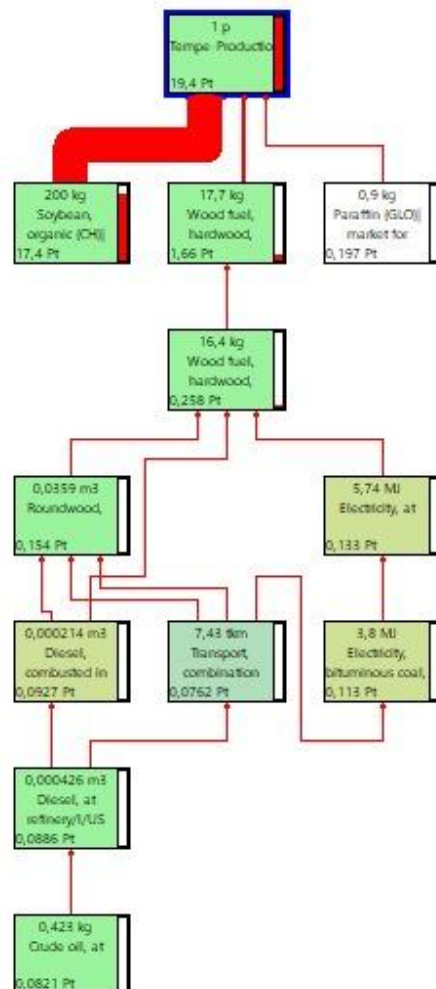
Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar fosil mengindikasikan *environmental impact* yang paling besar pada aktivitas transportasi. Hal ini disebabkan adanya jarak yang ditempuh pada aktivitas distribusi sangat jauh, sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak pula. Bahan bakar merupakan faktor utama yang menentukan dampak lingkungan dari aktivitas transportasi. Penggunaan motor berbahan bakar fosil juga memberikan *Impact Assessment* yang paling besar pada aktivitas transportasi di UMKM Tempe Sukoharjo, disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Impact Assessment Transportation Process UMKM Tempe Sukoharjo

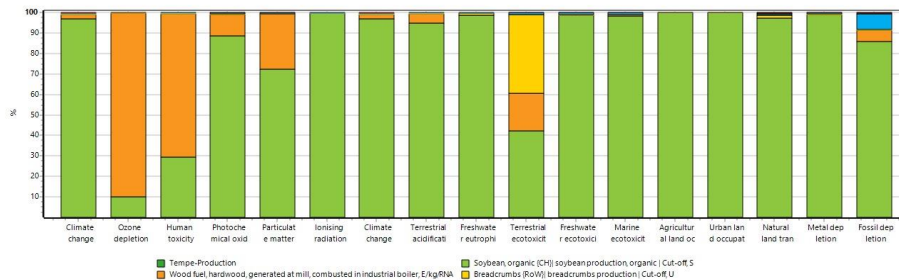
2. Life Cycle Production

Life Cycle Assessment untuk pembuatan Tempe dengan 200kg kedelai dalam 1 hari (1 siklus produksi) disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. LCA Network Production Process UMKM Tempe Sukoharjo

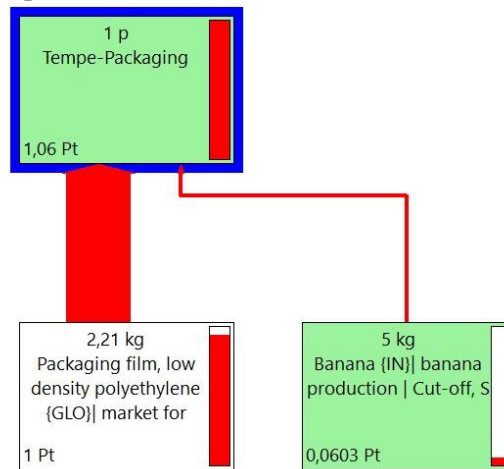
Pada Gambar 7, terlihat bahwa Kedelai memberikan kontribusi besar terhadap *environmental impact* produksi tempe. Hal ini terjadi karena Simapro mendeteksi kedelai dari cara produksinya yang membutuhkan lahan luas, pestisida, hingga penggunaan air yang signifikan. Faktor ini ditambah dengan energi dan emisi transportasi kedelai dari tempat produksinya ke tempat pengolahan, semuanya berkontribusi terhadap jejak lingkungan yang besar dalam produksi tempe. *Impact Assessment* pada proses ini disajikan pada Gambar 8.



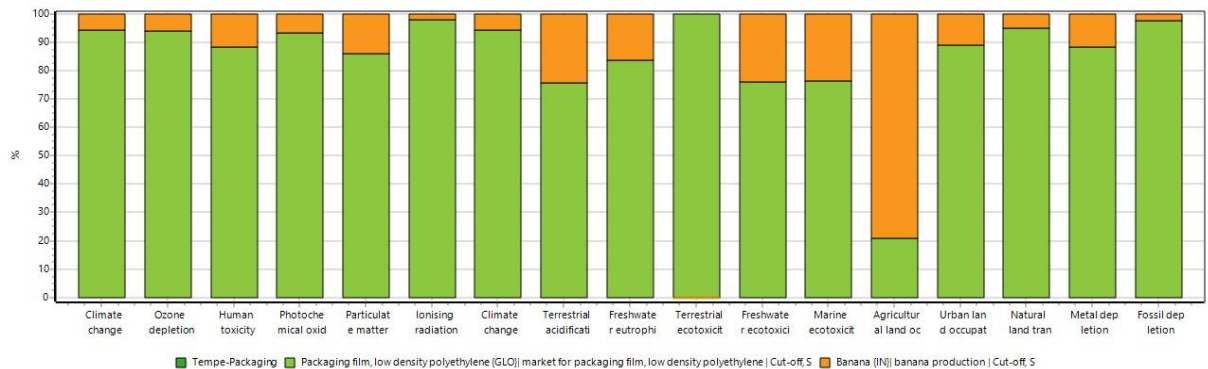
Gambar 8. Impact Assessment Production Process UMKM Tempe Sukoharjo

1. Life Cycle Packaging

Life Cycle Packaging yang digunakan pada UMKM Tempe Sukoharjo adalah plastik dan daun pisang, yang ditunjukkan pada LCA di bawah ini.



Gambar 9. LCA Network Packaging Process UMKM Tempe Sukoharjo



Gambar 10. Impact Assessment Packaging Process UMKM Tempe Sukoharjo

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa penggunaan plastik *Polyethylene*, yaitu plastik yang biasa digunakan untuk kemasan Tempe memberikan kontribusi signifikan terhadap *environmental impact*. Sedangkan kontribusi daun pisang terhadap *environmental impact* kemasan tempe sangat kecil.

Eco-Efficiency

1. Eco-Cost Resource

Eco-costs resources memberikan gambaran mengenai biaya ekologis yang diakibatkan oleh penggunaan sumber daya pada proses produksi. Nilai ini menunjukkan bahwa setiap

kilogram bahan yang digunakan memiliki kontribusi terhadap biaya lingkungan yang harus diperhitungkan dalam upaya mencapai produksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Analisis ini penting untuk mengidentifikasi area-area dalam proses produksi yang memerlukan perhatian khusus guna mengurangi dampak lingkungan secara keseluruhan.

Eco-Cost Resource dihitung menggunakan formula berikut:

$$\text{Eco-costs Resources} = \text{Resources} \times 0,00411 \times 17647,35 \text{ rupiah (euro to idr)} \quad (3)$$

Sehingga total eco-costs resources dari seluruh jenis proses di UMKM Tempe Sukoharjo adalah Rp2.201,30.

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi dari sebuah investasi. NPV dihitung dengan menggunakan formula:

$$\text{NPV} = \text{Harga jual} - \text{Harga pokok produksi} \quad (4)$$

Berdasarkan formula di atas, maka dapat diketahui bahwa keseluruhan NPV untuk semua produk di UMKM Tempe Sukoharjo senilai Rp9.750,00. Total NPV sebesar Rp9.750,00 menunjukkan potensi keuntungan yang dapat diperoleh dari keseluruhan produk tersebut.

$$\text{EEI} = (\text{Price} - \text{Cost}) / (\text{Cost} + \text{Eco Cost}) \quad (5)$$

Di bawah ini adalah data EEI untuk masing-masing produk dan penjelasan mengenai indikator yang digunakan.

Tabel 2. EEI Produk di UMKM Tempe Sukoharjo

Produk	EEI	Indicator	
Tempe pendek	0,762	<i>Affordable</i>	<i>Not Sustainable</i>
Tempe panjang	1,087	<i>Affordable</i>	<i>Not Sustainable</i>
Tempe Besar Panjang	1,087	<i>Affordable</i>	<i>Not Sustainable</i>

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa seluruh produk memiliki nilai EEI antara 0 dan 1. Berdasarkan indikator yang diberikan, produk dengan nilai EEI dalam rentang ini (0-1) tergolong dalam kategori "*Affordable, Not Sustainable*". Hal ini menunjukkan bahwa produk-produk tersebut terjangkau dari segi biaya, tetapi tidak berkelanjutan dalam jangka panjang karena masih memiliki dampak ekologis yang signifikan.

3. Eco-Cost Value Ratio (EVR)

Eco-costs Value Ratio (EVR) adalah indikator yang digunakan untuk mengukur biaya lingkungan relatif terhadap nilai ekonomi suatu produk. EVR dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{EVR} = \text{Eco cost} / \text{Net Present Value} \quad (6)$$

Produk dengan nilai EVR yang lebih rendah menunjukkan bahwa biaya lingkungan relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai ekonomis yang dihasilkan, sehingga produk tersebut lebih efisien secara ekologis. Nilai EVR pada masing-masing produk disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai EVR Produk UMKM Tempe Sukoharjo

Produk	EVR
Tempe pendek	0,978
Tempe panjang	0,587
Tempe Besar Panjang	0,587

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa Tempe Pendek memiliki nilai EVR sebesar 0,978 menunjukkan bahwa produk ini kurang efisien secara ekologis. Sedangkan Tempe panjang dan Tempe Besar Panjang keduanya memiliki nilai EVR yang sama, yaitu 0,587 menunjukkan bahwa biaya lingkungan relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai ekonomis yang dihasilkan, menjadikan kedua produk ini lebih efisien secara ekologis dibandingkan dengan Tempe pendek. Efisiensi yang lebih tinggi pada Tempe panjang dan Tempe Besar Panjang menandakan bahwa kedua produk ini lebih baik dalam mengurangi dampak lingkungan, serta mampu memberikan nilai ekonomis yang signifikan

4. *Eco-Efficiency Ratio (EER)*

Eco-Efficiency Ratio (EER) adalah indikator yang menunjukkan seberapa efisien sebuah produk dalam memanfaatkan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan relatif terhadap nilai ekonomisnya. EER dihitung dengan rumus berikut:

$$EER=(1-EVR) \times 100\% \quad (7)$$

Produk dengan nilai EER yang lebih tinggi menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam hal meminimalkan dampak lingkungan serta tetap memberikan nilai ekonomis yang signifikan. Nilai EER pada masing-masing produk disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai EER Produk UMKM Tempe Sukoharjo

Produk	EER
Tempe pendek	2%
Tempe panjang	41%
Tempe Besar Panjang	41%

Berdasarkan hasil perhitungan, Tempe Pendek memiliki nilai EER sebesar 2% yang menunjukkan bahwa produk ini memiliki efisiensi lingkungan yang kurang baik, sedangkan produk Tempe Panjang dan Tempe Besar Panjang memiliki nilai EER sebesar 41% yang menunjukkan bahwa produk ini memiliki efisiensi lingkungan yang cukup baik daripada Tempe Pendek.

Improvement

1. *Transportation*

Melalui analisis *Life Cycle Assessment* pada proses transportasi dalam pengadaan bahan baku maupun proses distribusi UMKM Tempe Sukoharjo, diketahui bahwa proses ini yang memberikan dampak terbesar bagi lingkungan. Sehingga perlu dilakukan *improvement* untuk mengurangi *environmental impact*. Perbaikan yang dapat dilakukan adalah menerapkan sistem *inventory* setidaknya untuk menampung bahan baku dalam 3 bulan, sehingga emisi yang timbul akan berkurang setengah dari emisi pada kondisi eksisting, di mana pada saat ini UKM Tempe Sukoharjo melakukan pembelian bahan baku sebulan sekali.

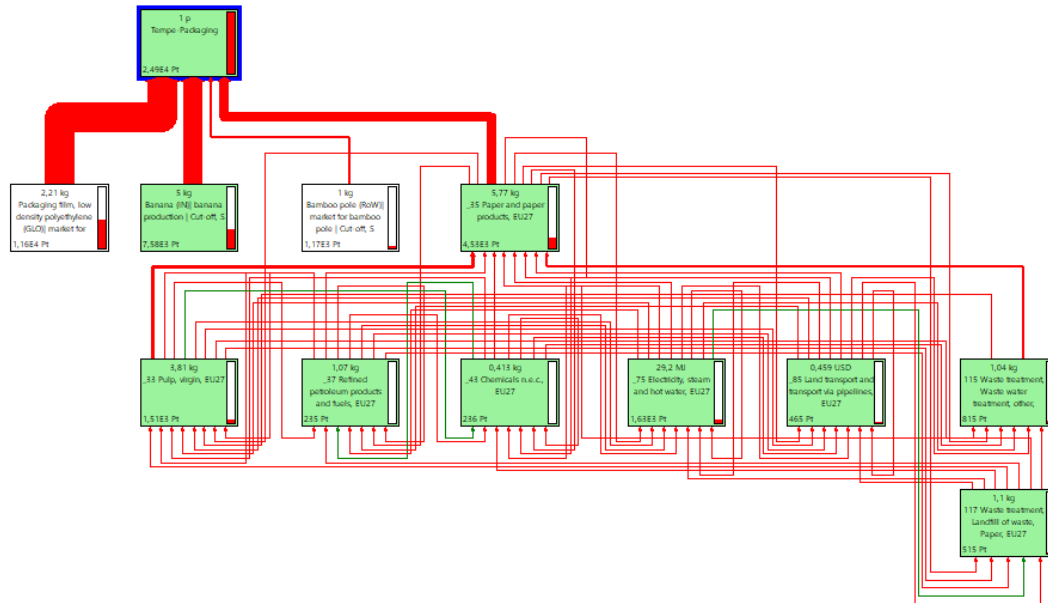
Untuk memastikan penyimpanan kedelai tetap awet dan berkualitas baik untuk produksi tempe, harus dilakukan penyimpanan di tempat yang kering. Selain itu dapat menggunakan wadah kedap udara seperti drum plastik atau wadah logam dengan tutup rapat untuk mencegah masuknya kelembaban dan hama. Selain itu, kedelai juga harus dilakukan pemeriksaan secara berkala untuk memastikan tidak ada tanda-tanda kerusakan atau hama, sehingga kedelai tetap layak digunakan untuk produksi tempe.

2. *Life Cycle Improvement (Packaging)*

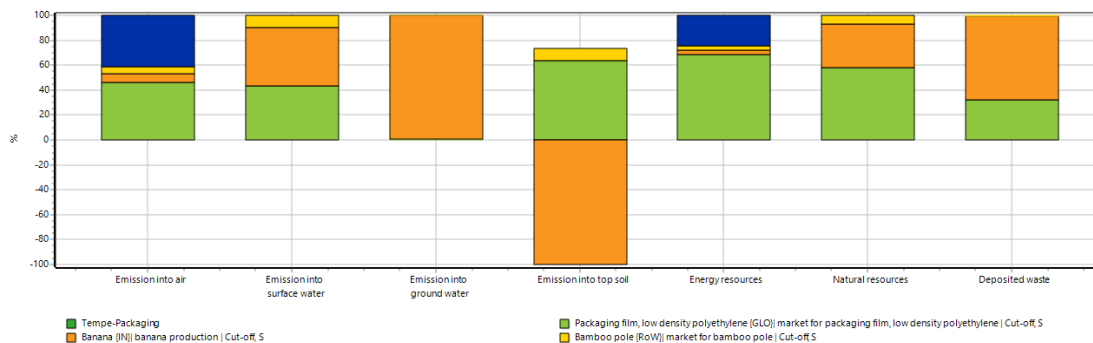
Packaging juga memberikan *environmental impact* yang cukup besar, meskipun tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan proses transportasi. Penulis memberikan *improvement* dengan mengganti kemasan tempe yang semula menggunakan *plastic Polyethylene*, diganti

dengan menggunakan daun jati (bagian dalam), daun pisang (bagian luar), lalu diikat menggunakan tali yang terbuat dari potongan bambu.

Penggunaan daun pisang dan daun jati dinilai lebih berkelanjutan karena keduanya merupakan bahan alami yang mudah terurai dan ramah lingkungan, dibandingkan dengan pembungkus plastik yang sulit terurai. Daun pisang dan daun jati juga dapat diperoleh secara lokal, mengurangi jejak karbon yang terkait dengan transportasi bahan baku. Selain itu, keduanya berasal dari tanaman yang cepat tumbuh dan mudah diperbarui, memastikan ketersediaan yang berkelanjutan. Penggunaan daun pisang dan daun jati yang lebih ramah lingkungan dibuktikan dengan analisis *Life Cycle Assessment* berikut.



Gambar 11. *Improvement* pada Temasan Tempe



Gambar 12. *Impact Assessment* pada *Improvement* Temasan Tempe

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa penggunaan daun jati, daun pisang, dan ikat bamboo lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan plastik *Polyethylene*. Penggunaan material ini mendukung adanya rantai pasok yang berkelanjutan, sebab menggunakan bahan yang mudah diperbarui serta mudah diuraikan pada lingkungan.

4. Simpulan

UMKM Tempe Sukoharjo memiliki 3 aktivitas utama, yaitu transportasi, produksi, dan *packaging*. Proses transportasi terjadi pada aktivitas pembelian bahan baku, maupun proses distribusi pada saat penjualan tempe. UMKM Tempe Sukoharjo melakukan pembelian bahan baku di Pasar Legi Solo menggunakan kendaraan Colt L300 berbahan bakar solar, serta proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar bensin. Aktivitas UMKM Tempe Sukoharjo

selanjutnya adalah proses produksi, yang menggunakan bahan baku sejumlah 200kg kedelai per hari. Analisis menggunakan *Life Cycle Assessment* menunjukkan bahwa proses *transportation* memberikan dampak yang paling signifikan. Evaluasi *Life Cycle Assessment transportation* tidak hanya mempertimbangkan emisi CO₂ dari kendaraan, tetapi memperhitungkan penggunaan energi, polusi udara, dan dampak lainnya yang terkait dengan infrastruktur transportasi.

Hasil *Life Cycle Assessment* menunjukkan bahwa proses distribusi menggunakan motor berbahan bakar fosil mengindikasikan *environmental impact* yang paling besar pada aktivitas transportasi. Hal ini disebabkan adanya jarak yang ditempuh pada aktivitas distribusi sangat jauh, sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak pula. Bahan bakar merupakan faktor utama yang menentukan dampak lingkungan dari aktivitas transportasi. Selanjutnya pada perhitungan *Eco Efficiency Index (EEI)*, Seluruh produk di UMKM Tempe Sukoharjo memiliki nilai EEI antara 0 dan 1. Berdasarkan indikator yang diberikan, produk dengan nilai EEI dalam rentang ini (0-1) tergolong dalam kategori "*Affordable, Not Sustainable*". Ini menunjukkan bahwa produk-produk tersebut terjangkau dari segi biaya, tetapi tidak berkelanjutan dalam jangka panjang karena masih memiliki dampak ekologis yang signifikan.

Penulis memberikan *improvement* pada proses transportasi dan *packaging*. Perbaikan pada proses *transportation* adalah menerapkan sistem *inventory* setidaknya untuk menampung bahan baku dalam 3 bulan, sehingga emisi yang timbul akan berkurang setengah dari emisi pada kondisi eksisting, Selanjutnya pada proses *packaging*, memberikan *improvement* dengan mengganti kemasan tempe yang semula menggunakan *plastic Polyethylene*, diganti dengan menggunakan daun jati (bagian dalam), daun pisang (bagian luar), lalu diikat menggunakan tali yang terbuat dari potongan bambu. Hal ini dinilai lebih berkelanjutan, serta mendukung adanya rantai pasok yang berkelanjutan, sebab menggunakan bahan yang mudah diperbarui serta mudah diuraikan pada lingkungan

Daftar Pustaka

- Amjad, M. S., McCleary, D., Nagaraj, S., & Diaz-Elsayed, N. (2023). Integrating Carbon Credits with Life Cycle Costing for Economic Sustainability in SMEs. *Procedia CIRP*, 116, 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.113>
- Besné, A. G., Luna, D., Cobos, A., Lameiras, D., Ortiz-Moreno, H., & Güereca, L. P. (2018). A methodological framework of eco-efficiency based on fuzzy logic and Life Cycle Assessment applied to a Mexican SME. *Environmental Impact Assessment Review*, 68, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.10.008>
- Carissimi, M. C., Creazza, A., Fontanella Pisa, M., & Urbinati, A. (2023). Circular Economy practices enabling Circular Supply Chains: An empirical analysis of 100 SMEs in Italy. *Resources, Conservation and Recycling*, 198, 107126. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107126>
- Chirsanova, A., & Calcatiniuc, D. (2021). the Impact of Food Waste and Ways To Minimize It. *Journal of Social Sciences*, IV(1)(March). [https://doi.org/10.52326/jss.utm.2021.4\(1\).15](https://doi.org/10.52326/jss.utm.2021.4(1).15)
- Daddi, T., Nucci, B., & Iraldo, F. (2017). Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental bene fi ts of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 147, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.090>
- Firouzian, M., Stenstrom, M. K., & Rosso, D. (2024). Detailed analysis of upgrading a water resource recovery facility to nitrogen removal: Dynamic quantification of power demand, carbon footprint, and operating cost benefits. *Journal of Water Process Engineering*, 63, 105427. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105427>
- Grady, K. (1999). *Eco-Efficiency: The New Business Imperative*. https://books.google.co.id/books?id=D9_YDwAAQBAJ&pg=PA369&lpg=PA369&dq=Pr

- awirohardjo,+Sarwono.+2010.+Buku+Acuan+Nasional+Pelayanan+Kesehatan++Maternal
+dan+Neonatal.+Jakarta+:+PT+Bina+Pustaka+Sarwono+Prawirohardjo.&source=bl&ots=
riWNmMFyEq&sig=ACfU3U0HyN3I
- Idrees, Z., & Zheng, L. (2020). Low Cost Air Pollution Monitoring Systems: A Review
Protocols and Enabling Technologies. *Journal of Industrial Information Integration*, 17.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *IGES, Japan*, 1.
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2017). Achieving Digital
Maturity” MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press. *MIT Sloan
Management Review, Summer*, 5,6.
- Kementerian Koperasi dan UKM. (2023). Perekonomian Nasional Meningkatkan. *Kementerian
Keuangan RI*.
- Primasanti, Y., & Aryani, A. (2022). Analisis Asap dan Eisi Gas Buang Bus bagi Kesehatan
Petugas Ticketing Halte. *Jurnal Informasi Kesehatan Indonesia*.
<https://doi.org/10.31857/s013116462104007x>
- Purwaningsih, R., Simanjuntak, C. F., & Rosyada, Z. F. (2020). Eco-Efficiency Ratio of Pencil
Production Using Life Cycle Assessment for Increasing the Manufacture Sustainability.
Jurnal Teknik Industri, 22. <https://doi.org/10.9744/jti.22.1.47-54>
- Sampepajung, D. C., Sarniati, Rifai, M., & Afifah, N. (2023). Analisis Carbon Footprint Pada
Umkm Makanan Dan Minuman Melalui Integrasi Lean Dan Green Waste Production.
Jurnal Bisnis, Manajemen Dan Informatik (JBMI), 19(3), 223–255.
<https://doi.org/10.26487/jbmi.v19i3.22302>
- Scheepens, A. E., Vogtländer, J. G., & Brezet, J. C. (2016). Two life cycle assessment (LCA)
based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case:
Making water tourism more sustainable. *Journal of Cleaner Production*, 114, 257–268.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.075>
- Setiawan, V. N. (2022). Bukti Pakai Motor Listrik Lebih Irit Ketimbang Motor BBM. *CNBC
Indonesia*.
- Supriatna, D., Candra, E., Adinugroho, I., Nasution, M. A., & Yanti, N. (2023). Pengaruh
Kinerja UMKM Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kabupaten Sukabumi. *Sanskara
Ekonomi Dan Kewirausahaan*, 1, 43–53. <https://doi.org/10.58812/sek.v1i02.88>
- Walia, B., & Sanders, S. (2019). Curbing food waste: A review of recent policy and action in
the USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 34(2), 169–177.
- Winter, M., Dopler, S., Müller, J. M., & Zeisler, A. (2023). Information sharing and multi-tier
supply chain management of SMEs in the context of Industry 4.0. *Procedia Computer
Science*, 217, 1378–1385. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.336>
- Zimmermann, R., Soares, A., & Roca, J. B. (2024). The moderator effect of balance of power
on the relationships between the adoption of digital technologies in supply chain
management processes and innovation performance in SMEs. *Industrial Marketing
Management*, 118(August 2023), 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2024.02.004>