

PENGUKURAN TINGKAT ECO-EFFICIENCY MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT PADA IKM KAIN MOTIF BATIK DENGAN TEKNIK CETAK SARING DI SURAKARTA

Dionisius Yudhit Kresnangara*¹, Ratna Purwaningsih

^{1,2}Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Industri kerajinan batik merupakan salah satu sektor kreatif terbesar di Indonesia. Batik adalah salah satu seni tradisional Indonesia yang telah diakui secara global sebagai warisan budaya tak benda oleh UNESCO. Seiring dengan perkembangannya, terjadi pergeseran tren dari metode manual tradisional menuju industrialisasi modern seperti batik printing. Pertumbuhan industri batik yang pesat juga diikuti dengan meningkatnya ancaman terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis dampak lingkungan serta mengukur nilai eco-efficiency dari proses produksi batik printing. Penelitian dilakukan menggunakan metode life cycle assessment dengan bantuan software Simapro 9.6.0.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai eco-cost mencapai Rp 59.905 per lembar kain dengan dampak terbesar disebabkan oleh penggunaan kain mori. Nilai Eco-Efficiency Index (EEI) produk batik sebesar 0.88, nilai ini tergolong "affordable but not sustainable." Nilai EEI ini dapat ditingkatkan melalui substitusi material kain mori dan pengelolaan limbah cair yang lebih baik.

Kata kunci: Life cycle assessment, eco-efficiency, batik, eco cost

Abstract

The batik craft industry is one of the largest creative sectors in Indonesia. Batik is a traditional Indonesian art that has been globally recognized as an intangible cultural heritage by UNESCO. Along with its development, there has been a shift in trends from traditional manual methods to modern industrialization such as batik printing. The rapid growth of the batik industry is also accompanied by increasing environmental threats. This research aims to calculate and analyze the environmental impact and measure the eco-efficiency value of the batik printing production process. The research was conducted using the life cycle assessment method with the help of Simapro 9.6.0.1 software. The results show that the eco-cost value reaches Rp 59.905 each sheet of fabric, with the largest impact caused by used of mori cloth material itself. The Eco-Efficiency Index (EEI) value of batik products is 0.88, which belong to "affordable but not sustainable" category. This EEI value can be improved through the substitution of mori cloth material and better wastewater management.

Keywords: Life cycle assessment, eco-efficiency, batik, eco cost

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki warisan budaya yang kaya dalam bentuk seni batik yang telah diakui secara luas baik di dalam negeri maupun di kancah internasional. Batik adalah salah satu seni tradisional Indonesia yang telah diakui secara global sebagai warisan budaya tak benda oleh UNESCO sejak Oktober 2009. Batik Indonesia telah menjadi bagian integral dari kehidupan masyarakat Indonesia selama berabad-abad, dengan keterampilan dan warisan budayanya terus berkembang seiring berjalannya waktu. Industri batik merupakan salah satu sektor ekonomi kreatif yang signifikan di Indonesia, memberikan kontribusi penting terhadap pertumbuhan ekonomi lokal,

pelestarian warisan budaya, dan penciptaan lapangan kerja (Nurainun dkk., 2008)

Pertumbuhan industri batik telah mengalami perubahan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir, terutama seiring dengan perkembangan teknologi dan industrialisasi yang terjadi. Batik yang dulunya merupakan seni yang mengutamakan keterampilan tangan dan kreativitas seniman, sekarang lebih mengarah ke sebuah industri yang mengandalkan teknologi dan otomatisasi yang modern. Perubahan ini didasarkan pada biaya produksi yang lebih murah dengan waktu yang lebih singkat, sehingga batik yang beredar di masyarakat sekarang lebih banyak produk batik sablon atau cap dibanding batik tulis yang tradisional. Namun,

^{1*}Dionisius Yudhit Kresnangara
E-mail: diokresna@students.undip.ac.id

pertumbuhan industri batik yang pesat juga diikuti dengan meningkatnya ancaman terhadap lingkungan, terutama dalam hal konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, dan penggunaan bahan kimia berbahaya.

Pada kasus kali ini, penelitian dilakukan terhadap salah satu IKM industri batik yang cukup terkenal di wilayah Surakarta. IKM batik tersebut merupakan salah satu produsen besar di wilayah Surakarta, batik ini merupakan supplier dari pedagang-pedagang di PGS (Pusat Grosir Solo) yang terkenal merupakan tempat biasa masyarakat membeli kain batik. Selain sebagai supplier dari pedagang batik di Solo, produsen batik ini juga sering menjual produknya kepada konsumen langsung di berbagai daerah seperti salah satunya di daerah Jakarta. IKM batik tersebut berfokus pada produksi kain batik menggunakan metode sablon, namun produsen ini juga memiliki produk batik yang menggunakan metode tradisional yaitu batik tulis menyesuaikan kebutuhan konsumen.

Perusahaan Batik X membutuhkan adanya pengukuran dampak lingkungan dari proses produksi yang dihasilkan untuk memenuhi kriteria pengadaan barang yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia saat ini. Kebijakan pengadaan barang dan jasa ramah lingkungan telah diamanatkan dalam Undang Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2017 mengenai Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup, dan Peraturan Presiden No.16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Kebijakan ini digunakan sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja lingkungan, efisiensi dalam penggunaan bahan baku, energi dan air, serta mengurangi pencemaran dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian mengenai pengukuran dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi kain batik tersebut. Selain penelitian mengenai pengukuran dampak lingkungan, penelitian ini juga sekaligus mencakup pengukuran *eco-cost* dan *eco-efficiency index*. Perhitungan ini berfungsi untuk mengetahui nilai *affordable* dan *sustainable* dari produksi batik. Input EEI berupa besar *eco-cost* yang dihasilkan dan besar net value produk dengan input nilai rasio kelayakan keuntungan (*benefit cost*), sehingga setelah mengetahui biaya kompensasi dampak lingkungan yang harus dikeluarkan perusahaan, selanjutnya produk tersebut dapat dinilai apakah layak untuk dilanjutkan atau tidak dan memberikan rekomendasi

perbaikan yang berhubungan dengan proses produksi untuk menekan dampak lingkungan dan meningkatkan nilai *eco-efficiency index*. Hal ini juga merupakan upaya dari perusahaan Batik X untuk persiapan melakukan kegiatan ekspor barang keluar negeri dengan memenuhi regulasi *sustainable product* yang telah ditetapkan oleh Uni Eropa (European Commission, 2022).

Metode analisis Life Cycle Assessment (LCA) adalah salah satu metode terbaik untuk mengukur dampak lingkungan dari suatu industri. Dengan menggunakan LCA, kita dapat mengidentifikasi siklus hidup produk batik, mulai dari tahap produksi bahan baku hingga tahap pembuangan akhir, dan mengukur dampaknya terhadap lingkungan (Vasishta dkk., 2023). Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang komprehensif mengenai dampak lingkungan dari produksi batik *printing* menggunakan metode LCA kemudian diukur *eco-cost* atau biaya kompensasi lingkungan dan dilakukan pengukuran nilai *eco-efficiency index* dari produk batik tersebut, sehingga langkah-langkah yang tepat dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi ekologi sekaligus menjaga keberlanjutan industri batik di Indonesia.

Batik *printing* adalah proses pembuatan kain batik yang menggunakan bantuan alat *printing* atau cetak sablon, proses ini tidak menggunakan lilin atau malam untuk membentuk desain motifnya seperti batik tulis. Dalam proses pembuatannya kain batik di cetak langsung menggunakan pewarna kimia berupa cat pigment. Pada proses *printing*nya hanya satu permukaan kain saja yang dikenakan cat, sehingga permukaan di depan dan di belakang tidak sama kecerahan dan ketebalan catnya. Dari segi motif, batik *printing* memungkinkan *repeat* yang lebih lebar, lebih lebar dari *repeat* pada batik cap. Batik *printing* bisa menggunakan beberapa warna dalam pembuatannya. (Amrulloh & Ratyaningrum, 2018)

2. Metode Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan data dan mengumpulkan data terkait yang diperlukan untuk penelitian. Data primer didapatkan dari pabrik Batik X yang menjadi subjek penelitian. Data sekunder didapatkan dari literatur, basis data LCA yang sudah ada, dan jurnal terkait sebelumnya. Jenis input/kebutuhan data dari IKM Batik X dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Input IKM Batik X

Metode	Input Data	Output	Teknik Pengumpulan Data
LCA	Jenis dan besar bahan baku: kain mori (m ²), pigmen pewarna kain (gr), air (liter), kayu bakar (kg)	Besar dampak yang dihasilkan dari proses LCA (kg)	Wawancara & observasi dengan pemilik IKM Batik X
	Energi listrik yang digunakan (Kwh)		
	Jenis dan besar limbah cair (liter)		

Tabel 1. Input IKM Batik X

Metode	Input Data	Output	Teknik Pengumpulan Data
Eco-cost	Besar dampak yang dihasilkan dari proses LCA (kg)	Besar biaya hasil representasi nilai dampak (rupiah)	Studi dan hasil pengolahan data menggunakan <i>software</i> SimaPro
Net Value Product	Biaya material yang digunakan dalam rupiah	NVP (rupiah)	Wawancara dan observasi dengan pemilik IKM Batik X
	Biaya energi (listrik) yang digunakan dalam rupiah		
	Upah pekerja dalam rupiah		
	Harga jual produk dalam rupiah		
EVR	Biaya dari hasil representasi nilai (output eco-cost) dalam rupiah	Nilai rasio EVR batik sablon dalam presentase harga	Studi dan hasil pengolahan data menggunakan <i>software</i> SimaPro
	Besar net value produk dalam rupiah		

2.2 Pengolahan Data

Terdapat beberapa langkah yang harus dipenuhi untuk mendapatkan nilai *eco-efficiency* langkah tersebut antara lain, menentukan nilai *eco-cost* menggunakan metode LCA, menghitung nilai *net value*, menentukan nilai *eco-efficiency index*, menghitung nilai *eco-efficiency ratio*, menghitung *eco-efficiency value ratio*, dan menghitung nilai *eco-efficiency ratio*. Pengolahan data LCA dilakukan dengan bantuan *software* Simapro versi 9.6.0.1 dengan metode Ecocost 2024. *Software* Simapro ini merupakan perangkat lunak pada desktop yang biasa digunakan untuk menilai dampak kerusakan lingkungan dari suatu proses maupun material dengan pendekatan LCA (Kelvin, 2021).

2.2.1 Life Cycle Assessment (LCA)

LCA adalah salah satu teknik pengelolaan dampak lingkungan seperti penilaian risiko, evaluasi kinerja lingkungan, audit lingkungan, dan penilaian dampak lingkungan. LCA biasanya tidak digunakan untuk membahas aspek ekonomi atau sosial suatu produk, melainkan pendekatan daur hidup dan metodologi yang diuraikan dalam standar pembuatan suatu produk (ISO 14040, 2006). Studi LCA harus mencakup definisi tujuan dan ruang lingkup, analisis inventaris, penilaian dampak, dan interpretasi hasil. Berikut merupakan Gambar 1. yang menunjukkan kerangka metodologi LCA (ISO 14040, 2006).

Gambar 1. Kerangka LCA



- *Goal and scope* bagian ini membahas mengenai definisi tujuan dan ruang lingkup (Goal and Scope Definition) dalam LCA (Life Cycle Assessment) merujuk pada tahap awal dalam proses penilaian, di mana tujuan dan batasan penilaian ditetapkan secara jelas (Schrijvers dkk., 2020)
- LCI adalah kompilasi dan kuantifikasi seluruh sumber daya alam yang dikonsumsi dan seluruh zat yang dibuang ke lingkungan oleh sistem siklus hidup yaitu emisi dan sumber daya. Analisis inventori adalah sebuah gambaran yang menunjukkan *input* dan *output* suatu produk yang dihasilkan dari proses produksi (Angoy dkk., 2019)
- Penilaian dampak lingkungan (LCIA) merupakan langkah evaluasi potensi dampak lingkungan dengan mengkonversi hasil LCI menjadi indikator dampak tertentu. LCIA terdiri dari 4 tahap yaitu *characterization*, *normalization*, *weighting*, *single score* (Mu dkk., 2019)
- Interpretasi hasil ini dilakukan untuk mengidentifikasi, mengukur, memeriksa, dan mengevaluasi kembali hasil dari perhitungan yang telah dilakukan agar masing-masing tahap dapat terintegrasi (Finkbeiner dkk., 2006)

Proses analisis LCA ini dilakukan dengan *software* Simapro dengan metode *eco-cost* sehingga output dari perhitungan ini adalah besar dampak lingkungan dalam bentuk mata uang Rupiah. Biaya ramah lingkungan (*eco-cost*) adalah ukuran untuk menyatakan jumlah beban lingkungan dari suatu produk berdasarkan pencegahan beban tersebut atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mengurangi polusi lingkungan dan penipisan bahan-bahan di dunia kita ke tingkat yang sejalan dengan kapasitas penampungan bumi kita (tingkat tanpa efek) (Scheepens dkk., 2016).

2.2.2 Net Value Product

Perhitungan Net Value dilakukan dengan metode CBA (*Cost Benefit Analysis*). *Cost-Benefit*

Analysis (CBA) atau Analisis Biaya-Manfaat adalah suatu metode evaluasi proyek atau keputusan bisnis yang bertujuan untuk membandingkan antara biaya yang dikeluarkan dengan manfaat yang dihasilkan (Koopmans & Mouter, 2020).

Net value didapat dengan mengurangi harga jual produk dengan biaya produksi yang dikeluarkan, sehingga suatu produksi dapat dikatakan layak apabila harga produk lebih besar dari biaya produksinya.

$$Net\ Value = \text{Harga\ Jual} - \text{Biaya\ Produksi} \quad (1)$$

2.2.3 Eco-efficiency Index (EEI)

Eko-efisiensi merupakan konsep kunci bagi perusahaan untuk mencapai pembangunan yang lebih berkelanjutan, dengan mempertimbangkan tidak hanya aspek nilai tambah dari kegiatannya tetapi juga dampak lingkungannya (Gotze dkk., 2019). "Eco-efficiency" (efisiensi ekologis) merujuk pada konsep di mana suatu aktivitas atau proses ekonomi diarahkan untuk mencapai hasil terbaik dari segi ekonomi sekaligus meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) pada tahun 1992. Dalam konteks industri, Eco Efficiency Index merujuk pada pengukuran kinerja ekonomi dan lingkungan dari suatu industri atau perusahaan dengan mempertimbangkan efisiensi sumber daya dan dampak lingkungan. Produk dapat dikatakan *sustainable* apabila nilai EEI tersebut >1, produk yang memiliki nilai EEI antara 0 – 1 dapat dikatakan *affordable*, sedangkan produk yang memiliki nilai EEI < 0 dapat dikatakan tidak *sustainable* dan *affordable* (Puspita Sari dkk., 2012). Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung nilai EEI:

$$EEI = \frac{Price - Cost}{Eco\ Cost} \quad (2)$$

2.2.4 Eco-efficiency Value Ratio

EVR menghubungkan sisi produksi dari masalah lingkungan (yaitu membuat produk dengan biaya ramah lingkungan yang lebih rendah) ke sisi konsumen (yaitu memberikan produk ramah lingkungan dengan nilai yang lebih tinggi sehingga konsumen akan membelinya (Mestre & Vogtlander, 2013). Berikut merupakan rumus yang dapat digunakan untuk memperhitungkan EVR:

$$EVR = \frac{Eco - cost}{Net\ Value} \quad (3)$$

Perhitungan terakhir setelah menghitung Eco-Cost Value Ratio adalah mengukur tingkat Eco-Efficiency Ratio sebagai ukuran eko-efisiensi produksi. Rumus untuk menghitung indikator ini adalah sebagai berikut (Purwaningsih dkk., 2020):

$$EER = (1 - EVR) \times 100\% \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Life Cycle Assessment (LCA)

Tujuan (*goal*) dari penelitian ini adalah untuk mengukur nilai dampak lingkungan yang ada pada proses produksi batik *printing* sekaligus memberikan rekomendasi perbaikan yang sesuai, sedangkan batasan (*scope*) dari penelitian ini berfokus pada objek batik motif sogan dengan teknik *printing*. Penelitian ini dilakukan dengan *software* Simapro 9.6.0.1 dengan metode Ecocost 2024 unit yang diukur adalah 1 batch (38 x 1,15 meter) kain atau 16 produk kain batik. Faktor karakterisasi, normalisasi, dan pembobotan dapat dilihat pada Tabel 2 dan hasil nilai karakterisasi dapat dilihat pada tabel 3.

Setelah melakukan perhitungan, didapatkan nilai *eco-cost* untuk masing-masing proses produksi pada batik *printing*. Tabel 4 menunjukkan nilai *eco-cost* batik *printing* untuk masing-masing kategori dan Tabel 5. Menunjukkan nilai perbandingan *eco-cost* masing-masing proses produksi.

Tabel 2. Faktor Karakterisasi, Normalisasi, dan Pembobotan

No	Kategori Dampak	Faktor Normalisasi	Faktor Pembobotan
1	Carbon footprint	0,133 euro/kg CO ² eq	1
2	Photochemical ozone formation	6,12 euro/kg NO _x eq	1
3	Particulate matter	40,1 euro/kg PM2.5	1
4	Human toxicity, cancer	920.000 euro/CTUh	1
5	Human toxicity, non-cancer	216.000 euro/CTUh	1
6	Acidification	7,65 euro/mol H+ eq	1
7	Eutrophication	5,38 euro/kg PO4 eq	1
8	Ecotoxicity, freshwater	2,89E-3 euro/CTUe	1
9	Metals scarcity	1 euro/euro	1
10	Use fossil based plastics + tra. fuels	0,78 euro/kg oil equ	1
11	Use uranium	1 euro/euro	1
12	Land use	6,87 euro/biofactor	1
13	Baseline Water Stress	1,145 euro/m ³ equiv	1
14	Landfill	1 euro/euro	1

Tabel 3. Nilai Karakterisasi Batik Printing

Impact category	Unit	Batik Printing
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3146,957
Carbon footprint	kg CO2 eq	38,229
Baseline Water Stress	m3 equiv	12,067
Eutrophication	kg PO4 eq	3,183
Metals scarcity	euro	0,419
Use uranium	euro	0,269
Photochemical ozone formation	kg NOx eq	0,109
Land use	biofactor	0,104
Acidification	mol H+ eq	0,096
Particulate matter	kg PM2.5	0,012
Human toxicity, non-cancer	CTUh	0,000
Human toxicity, cancer	CTUh	0,000
Landfill	euro	0,000
Use fossil based plastics + tra. fuels	kg oil equ	0,000

Tabel 4. Nilai Eco-cost Batik Printing

Impact category	Batik Printing
Baseline Water Stress	Rp 382.353
Eutrophication	Rp 296.066
Carbon footprint	Rp 88.034
Ecotoxicity, freshwater	Rp 122.880
Acidification	Rp 12.861
Land use	Rp 11.632
Photochemical ozone formation	Rp 10.690
Particulate matter	Rp 7.533
Metals scarcity	Rp 4.828
Use uranium	Rp 4.166
Human toxicity, non-cancer	Rp 15.787
Human toxicity, cancer	Rp 1.662
Landfill	Rp -
Use fossil based plastics + tra. fuels	Rp -
Total	Rp 958.491

Tabel 5. Nilai Perbandingan *Eco-cost* Tiap Proses Produksi

Impact Category	Woven cotton	Grounding Process	Printing Batik (Dyeing)	Drying Batik	Washing Batik	Packaging Batik
Total	Rp858.440	Rp868.559	Rp912.882	Rp957.399	Rp957.881	Rp958.491
Eco-cost masing-masing proses		Rp 10.120	Rp 44.323	Rp 44.517	Rp 482	Rp 610

Setelah melalui beberapa tahap sebelumnya, didapatkan nilai *eco-cost* produksi batik *printing* adalah sebesar Rp 958.491 untuk 1 batch produksi, sehingga 1 produk kain batik berukuran 2,4 x 1,15 meter memiliki *eco-cost* sebesar Rp 59.905. Nilai *eco-cost* serta dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi ini 89% dihasilkan dari penggunaan material kain mori, hal ini bisa terjadi karena proses pembuatan untuk mendapatkan material tersebut cukup panjang serta penggunaan material terbesar ada pada kain tersebut. Penggunaan air sangat besar yang sebagian besar digunakan untuk proses pencucian, hal ini menyebabkan *impact* kategori *Eutrophication*, *Baseline Water Stress*, *Ecotoxicity freshwater* merupakan kategori terbesar dalam proses produksi

batik, sehingga perlu adanya perbaikan yang harus dilakukan untuk meminimalisir nilai *eco-cost* ini.

Eutrophication adalah proses peningkatan kesuburan dalam ekosistem perairan akibat masuknya nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dalam jumlah yang berlebihan (Petruzzello, 2024). Ecotoxicity adalah dampak bahan kimia beracun terhadap organisme yang hidup dalam ekosistem air tawar, seperti sungai, danau, kolam, dan aliran air lainnya (Gupta, 2022). Baseline Water Stress adalah kondisi yang terjadi ketika penggunaan atau permintaan air lebih besar dari pada ketersediaan air yang ada pada suatu daerah atau wilayah.

3.2 Eco-efficiency Index (EEI)

Untuk mengetahui nilai EEI dari proses produksi dapat dilakukan perhitungan dengan membagi nilai *eco-cost* dengan *net value* produk. Total biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi 1 batch kain batik printing adalah sebesar Rp 673.500 yang artinya untuk 1 produk kain batik IKM Batik X memerlukan biaya sebesar Rp 42.093. Untuk 1 lembar kain batik printing IKM X dengan ukuran 2,4 meter x 1,15 meter dibandrol dengan harga Rp 95.000. Berdasarkan perhitungan nilai *production cost* dan *Benefit* tersebut, didapatkan nilai *Net Value* sebesar Rp 52.907 per produk, sehingga nilai EEI nya menjadi

$\frac{Rp\ 59.905}{Rp\ 52.907}$ menghasilkan nilai EEI sebesar 0,88. Nilai EEI ini tergolong dalam kategori *affordable* tetapi belum *sustainable* (Saling, 2016). Untuk meningkatkan nilai EEI dapat dilakukan dengan cara meningkatkan nilai *net value* atau mengurangi nilai *eco-cost*. Nilai EVR dari proses produksi ini adalah sebesar 1.13 sedangkan nilai EER sebesar -13%.

3.3 Rekomendasi Perbaikan

Tabel 6. menunjukkan beberapa usulan rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan nilai EEI dari proses produksi batik *printing*.

Tabel 6. Rekomendasi Perbaikan

No	Masalah	Rekomendasi
1	Kategori dampak lingkungan terbesar ada pada limbah cair (<i>Eutrophication, Baseline Water Stress, Ecotoxicity freshwater</i>)	IKM Batik X dapat melakukan proses pencucian dengan cara memperkecil volume bak pencucian yang digunakan sehingga dapat meminimasi penggunaan air untuk perendaman. Proses pembuangan limbah bekas pencucian juga dapat diolah terlebih dahulu menggunakan mikroorganisme dengan proses biofilter anaerob-aerob agar air yang terbuang dapat digunakan kembali atau dapat dibuang ke sungai dengan aman (Idaman Said, 2020).
2	Penggunaan material kain mori merupakan dampak terbesar dari emisi produksi batik <i>printing</i> dengan nilai 93%.	Substitusi material kain mori menjadi kain rayon viscose. Apabila substitusi ini diterapkan pada industri batik ini, maka total <i>eco-cost</i> dari proses produksi batik <i>printing</i> menjadi 10,103 USD atau Rp 161.650 untuk 1 batch, sehingga nilai EEI nya menjadi 5,24.
3	Penggunaan kayu bakar sebagai bahan bakar oven	IKM Batik X dapat memasang instalasi cerobong asap untuk mengeluarkan asap kayu bakar yang terjebak di dalam pabrik. Pembuatan cerobong asap dapat mengalirkan asap pembakaran kayu ke udara terbuka yang lebih tinggi sehingga dapat mengurangi dampak negatif bagi kesehatan pekerja (Puspita Sari et al., 2012).

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan nilai *eco-cost* dari proses produksi batik *printing* adalah sebesar Rp 59.905 per lembar dengan dampak lingkungan terbesar ada pada material kain mori yang digunakan serta penggunaan sumber daya air yang cukup besar. Nilai *eco-efficiency index* yang dihasilkan adalah sebesar 0,88, sehingga produk tersebut masih *affordable* namun belum *sustainable* sehingga perlu adanya perbaikan yang bisa diterapkan untuk meningkatkan nilai tersebut. Untuk meningkatkan nilai EEI dapat dilakukan dengan meminimalisir nilai *eco-cost* atau dengan meningkatkan nilai *net value* produk tersebut. Pada penelitian ini ditemukan bahwa material kain mori sangat tidak ramah lingkungan. *Eco-cost* untuk 1 kg kain mori adalah sebesar 18 USD atau Rp288.000, sehingga penggunaan material kain mori dapat disubstitusi dengan kain rayon viscose.

Daftar Pustaka

1. Nurainun, Heriyana, & Rasyimah. (2008). Analisis Industri Batik di Indonesia. *Fokus Ekonomi (FE)*, 7(3), 124–135.

- European Commission. (2022, March 30). *Ecodesign for Sustainable Products Regulation*. European Commission.
- Vasishta, T., Hashem Mehany, M., & Killingsworth, J. (2023). Comparative life cycle assesment (LCA) and life cycle cost analysis (LCCA) of precast and cast-in-place buildings in United States. *Journal of Building Engineering*, 67.
- ISO 14044. (2006). *Environmental Management- Life Cycle Assesment-Requirements and Guidelines*.
- Puspita Sari, D., Hartini, S., Ika Rinawati, D., & Setyo Wicaksono, T. (2012a). Pengukuran Tingkat Eko-efisiensi Menggunakan Life Cycle Assessment untuk Menciptakan Sustainable Production di Industri Kecil Menengah Batik. *Jurnal Teknik Industri*, 14(2), 137–144.
- Mestre, A., & Vogtlander, J. (2013). Eco-efficient value creation of cork products: An LCA-based method for design intervention. *Journal of Cleaner Production*, 57, 101–114.
- 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(1).
8. Idaman Said, N. (2020). Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tekstil dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Tercelup Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(2), 124–135.
 9. Angoy, A., Brianceau, S., Chabrier, F., Ginisty, P., Jomaa, W., Rochas, J. F., Sommier, A., & Valat, M. (2019). Microwave technology for food applications. *Green Food Processing Techniques: Preservation, Transformation and Extraction*, 455–498.
 10. Mu, D., Xin, C., & Zhou, W. (2019). Life cycle assessment and techno-economic analysis of algal biofuel production. *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*, 281–292
 11. Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. Dalam *International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 11, Nomor 2, hlm. 80–85)
 12. Gupta, P. K. (2022). Introduction, historical glimpse and regulations. *Fundamentals of Nanotoxicology*, 1–24
 13. Petruzzello, M. (2024). Eutrophication. Dalam *Encyclopaedia Britannica* (Vol. 1). Encyclopaedia Britannica, Inc
 14. Saling, P. (2016). *Eco-efficiency Assessment*. 115–178.
 15. Kelvin, K. (2021). Analisis Dampak Lingkungan dari Perusahaan Jasa Konstruksi di Surabaya Dengan Software SimaPro. *Journal of Information System, Graphics, Hospitality and Technology*, 3(02), 70–74
 16. 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
 17. Schrijvers, D., Loubet, P., & Sonnemann, G. (2020). Archetypes of goal and scope definitions for consistent allocation in LCA. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14).
 18. Koopmans, C., & Mouter, N. (2020). Cost-benefit analysis. Dalam *Advances in Transport Policy and Planning* (Vol. 6, hlm. 1–42). Elsevier B.V.
 19. Amrulloh, R., & Ratyaningrum, F. (2018). Batik Lukis Karya Guntur Sasono di Desa Carat Kecamatan Kauman Kabupaten Ponorogo Periode 2008-2016. *Jurnal Seni Rupa*, 6(1).
 20. Gotze, U., Pecas, P., & Richter, F. (2019). Design for eco-efficiency – a system of indicators and their application to the case of moulds for injection moulding. *Procedia Manufacturing*, 33, 304–311.