

Penerapan *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk Mengurangi Dampak Lingkungan pada Proses Produksi IKM Knalpot Purbalingga

Katon Muhammad¹, Yudi Syahrullah¹

Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga¹

katon.muhammad@gmail.com

Article Info

Article history:

Received December 2020
Revised May 2021
Accepted July 2021
Published April 2022

Keyword:

Exhaust products
Life cycle assessment
Small
Medium enterprises

ABSTRACT

The issue of sustainability to reduce environmental impact is currently a big concern for industry players and also governments around the world. According to UNEP, industrial activities contribute quite a lot to environmental pollution, the use of raw materials is 40%, solid waste is 25%, liquid waste is 25%, and the biggest contribution is from the greenhouse effect by 40%. On the other hand, the exhaust small and medium industry (IKM) in Purbalingga Regency is growing and developing rapidly. Besides having an impact on social aspects, industrial development also has an impact on environmental aspects. Therefore, a comprehensive study is needed to evaluate the environmental impacts arising from industrial activities. One method that can be used is the Life Cycle Assessment (LCA). This study aims to measure and evaluate the environmental impacts caused by energy consumption, material selection, and production activities at exhaust SMIs in Purbalingga. In the IKM production process, energy use is measured and the calculation of the life cycle assessment uses the gate to gate approach. From the measurement results, it was found that the impact assessment using SimaPro 9.1 software, the Single Score value of stainless steel exhaust products has a value of 1065.70 pt higher than products with raw materials using iron plate 100.89 pt. From these results, it can be seen that the iron plate used as a raw material for exhaust products is considered more environmentally friendly.

Kata Kunci:

industri kecil menengah
Knalpot
life cycle assesment

ABSTRAK

Isu sustainability untuk mengurangi dampak lingkungan saat ini menjadi perhatian besar bagi para pelaku Industri dan juga pemerintah di seluruh dunia. Menurut UNEP, aktivitas industri berkontribusi cukup besar terhadap pencemaran lingkungan, penggunaan bahan baku sebesar 40%, limbah padat 25%, limbah cair 25%, dan kontribusi terbesar lainnya dari efek rumah kaca sebesar 40%. Disisi lain, Industri Kecil Menengah (IKM) knalpot di Kabupaten Purbalingga tumbuh dan berkembang dengan pesat. Perkembangan industri selain berdampak pada aspek sosial, juga berdampak pada aspek lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan suatu studi komprehensif untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas industri. Salah satu metode yang dapat digunakan ialah Life Cycle Assesment (LCA). Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh konsumsi energi, pemilihan material dan

aktivitas produksi pada IKM knalpot di Purbalingga. Didalam proses produksi IKM diukur penggunaan energi dan perhitungan life cycle assessment menggunakan pendekatan gate to gate. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa penilaian impact assessment dengan menggunakan software SimaPro 9.1 nilai Single Score dari produk knalpot stainless steel memiliki nilai 1065.70 pt lebih tinggi dibandingkan dengan produk dengan bahan baku menggunakan plat besi 100.89 pt. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa plat besi dalam penggunaan sebagai material untuk bahan baku produk knalpot dinilai lebih ramah lingkungan

1. PENDAHULUAN

Isu *sustainability* untuk mengurangi dampak lingkungan saat ini menjadi perhatian besar bagi para pelaku Industri dan juga pemerintah di dunia (Huovila, 2007). Aktivitas industri berkontribusi cukup besar terhadap pencemaran lingkungan, penggunaan bahan baku sebesar 40%, limbah padat 25%, limbah cair 25%, dan kontribusi terbesar lainnya dari efek rumah kaca sebesar 40% (UNEP, 2009). Dari data BPS pada tahun 2018 dapat dilihat bahwa *greenhouse gass emissions* (GHG) yang dihasilkan dari sektor industri di Indonesia meningkat dari 60,1 juta ton CO₂e pada tahun 2000 menjadi 97,9 juta ton CO₂e pada tahun 2016. Didapati juga bahwa hanya 2% limbah industri manufaktur yang saat ini dikelola dan 98% dari limbah tersebut belum dikelola. Data ini menunjukkan bahwa suatu produk yang dihasilkan oleh sebuah industri, perlu menggunakan bahan yang lebih ramah lingkungan agar tidak membebani lingkungan nantinya. Industri otomotif menghasilkan produk kritikal yang memberikan dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk, mulai dari proses pengadaan bahan baku sampai dengan produk mencapai fase akhir atau *end-of-life* (Syahrullah & Ciptomulyono, 2015). Sehingga penelitian lebih mendalam tentang dampak lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan industri otomotif perlu dilakukan.

Penelitian tentang dampak lingkungan pada industri otomotif skala besar di Indonesia sudah banyak dilakukan, diantaranya oleh Syahrullah (2018). Namun industri kecil menengah (IKM) yang berjumlah banyak dan melakukan kegiatan manufaktur, terutama dalam satu wilayah tertentu, juga memberikan dampak lingkungan yang harus dievaluasi dan dikendalikan. Industri Kecil Menengah (IKM) knalpot di Kabupaten Purbalingga tumbuh dan berkembang dengan pesat dengan pangsa pasar produk sebesar 80% di pasar regional dan 20% di pasar global (BPS, 2019). Perkembangan industri selain berdampak pada aspek sosial, berdampak pula pada aspek lingkungan (Kumar & Cripps 2012). Dari hal ini perlu adanya pengelolaan dan evaluasi yang baik agar dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas industri seperti polusi udara, pencemaran air sungai dan kemungkinan pencemaran lain yang dihasilkan dapat diminimasi sehingga tidak menjadi beban lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan suatu studi komprehensif, untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas produksi knalpot di Kabupaten Purbalingga. Salah satu metode yang dapat digunakan ialah *Life Cycle Assessment* (LCA).

Pendekatan LCA dapat mengevaluasi secara menyeluruh dampak lingkungan yang mungkin dihasilkan oleh suatu produk atau jasa. *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan alat yang komprehensif untuk menilai dampak lingkungan sehingga LCA sangat cocok untuk menilai kinerja lingkungan dari desain produk yang ada (Haupt & Zschokke, 2017). Dibandingkan dengan *life cycle thinking*, LCA menjadi pendekatan atau metode yang lebih rinci karena sifatnya lebih umum dan kuantitatif dalam mempertimbangkan implikasi *cradle to grave* pada berbagai aktivitas (Baumann & Tillman, 2004). Hasil evaluasi dampak lingkungan menggunakan pendekatan LCA dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan oleh pemangku kepentingan terkait dalam memilih produk dan juga proses produksi yang ramah lingkungan (Pujotomo dkk., 2019).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas proses produksi, diantaranya penelitian LCEA dalam upaya pengukuran dampak lingkungan dari konsumsi energi di hotel. Dari penelitian ini ditemukan dampak

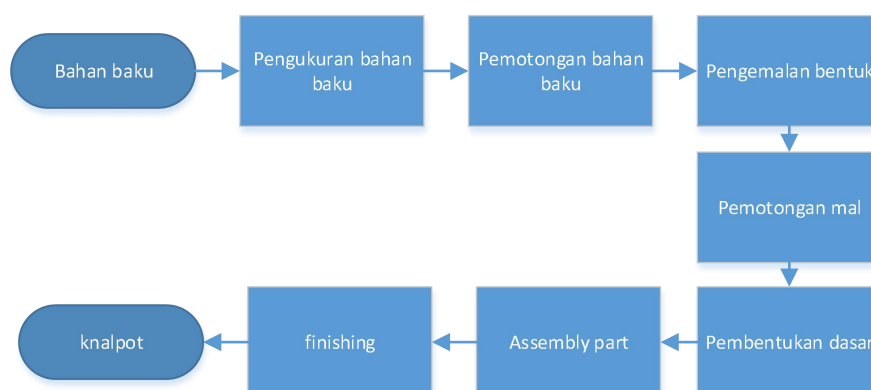
lingkungan yang paling besar dan dihasilkan rekomendasi perbaikan untuk dapat mengurangi dampak lingkungan sebesar 10,09% (Saputra, 2017). Selain itu, penelitian lain terkait LCA dilakukan pada industri semen untuk mengevaluasi dampak lingkungan penggunaan batu bara dan biomassa sebagai bahan bakar proses produksi sehingga menghasilkan skenario terbaik dalam mengurangi dampak terhadap lingkungan (Harjanto dkk., 2012). Adapula penelitian yang dilakukan oleh Dabaieh dkk. (2020) yang mana melakukan penelitian untuk mengetahui komposisi material penyusun produk dengan nilai Co2 yang rendah dengan menggunakan pendekatan LCA sehingga produk yang dibuat lebih ramah lingkungan. Penelitian terkait LCA pada industri skala kecil dan menengah yang dilakukan oleh Daddi dkk. (2017) juga menunjukkan adanya manfaat penggunaan LCA pada industri skala kecil dan menengah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh konsumsi energi, pemilihan material dan aktivitas produksi pada industri knalpot yang ada di Purbalingga menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) yang nantinya akan dijadikan rekomendasi untuk dapat meningkatkan penggunaan produk yang lebih ramah lingkungan.

2. METODE

2.1. Sistem Produksi dan Sumber Data

Penelitian ini dilakukan pada IKM Knalpot Purbalingga dengan menggunakan sampel yang diambil secara acak dari beberapa industri knalpot yang ada di purbalingga. Lokasi penelitian ini dipilih karena mempertimbangkan pertumbuhan IKM yang memproduksi knalpot kendaraan bermotor yang ada di Purbalingga, sehingga berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dari produk yang dibuat terhadap wilayah sekitarnya. Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan Oktober 2020. Dalam penelitian ini data yang dikumpulkan meliputi: data bahan baku pembuatan knalpot, pemanfaatan listrik dan gas sebagai bahan bakar.

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari rata-rata produksi selama 3 bulan. Data terdiri atas data primer yang diambil langsung ke IKM Knalpot dan data sekunder yang diperoleh dari beberapa penelitian sebelumnya. Data konsumsi energi pada IKM ini digunakan untuk menganalisis efek dampak lingkungan dan kontribusi pemanasan global yang disebabkan dari emisi gas rumah kaca dan untuk menentukan sumber input yang digunakan dalam sistem. Penelitian ini juga menggunakan data inventaris yang disediakan oleh database pada SimaPro 9.1.0 untuk memperoleh data inventaris yang tidak dapat diukur pada lokasi penelitian. Berdasarkan data yang diperoleh, penelitian ini membahas mengenai konsumsi energi dan dampak yang ditimbulkan dari produksi pembuatan knalpot



Gambar 1: Proses Produksi IKM Knalpot

Penelitian ini menggunakan *boundary system* pada *life cycle assesment* yaitu *gate to gate* yang mana penilaian daur hidup dinilai pada proses produksi pembuatan produk mulai dari bahan baku produk mulai dipotong, proses *assembly* hingga proses akhir produk menjadi knalpot yang dapat digunakan.

2.2. Metode Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan pendekatan yang digunakan dalam mengavaluasi input, output dan potensi yang dapat ditimbulkan yang berakibat pada kerusakan lingkungan selama fase hidup suatu produk baik dari energi. *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode berbasis *cradle to grave* sehingga dapat mengetahui jumlah energi, biaya dan dampak lingkungan yang ditimbulkan selama siklus hidup produk. Menurut Curran (2013) LCA dapat dijadikan alat analisis yang dapat menangkap keseluruhan dampak lingkungan dari suatu produk atau proses. Setiap langkah *Life Cycle Assessment* (LCA) memiliki arti atau makna yang di jelaskan pada standar internasional ISO 14040. Finkbeiner (2014) mendefinisikan langkah LCA yang merujuk pada ISO 14010 terdiri dari beberapa tahap mulai dari pendefinisian tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak, dan interpretasi hasil. Pendefinisian tujuan dan ruang lingkup melibatkan penentuan batas sistem dan unit fungsional, serta objek yang dituju. Pada analisis inventori memerlukan pembuatan inventaris untuk *input* dan *output* yang relevan terkait dengan sistem yang ditentukan. *Data life cycle inventory* ini berhubungan dengan kuantifikasi dan akumulasi data input dan output sistem sehingga pada fase ini merupakan hal yang menjadi sangat penting pada pelaksanaan LCA (Islam dkk., 2016). Metode LCA juga dapat digunakan sebagai penentu penerapan skenario yang tepat untuk mengatasi masalah lingkungan (Lu dkk., 2017). Dengan menggunakan analisis LCA dampak lingkungan dari hulu hingga hilir dapat dinilai dengan baik. Dengan adanya penilaian tersebut dapat digunakan oleh perusahaan untuk meningkatkan ketertarikan investor dan badan pemerintahan untuk menanamkan modal ke perusahaan (Lauesen, 2019).

2.3. Boundary Syste

Metode LCA yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis dampak emisi CO₂ dan konsumsi energi yang digunakan dari proses pembuatan produk knalpot. Ada tujuh langkah proses pembuatan knalpot. Mulai dari pengukuran bahan baku, pemotongan, pengemalan, pemotongan mal, pembentukan dasar, *assembly part* dan *finishing*. Pada proses pemotongan bahan baku ini menggunakan gerinda sebagai alat bantu untuk memotong bahan baku yang sudah diukur untuk dipotong. Selain itu pada proses *assembly* produk menggunakan las sebagai alat untuk merakit produk. Pada proses *finishing* produk dilakukan proses pembentukan pola *finishing* produk untuk dapat mengeluarkan pola pelangi dengan proses pembakaran bagian *surface* produk.

Penelitian ini menggunakan data primer dari hasil pengukuran langsung dilapangan dan data sekunder yang didapatkan dari data penggunaan software SimaPro 9.1.0. Oleh karena itu, semua data tersebut diolah dengan pendekatan *life cycle assessment*. Produksi knalpot yang memerlukan bahan baku berupa aluminium dan besi yang digunakan secara besar membutuhkan energi yang cukup besar pula dalam pembuatan produknya. Ada beberapa proses yang seharusnya dapat dilakukan efisiensi energi untuk dapat menghasilkan suatu produksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan mengetahui konsumsi energi dan penggunaan bahan baku dalam pembuatan produk, potensi untuk penghematan energi dan penggunaan bahan baku yang lebih ramah lingkungan dapat disusun dengan pendekatan LCA ini.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Identifikasi Kebutuhan Bahan Baku dan Energi

Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan untuk mengetahui kebutuhan bahan baku utama yaitu *stainless steel* dan bahan baku pembanding yaitu plat besi, energi listrik maupun gas yang dibutuhkan pada proses pembuatan knalpot di IKM Kabupaten Purbalingga. IKM knalpot menetapkan waktu kerja dalam satu hari selama 7 jam dan satu minggu kerja selama 6 hari, sehingga dalam satu bulan kerja setara dengan 24 hari.

Dalam penelitian ini, Bahan baku plat *stainless steel* merupakan bahan baku utama yang diggunakan berupa lembaran *stainless steel* dengan ukuran 1,5 m x 4 m. Berat satu lembar *stainless steel* adalah 19 kg. Satu lembar dapat digunakan untuk membuat 10 unit knalpot. Berdasarkan data primer tersebut dapat diketahui untuk kebutuhan bahan baku *stainless steel* untuk menghasilkan satu unit knalpot yaitu dengan membagi berat satu lembar *stainless steel* dan Jumlah unit yang dihasilkan dari satu lembar *stainless steel*.

Bahan baku plat besi digunakan sebagai bahan baku pembanding sehingga dapat mengetahui perbedaan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pembuatan knalpot. Dari

data primer yang dilakukan dengan melakukan *brainstorming* dengan IKM sejenis, bahan baku plat besi diperoleh dari sisa potongan (*scrap*). 10 kg *scrap* dapat menghasilkan 6 unit knalpot, sehingga dapat diketahui kebutuhan plat besi untuk memproduksi satu unit knalpot.

3.2. Kebutuhan Energi Listrik dan Gas pada Bahan Baku Stainless Steel

Penggunaan alat listrik pada proses produksi knalpot ini ada pada alat las listrik, gerinda potong, alat poles dan lampu. Jumlah lampu yang digunakan sebanyak tiga buah yaitu pada stasiun kerja gerinda potong, pengelasan, dan pemolesan. Berdasarkan pengukuran waktu yang dilakukan dengan melakukan observasi secara langsung terhadap produksi knalpot dengan bahan baku plat *stainless steel*. Waktu pemakaian diukur secara langsung untuk produksi satu unit satuan detik dikonversi ke jam lalu dikonversi terhadap total produksi selama satu bulan. Dari hasil pengukuran pemotongan *stainless steel* waktu yang dibutuhkan untuk memotong lembaran bahan untuk membuat satu produk knalpot adalah 188 detik atau 0,0521 jam.

Pengukuran awal yang dilakukan yaitu pengukuran energi listrik yang dibutuhkan untuk penggunaan gerinda potong. Spesifikasi mesin gerinda potong yang digunakan berupa Maktec MT240. Mesin Gerinda Potong dengan daya sebesar 2000 Watt. Penggunaan energi listrik mesin gerinda potong untuk produksi knalpot dalam satu bulan didapat dapat dilihat pada Tabel 1.

Proses berikutnya yang diukur adalah proses pengelasan menggunakan alat las listrik. Proses pengelasan terbagi menjadi tiga tahap, yaitu pengelasan tabung knalpot, leher knalpot dan pengelasan keseluruhan. Berdasarkan pengukuran waktu yang dilakukan dengan melakukan observasi secara langsung terhadap produksi knalpot dengan bahan baku plat *stainless steel* lama pengelasan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pengelasan dalam satu unit produk adalah selama 335 detik atau 0,093 menit. Spesifikasi mesin las listrik yang digunakan, yaitu Mesin Las Multipro TIG 220-AD M-JB dengan daya listrik sebesar 220 VA atau sebanding dengan 220 Watt. Penggunaan energi listrik mesin las listrik untuk produksi unit knalpot perbulan dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil observasi, pada proses produksi knalpot ini menggunakan tiga buah lampu sebagai penerangan pada stasiun kerja gerinda potong, pengelasan dan pemolesan. Spesifikasi lampu yang digunakan adalah Lampu Philips Essential dengan daya 50 Watt. Waktu pemakaian lampu sama dengan waktu kerja dalam satu hari dimana dalam penelitian ini adalah 7 jam/hari. Penggunaan energi listrik pada lampu untuk produksi selama satu bulan knalpot berbahan baku *stainless steel* dapat dilihat pada Tabel 1.

Proses terakhir yang diukur adalah proses *finishing* menggunakan alat poles. Pemolesan menggunakan mesin dinamo listrik dengan spesifikasi NLG Electro H3Y Series dan memiliki daya sebesar 380 Watt. Didapatkan dari hasil pengukuran waktu yang diperlukan untuk proses *finishing* ini adalah 657,41 detik atau 0,182 jam. Penggunaan energi listrik mesin dinamo listrik (mesin poles) untuk produksi unit knalpot dalam satu bulan dapat dilihat pada Tabel 1.

Penggunaan gas dalam proses produksi knalpot berbahan baku *stainless steel* ini berupa gas argon. Tabung gas argon yang digunakan berukuran 40 Kg yang mana akan habis dalam waktu 4 hari. Berdasarkan data primer jumlah produksi knalpot berbahan baku *stainless steel* rata-rata sebanyak 10 unit/hari maka penggunaan gas argon untuk satu hari produksi adalah sebanyak 10 Kg/hari, dengan rata-rata produksi 2324 unit/bulan Sehingga kebutuhan gas argon untuk memproduksi selama satu bulan adalah sebesar 2324 kg/bulan.

Tabel 1: Total energi listrik yang digunakan pada pembuatan produk bahan baku *stainless steel*

Energi Listrik	Kwh / Bulan
Gerinda	242,16

Las listrik	47,41
Lampu	25,20
Dynamo (mesin poles)	161,05
Total	475,82

3.3. Kebutuhan Energi Listrik dan Gas pada Bahan Baku Besi

Berdasarkan data primer berupa *brainstorming* dengan IKM knalpot yang menggunakan bahan baku plat besi, penggunaan listrik hanya pada alat gerinda potong dan lampu. Pengukuran waktu terhadap kegiatan pemotongan bahan baku plat besi menggunakan gerinda potong membutuhkan waktu sebesar 187 detik atau 0,0519 jam. Spesifikasi mesin gerinda potong yang digunakan berupa Maktec MT240. Mesin Gerinda Potong dengan daya sebesar 2000 Watt. Penggunaan energi listrik mesin gerinda potong untuk produksi knalpot dalam satu bulan dapat dilihat pada Tabel 2

Proses pembuatan knalpot berbahan baku plat besi ini juga sama dengan pembuatan dengan bahan lain yaitu membutuhkan penerangan berupa lampu yang digunakan pada stasiun gerinda potong. Dari hasil observasi spesifikasi lampu yang digunakan berdaya 50 Watt dengan waktu pemakaian lampu sesuai waktu kerja, yaitu 7 jam/hari. Penggunaan energi listrik pada lampu untuk produksi selama satu bulan knalpot berbahan baku besi dapat dilihat pada Tabel 2

Gas yang digunakan untuk memproduksi knalpot berbahan baku plat besi yaitu gas oksigen dan gas asetilin yang digunakan sebagai bahan las asetilin. Dari hasil *brainstorming* dengan pemilik IKM dan pekerja pada bagian produksi, tabung gas oksigen yang digunakan berukuran 40 kg dan tabung gas asetilin berukuran 20 kg. Kedua tabung tersebut akan habis digunakan selama 10 hari produksi, sehingga kebutuhan gas oksigen perhari 4 kg dan gas asetilin perhari 2 kg/hari dimana mampu menghasilkan 7 unit knalpot per hari. Sehingga kebutuhan gas oksigen dan gas asetilin untuk memproduksi satu unit knalpot dalam satu bulan dari hasil pengukuran berjumlah 1348 kg Gas Oksigen / Bulan dan 674 kg gas Asetin / bulan.

Tabel 2: Total energi listrik yang digunakan pada pembuatan produk bahan baku besi

Energi Listrik	Kwh / Bulan
Gerinda	241,23
Lampu	25,20
Total	266,43

3.4. Analisis Life Cycle Inventory (LCI)

Inventory dalam hal ini ialah *input* dan *output* material yang digunakan didalam penelitian ini. Adapun data input berdasarkan batasan masalah dalam penelitian ini yaitu metode LCA dengan batasan sistem *Gate to Gate* dimana kebutuhan bahan baku dan energi/kelistrikan serta gas yang digunakan dalam produksi knalpot pada IKM Knalpot. Sementara itu data output berupa produksi knalpot dan emisi yang dihasilkan dari aktivitas produksinya. Tabel 3 menunjukan *life cycle inventory* (LCI) dari hasil perhitungan kebutuhan bahan baku, energi dalam proses pembuatan knalpot selama satu bulan. Bahan baku utama dalam proses pembuatan knalpot yang diteliti dalam penelitian ini adalah *stainless steel* dan plat besi sebagai bahan baku pembanding.

Tabel 3: Life Cycle Inventory (LCI)

Bahan Baku	No	Input	Jumlah Unit/Bulan	Satuan
------------	----	-------	-------------------	--------

<i>Stainless Steel</i>	1	Listrik	475,82	Kwh
	2	Asetilin	0	Kg
	3	Argon	2324	Kg
	4	Oksigen	0	Kg
	5	Bahan Baku	4416	Kg
Plat Besi	1	Listrik	266,43	Kwh
	2	Asetilin	674	Kg
	3	Argon	0	Kg
	4	Oksigen	1348	Kg
	5	Bahan Baku	3858	Kg

3.5. Impact Assessment

Pada tahap penilaian dampak ini akan menggunakan pendekatan ReCipe 2016 Endpoint (H) 1.04 pada SimaPro 9.1 di mana akan dipilih beberapa analisis, diantaranya *Damage Assesment*, *Normalization*, *Weighting*, dan *Single Score Impact Assessment*. Analisis *Damage Impact Assessment* digunakan untuk mengevaluasi dampak kerusakan yang dihasilkan berdasarkan dampak karakterisasinya. Analisis ini berguna sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk memperbaiki performa lingkungan. Hasil *Damage Assesment* menggunakan SimaPro dengan membandingkan penggunaan bahan baku *stainless steel* dan plat besi yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4: Hasil *Damage Assesment*

<i>Damage Category</i>	<i>Unit</i>	<i>Steel stainless</i>	Plat Besi
<i>Human Health</i>	DAILY	0.0524	0.00538
<i>Ecosystem</i>	<i>Species.yr</i>	0.000316	1.72E-5
<i>Resources</i>	<i>USD2013</i>	938	95.6

Dari Tabel 4 terlihat perbandingan knalpot berbahan baku *stainless steel* sebagai bahan baku utama dan bahan baku plat besi sebagai bahan baku pembanding. Dari tiga jenis *damage category* yang diukur, baik itu *Human Health*, *Ecosystem*, dan *Resources* bahan baku *stainless steel* yang saat ini digubakan oleh IKM knalpot lebih besar dibandingkan jika menggunakan bahan baku plat besi.

Tahap *Normalization*, pada tahapan ini satuan dari seluruh kategori dampak dihilangkan. Nilai normalisasi didapat dengan membagi nilai kategori dampak dengan faktor normalisasi dari masing-masing kategori dampak. Hasil *Normalization* menggunakan SimaPro dengan membandingkan penggunaan bahan baku *stainless steel* dan plat besi terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil *Normalization*

<i>Damage Category</i>	<i>Steel stainless</i>	Plat Besi
<i>Human Health</i>	2.21	0.227
<i>Ecosystem</i>	0.441	0.024
<i>Resources</i>	0.0335	0.00341

Tahap selanjutnya adalah tahap pembobotan. *Weighting* atau pembobotan dalam LCA dilakukan untuk menghasilkan *single score* yang akan memudahkan dalam membandingkan dampak lingkungan dari produk atau skenario yang berbeda. Tahap ini memfasilitasi pengambilan keputusan karena data pembobotan menunjukkan hasil yang jelas apakah dampak suatu produk lebih tinggi, lebih rendah, atau sama dengan produk atau alternatif lainnya. Hasil pembobotan menggunakan SimaPro dengan membandingkan penggunaan bahan baku *stainless steel* dan plat besi digunakan sebagai inputan dalam perhitungan *single score*. Tahap yang terakhir adalah *single score* pada *impact assessment*. Pada tahap ini dilakukan klasifikasi dampak lingkungan berdasarkan produknya. Nilai *Single Score* didapat dari tahap pembobotan. Hasil *Single Score* menggunakan SimaPro 9.1 dengan membandingkan penggunaan bahan baku *stainless steel* dan plat besi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil *Single Score Impact Assessment*

<i>Damage Category</i>	<i>Unit</i>	<i>Steel stainless</i>	Plat Besi
<i>Human Health</i>	Pt	883	90.6
<i>Ecosystem</i>	Pt	176	9.61
<i>Resources</i>	Pt	6.7	0.682
Total	Pt	1065.7	100.89

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dilakukan menggunakan *life cycle assessment* (LCA) dengan SimaPro 9.1 menggunakan metode ReCipe 2016 Endpoint (H) dengan batasan penelitian *Gate to Gate*, diperoleh penilaian dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pembuatan knalpot menggunakan bahan baku *stainless steel* yang adalah sebesar 1065.7 pt yang kemudian dibandingkan dengan bahan baku usulan berupa plat besi yang mana memiliki nilai dampak yang ditimbulkan sebesar 100.89 pt yang artinya memiliki penurunan sebesar 964.81 pt atau lebih rendah 91% dari nilai awal. Dari hasil ini menunjukkan bahwa bahan baku yaitu *stainless steel* yang digunakan oleh IKM untuk memproduksi knalpot kurang ramah lingkungan bila dibandingkan dengan bahan baku pembanding (plat besi). Dari penelitian ini dapat direkomendasikan untuk penggunaan bahan baku plat besi sehingga potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan tidak lebih besar dibandingkan dengan penggunaan bahan baku *stainless steel* yang digunakan saat ini.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik. (2018) *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta: BPS Indonesia.
- [2] Badan Pusat Statistik. (2019) *Kabupaten Purbalingga dalam Angka 2019*.
- [3] Baumann, H. & Tillman, A. M. (2004) *The Hitch Hiker's Guide to LCA*.
- [4] Curran, M. A. (2013) 'Life cycle assessment: A review of the methodology and its application to sustainability', *Current Opinion in Chemical Engineering*, Vol. 2, No. 3: 273-277.
- [5] Dabaieh, M., Emami, N., Heinonen, J. T., & Marteinsson, B. (2020) 'A life cycle assessment of a 'minus carbon' refugee house: Global warming potential and sensitivity analysis', *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*.
- [6] Daddi, T., Nucci, B., & Iraldo, F. (2017) 'Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs', *Journal of Cleaner Production*, Vol. 147: 157-164.
- [7] Finkbeiner, M. (2014) 'The international standards as the constitution of life cycle assessment: the ISO 14040 series and its offspring' in *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment*, hal: 85-106, Dordrecht: Springer.
- [8] Harjanto, T. R., Fahrurrozi, M., & Bendiyasa, I. M. (2012) 'Life cycle assessment pabrik semen PT Holcim Indonesia Tbk. pabrik Cilacap: Komparasi antara bahan bakar batubara dengan biomassa', *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 6, No. 2: 51-58.
- [9] Haupt, M. & Zschokke, M. (2017) 'How can LCA support the circular economy? 63rd discussion forum on life cycle assessment, Zurich, Switzerland, November 30, 2016', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 22, No. 5: 832-837.
- [10] Huovila, P. (2007) *Buildings and Climate Change: Status, Challenges, and Opportunities*, UNEP/Earthprint.
- [11] Islam, S., Ponnambalam, S. G., & Lam, H. L. (2016) 'Review on life cycle inventory: Methods, examples and applications', *Journal of Cleaner Production*, Vol. 136: 266-278.

- [12] Kumar, M. & Cripps, S. (2012) 'Environmental aspects. Aquaculture: Farming aquatic animals and plants, Second Edition', hal: 84-106, West Sussex: Blackwell Publishing Ltd.
- [13] Lauesen, L. M. (2019) 'Sustainable investment evaluation by means of life cycle assessment', *Social Responsibility Journal*.
- [14] Lu, B., Du, X., & Huang, S. (2017) 'The economic and environmental implications of wastewater management policy in China: From the LCA perspective', *Journal of Cleaner Production*, Vol. 142: 3544-3557.
- [15] Pujotomo, D., Nugroho, S., & Sihombing, I. G. (2019) 'Analisis tingkat eko-efisiensi pada pewarna batik dengan menggunakan metode life cycle assessment (LCA) pada UKM batik Semarang 16' in *IENACO (Industrial Engineering National Conference) 7 2019*.
- [16] Saputra, I. (2017). *Penerapan Life Cycle Energy Analysis (LCEA) untuk Mengurangi Dampak Lingkungan dari Konsumsi Energi di Hotel Alila Manggis* (Doctoral Dissertation), Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [17] Syahrullah, Y. & Ciptomulyono, U. (2015) 'Pengembangan model pemulihan komponen kendaraan end-of-life dengan integrasi tripple bottom line dan teknik pengambilan keputusan multi objektif' in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIII*.
- [18] Syahrullah, Y. (2018) 'Perancangan fasilitas pemulihan komponen kendaraan dengan menggunakan teknik goal programming', *Jurnal Heuristic*, Vol. 15, No. 1: 1-16.
- [19] United Nations Environment Programme. (2009) *Common Carbon Metric for Measuring Energy Use and Reporting Greenhouse Gas Emissions from Building Operations*.
- [20] Williams, A. S. (2009) *Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach*. Champaign, IL: Illinois Sustainable Technology Center.