

Analisis dan Rekayasa Proses Produksi untuk Mengendalikan *Environmental Impact* Menggunakan Metode LCA

Moch. Esa Adin Bagaswara*, Yuswono Hadi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Ma Chung, Jl. Villa Puncak Tidar N-01, Malang 65651, INDONESIA
Telp. (0341) 550171; Fax. (0341) 550175

Article Info

Article history:

Received
3 July 2017

Accepted
1 November 2017

Keywords:

Production process
Environmental Impact
Life Cycle Assessment
(LCA)
Analytic Network Process
(ANP)

Abstract

MAY'S BAKERY is a SME engaged in the field of food. Small business scale makes this SME having less attention to the potential of environmental impact, especially that can be caused in the production process. The purpose of this research is to assess and control the environmental impact of bread production process, so that the researcher can design the proposal of alternative production process to choose the which one is the better process. This assessment and control is done by using the Life Cycle Assessment (LCA) method. Assessment using LCA is done with the help if SimaPro software. Based on the analysis results, it is known that the environmental impact value caused by the production process currently applied by SME is 3.3824536 Pt and the environmental impact value caused by the alternative production process scenario that can be applied at SME is 3.74539 Pt. So based on the environmental standpoint and LCA, the production process that currently applied at SME is better than the alternative production process scenario.

1. PENDAHULUAN

Environmental product merupakan produk yang sehat, hijau dan baik bagi manusia, hewan dan lingkungan, sehingga meninggalkan *environmental impact* sekecil mungkin di bumi (All Things Healing, 2011). Hal tersebut juga berlaku bagi badan usaha yang memproduksi barang berupa makanan. Bahan yang digunakan, kemasan produk dan proses produksi harus *environmental friendly* agar dapat mengeluarkan hasil akhir berupa *environmental product*. Industri, terutama bidang makanan, mulai memproduksi *environmental product*. Pada industri makanan ini terdapat badan usaha yang ada berupa perusahaan besar, pabrik atau usaha mikro kecil menengah (UMKM). Usaha yang tidak terlalu besar membuat UMKM dalam bidang makanan kurang memperhatikan *environmental impact* yang ditimbulkan, baik dari proses produksi, *packaging* dan lain-lain. UMKM sendiri kurang menyikapi serius hal-hal yang berhubungan dengan melindungi lingkungan. Jadi, kurang pemahaman UMKM tentang pengendalian *environmental impact* membuat isu-isu tentang kerusakan lingkungan dapat menjadi permasalahan yang cukup besar.

Salah satu yang dapat menghasilkan *environmental impact* adalah pada proses produksi. Proses produksi pasti akan membutuhkan energi dan sumber daya. Menurut IPCC dalam United Nations Environment Programme (2010), bahwa sektor terbesar dalam kontribusi emisi secara berurutan adalah suplai energi 26%, industri 19%, kehutanan 17%, agrikultur 14%, transportasi 13%, tempat tinggal dan bangunan komersial 8% dan limbah dan limbah air 3%. Zat emisi, seperti karbon dioksida, telah meningkat konsentrasinya di atmosfer sebesar 30% sejak zaman pra-industri dan terjadi *climate change* secara global yang dapat menyebabkan kematian pada temperatur yang tinggi hingga terjadinya perubahan pola penyebaran penyakit menular (WHO, 2008).

UMKM MAY'S BAKERY merupakan UMKM yang bergerak di bidang industri makanan, khususnya produksi makanan berupa roti dan kue. Pemenuhan permintaan produk setiap harinya membuat proses produksi kurang memperhatikan dampak terhadap lingkungan. Apabila proses produksi di UMKM MAY'S BAKERY tidak diawasi dengan baik, maka dapat menghasilkan *environmental impact* dalam jumlah yang sangat besar. Hasil *environmental impact* ini dapat menimbulkan kerugian terhadap kesehatan manusia, kelersatarian alam dan berkurangnya sumber daya alam. Pada kasus UMKM *bakery* ini,

*Corresponding author. Moch. Esa Adin Bagaswara
Email address: esaadin@gmail.com

proses produksi dilakukan setiap hari secara berkala sehingga *environmental impact* yang dihasilkan akan muncul setiap harinya.

Perlu dilakukan analisis *environmental impact* pada proses produksi ini dengan menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA) untuk mengetahui dan dapat mengendalikan *environmental impact*. LCA sendiri merupakan *tool* yang digunakan untuk melakukan pengendalian akan *environmental impact*. Setelah melakukan LCA, dilakukan pemilihan skenario alternatif untuk dilakukan perbandingan.

Berdasarkan masalah di atas, maka penggunaan dari LCA akan sesuai apabila diterapkan dalam mengendalikan *environmental impact* pada UMKM. Selain itu berdasarkan dari UU RI Nomor 20 Tahun 2008 dijelaskan, bahwa UMKM didasarkan pada asas berkelanjutan dan memiliki wawasan lingkungan. Hasil LCA yang didapatkan bisa menjadi acuan untuk UMKM dalam melakukan proses produksi yang menghasilkan *environmental product* ke depannya.

2. LANDASAN TEORI

2.1 *Environmental Impact*

Environmental impact adalah perubahan apa pun yang terjadi pada lingkungan, baik merugikan atau menguntungkan, seluruhnya atau sebagian disebabkan oleh aspek lingkungan (ISO 14001, 2004). Aspek lingkungan di sini dapat berupa aktivitas, produk atau jasa yang berhubungan langsung dengan lingkungan. *Environmental impact* inilah yang diteliti dan dievaluasi dalam *life cycle assessment*, terutama pada tahap *life cycle impact assessment*. Jadi memahami dan mengevaluasi *environmental impact* yang potensial untuk *product system* pada seluruh *life cycle* sebuah produk. Terdapat beberapa kategori *environmental impact* berdasarkan metode Eco-Indicator 99, yaitu *carcinogens*, *respiratory organics*, *respiratory inorganics*, *climate change*, *radioation*, *ozone layer*, *ecotoxicity*, *acidification/eutrophication*, *land use*, *minerals* dan *fossile fuels*.

2.2 *Life Cycle Assessment (LCA)*

LCA mempelajari *environmental aspects* dan *potential environmental impacts* terhadap *life cycle* sebuah produk, mulai dari penggunaan *raw material* dan sumber daya selama proses produksi, penggunaan, *end-of-life treatment*, *recycling* dan *disposal* (ISO 14040, 2006). Terdapat beberapa tahapan dalam melakukan LCA, yaitu menentukan *goal and scope*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment* dan *interpretation*. Berikut merupakan penjelasan untuk setiap tahapan dari LCA:

1. *Goal and Scope*

Pada tahap *goal and scope* terdapat beberapa elemen penting, yaitu *goal*, *product system*, *system boundaries*, *functional unit* dan *reference flow*. Terdapat hal-hal yang harus dijelaskan dan tidak boleh mengandung keambiguan, yaitu apa tujuan dari penelitian, alasan melaksanakan penelitian menggunakan LCA, untuk siapapenelitian LCA ini akan dilakukan dan apakah hasil akan dipublikasikan ke publik (ISO 14044, 2006). Pada *system boundaries* akan ditentukan modul spesifik mana yang dimasukkan dan dikeluarkan ketika permodelan sistem. Terdapat empat opsi dalam menentukan *system boundaries*, yaitu *cradle to grave*, *cradle to gate*, *gate to grave* dan *gate to gate*. *Functional unit* (FU) performa yang diukur berdasarkan *product system* akan digunakan sebagai *reference unit*. Pengukuran ini menguantifikasi fungsi dari sebuah sistem dalam *service* yang ditawarkan. FU sama untuk semua skenario, dengan *inventory flows* dan *impacts* untuk skenario dihitung per FU.

2. *Life Cycle Inventory*

Langkah kedua adalah melakukan analisis terhadap *inventory* dari *input/output* yang berhubungan dengan sistem yang sedang diteliti. Jadi, *life cycle inventory* merupakan deskripsi kuantitatif dari *flows* material, energi dan polutan dalam *system boundaries*. Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan *inventory analysis*:

- Mulai dengan *reference flows* (sesuatu yang benar-benar dibeli) sesuai dengan FU.
- Pada setiap unit proses, temukan *input* (*quantified intermediary flows*) dan emisi (*elementary flows*).
- Membuat data dalam bentuk *flowchart* atau tabel.
- Menghitung emisi untuk setiap unit proses dengan mengalikan jumlah dari setiap unit proses per FU dengan faktor emisi/ekstraksi.
- Menghitung total agregat emisi/ekstraksi.

3. *Life Cycle Impact Assessment*

Langkah selanjutnya yang ketiga adalah melakukan penilaian *impact* yang dihasilkan dari *inventory* yang digunakan dalam sistem yang sedang diteliti. Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan *impact assessment*:

1. Klasifikasi

Pada langkah ini, harus menentukan terlebih dahulu *midpoint impact categories* untuk tipe masalah lingkungan yang diidentifikasi. Emisi kemudian diklasifikasi ke dalam *midpoint categories* yang relevan dengan efek mereka.

2. *Midpoint characterization*
Inventory flows, emisi atau ekstraksi dikalikan dengan faktor-faktor ini dan kemudian dijumlah dengan setiap *midpoint category* untuk menghasilkan *midpoint score*.

$$S_m^{midpoint} = \sum_i (CF_{m,i}^{midpoint} u_i) \quad (1)$$

3. *Damage characterization*
Midpoint impact score dari sebuah kategori dikalikan dengan *midpoint-to-damage characterization factor* (MDF), yang mengestimasi *damage* pada *area of protection d* per unit dari *midpoint reference substance* kategori *m*.

$$S_d^{damage} = \sum_m MDF_{d,m} \times S_m^{midpoint} \quad (2)$$

Selain tiga tahap di atas terdapat tahap opsional yang dapat dilakukan setelah *damage characterization*, yaitu tahap *normalization*, *grouping* dan *weighting*.

1. *Normalization*
Langkah normalisasi ini mengungkapkan *impact* per FU relatif terhadap total *impact* dalam kategori tertentu untuk lebih memahami besarnya kerusakan.

$$S_{d-normalized}^{damage} = \frac{S_d^{damage}}{N_d} \quad (3)$$

2. *Grouping*
Grouping adalah proses kualitatif atau semi kuantitatif yang membantu memprioritaskan hasil dengan mengurutkan dan bisa diselesaikan dalam beberapa cara. Prosedur kedua ini berdasarkan pada pilihan yang mencerminkan kepentingan yang diberikan oleh masyarakat atau pengguna untuk kategori tertentu.

3. *Weighting*
Users menginginkan *single score* untuk setiap skenario, daripada *multiple score* untuk setiap skenario, setiap *midpoint* atau *damage category*.

$$S_{weighted} = \sum_d W_d \times S_d^{damage} \quad (4)$$

4. *Interpretation*
Tujuan dari interpretasi ini adalah untuk mengidentifikasi tahap *life cycle* yang pada keadaan tertentu dapat mengurangi *environmental impact* pada sistem atau produk dan menganalisis hal tidak pasti yang terlibat.

2.3 SimaPro

SimaPro adalah alat/software profesional yang diperlukan untuk mengumpulkan, menganalisis dan memonitor data performa *sustainability* pada produk dan jasa sebuah perusahaan (PRE, 2015). SimaPro membantu secara efektif dalam menerapkan keahlian LCA, membantu pengambilan keputusan yang kuat, mengubah *life-cycle* sebuah produk menjadi lebih baik dan meningkatkan dampak positif pada perusahaan.

2.4 Analytic Network Process (ANP)

Analytic network process (ANP) adalah metode yang digunakan untuk menangani interkoneksi (ketergantungan dan *feedback*) antar kriteria sebuah struktur yang kompleks dalam pengambilan keputusan. Banyak masalah pengambilan keputusan yang tidak dapat disusun secara hierarki karena melibatkan interaksi dan ketergantungan elemen dengan tingkat tinggi pada elemen-tingkat yang lebih rendah (Saaty dan Vargas, 2013). Berikut merupakan langkah dalam pembuatan ANP (Effendi, 2016):

1. Mendefinisikan masalah dan konstruksi model.
Masalah didefinisikan dan distrukturkan ke dalam komponen-komponen penting. Alternatif dan kriteria yang dianggap relevan distrukturkan. Elemen tersebut ditentukan hubungannya.
2. Membentuk matriks perbandingan berpasangan.
Pada ANP diasumsikan pengambilan keputusan harus membuat perbandingan kepentingan antara dua pasangan atribut, dari tingkat kepentingan yang paling tinggi ke kepentingan yang lebih rendah. Perbandingan antara dua pasangan ini disesuaikan dengan hubungan dari antar atribut tersebut.
3. Melakukan perhitungan rasio konsistensi.
Rasio konsistensi (CR) memberikan suatu penilaian numerik mengenai bagaimana konsistensi suatu evaluasi. Hal ini disebabkan dalam penilaian proses terdapat kemungkinan masalah pada kelengkapan atau konsistensi dari perbandingan berpasangan.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Rasio konsistensi diperoleh dengan melakukan perbandingan indeks konsistensi dengan satu nilai yang sesuai dari bilangan indeks konsistensi acak (RI).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

Apabila nilai CR kurang dari 0,1 maka hasil perhitungan dapat diterima. Namun ketika CR tidak kurang dari 0,1 maka masalah perlu ditemukan dan dilakukan penilaian ulang.

4. Membuat *supermatrix*. ANP menggunakan *supermatrix* untuk memberikan resolusi pengaruh ketergantungan antara kelompok dari hierarki jaringan keputusan. *Supermatrix* ini terdiri dari beberapa sub matriks yang disusun dari set hubungan antara elemen yang diturunkan dari perbandingan berpasangan dengan kriteria kontrol tertentu dan disusun secara vertikal-horizontal sesuai dengan komponen dalam *supermatrix*.

2.5 Super Decisions

SuperDecisions adalah satu-satunya *software* edukasi gratis yang mengimplementasikan metode ANP dan dikembangkan oleh tim yang menciptakan metode tersebut, Thomas Saaty (Creative Decisions Foundation, 2005). SuperDecisions digunakan untuk mengambil keputusan dengan ketergantungan dan *feedback*. *Software* ini menyediakan *tools* untuk membuat dan mengelola model ANP, memasukkan penilaian, mendapatkan hasil dan melakukan analisis sensitivitas pada hasil.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Identifikasi Masalah

Melakukan pengamatan awal dan mencari tahu apa masalah yang terjadi di UMKM. UMKM MAY'S BAKERY merupakan UMKM yang bergerak pada bidang makanan, terutama roti dan kue. Proses produksi setiap harinya dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dari pelanggan UMKM. Salah satu masalah yang terdapat di UMKM MAY'S BAKERY ini adalah proses produksi yang belum memperhatikan *environmental impact* yang dihasilkan, sehingga berpotensi untuk merusak lingkungan. Selain itu identifikasi juga dilakukan untuk menghasilkan *environmental product* yang bisa menjadi nilai tambah bagi UMKM.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan hanya berasal dari data primer. Data primer dikumpulkan dengan cara observasi, wawancara, *brainstorming* dan implementasi. Pengumpulan data ini dilakukan untuk mengetahui sistem, penggunaan *material* dan energi dari proses produksi roti di UMKM MAY'S BAKERY. Jadi, perlu melakukan identifikasi pada seluruh komponen UMKM. Selain itu pengumpulan data ini dapat menyimpulkan *life cycle* dari proses produksi di UMKM MAY'S BAKERY.

3.3 Penilaian Skenario Proses Produksi Saat Ini

Pada proses produksi saat ini di UMKM dilakukan perhitungan dan penilaian terhadap *environmental impact* yang dihasilkan. Penilaian ini dilakukan dengan menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA). Tahap-tahap yang dilakukan

sama seperti yang dijelaskan sebelumnya, yaitu *goal and scope*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA) dan *interpretation*.

3.4 Penyusunan dan Pemilihan Skenario Alternatif

Pada tahap ini dilakukan penyusunan skenario proses produksi alternatif berdasarkan dari hasil LCA. Penyusunan skenario tersebut dilakukan dengan cara melakukan *brainstorming* dengan pemilik dari pihak UMKM berdasarkan hasil dari SimaPro. Apabila telah didapatkan skenario proses produksi alternatifnya, maka selanjutnya dapat membuat struktur *analytic network process* (ANP). ANP ini digunakan untuk membantu menentukan alternatif yang akan dipilih sebagai perbandingan.

3.5 Penilaian Skenario Proses Produksi Alternatif

Pada proses produksi saat ini di UMKM dilakukan perhitungan dan penilaian terhadap *environmental impact* yang dihasilkan. Penilaian ini dilakukan dengan menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA). Penilaian LCA ini dilakukan sesuai dengan langkah yang sebelumnya telah dijelaskan. LCA kedua ini dilakukan untuk menilai skenario proses produksi alternatif yang telah ditentukan. LCA ini dilakukan dengan tetap mengacu pada *goal and scope* yang sama di awal. Hal ini agar tujuan dari LCA kedua sama dengan LCA awal yang telah dilakukan sebelumnya.

3.6 Analisis dan Hasil

Penjelasan analisis dan rekomendasi skenario ini akan dijelaskan sedetail dan semudah mungkin agar pemilik dari UMKM dapat memahami dan mengendalikan *environmental impact*. Hasil LCA proses produksi lama akan dibandingkan dengan hasil LCA skenario alternatif yang telah dirancang dan akan dilakukan analisis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Produksi Roti

Berdasarkan dari wawancara dengan pihak UMKM, terdapat *life cycle* dari produksi roti di UMKM ini. Proses produksi merupakan inti kehidupan dari UMKM MAY'S BAKERY. Berikut merupakan penjelasan mengenai setiap tahapan proses produksi roti di UMKM:

1. *Preparation*
2. *Mixing*
3. *Primary fermentation*
4. *Pre-shape*
5. *Bench rest*
6. *Final shape*
7. *Final fermentation*
8. *Baking*
9. *Cooling*
10. *Packaging*

4.2 Life Cycle Assessment Awal

Life cycle assessment (LCA) yang pertama akan dilakukan terhadap skenario proses produksi yang pada saat ini diterapkan di UMKM. Penilaian menggunakan metode LCA ini akan dilakukan dengan bantuan software SimaPro.

4.2.1 Goal and Scope

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai dan mengendalikan environmental impact dari proses produksi roti UMKM MAY'S BAKERY, sehingga dapat merancang usulan proses produksi alternatif untuk memilih proses produksi mana yang terbaik. System boundaries pada penelitian ini adalah gate to gate, yaitu penelitian hanya akan difokuskan pada penilaian dan rekayasa pada proses produksi roti.

Pada Gambar 1 terdapat tahapan proses produksi yang dibagi dua, yaitu memiliki background berwarna biru dan putih. Proses produksi berwarna biru merupakan proses produksi yang masuk dalam system boundaries yang akan diteliti, sedangkan untuk warna putih tidak akan dimasukkan ke dalam system boundaries. Functional unit yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan baku tepung terigu sebanyak 5 Kg. Bahan bau ini dapat menghasilkan roti kurang lebih sebanyak 200 buah dengan berat setiap buahnya sebesar 50 gr. Reference flow yang termasuk dalam penelitian ini adalah penggunaan listrik dan LPG.

4.2.2 Life Cycle Inventory

Berdasarkan system boundaries yang telah ditentukan, Terdapat tiga tahapan proses produksi yang akan diteliti menggunakan LCA, yaitu mixing process, final fermentation/proofing dan baking. Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil perhitungan life cycle inventory pada proses produksi.

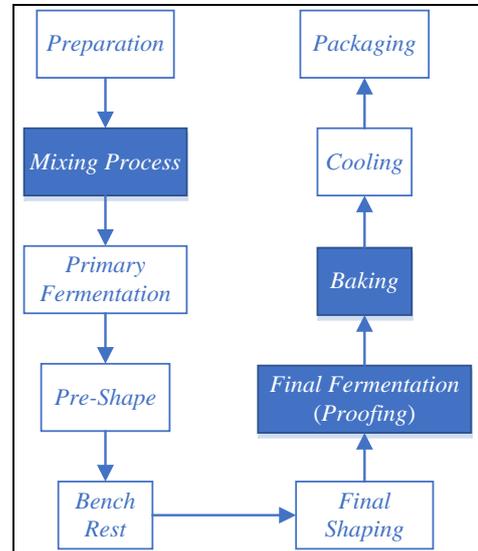
4.2.3 Life Cycle Impact Assessment

Pada tahap ini, penilaian dilakukan terhadap impact yang disebabkan dari masing-masing proses produksi yang telah ditentukan pada life cycle inventory. Penilaian dalam life cycle impact assessment ini menggunakan metode Eco-Indicator 99.

1. Characterization

Pada tahap ini akan dilakukan karakterisasi nilai-nilai dari life cycle inventory sebelumnya ke dalam beberapa environmental damage category yang ada pada metode Eco-Indicator 99. Nilai impact category yang ada dikelompokkan ke dalam tiga damage category. Pada damage category human health terdapat beberapa impact category, yaitu carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, climate change radiation dan ozone layer. Lalu pada damage category ecosystem quality terdapat

impact category ecotoxicity, acidification /eutrophication dan land use. Kemudian yang terakhir pada damage category resources terdapat impact category minerals dan fossil fuels.



Gambar 1. System boundaries proses produksi

Tabel 1. Life cycle inventory pada proses produksi

Proses	Nama	Functional Unit	Satuan
Mixing	Tepung	5	Kg
	Gula	1	Kg
	Ragi	75	gr
	Garam	75	gr
	Mentega	500	gr
	Air	1,5	Kg
	Susu	200	gr
Proofing	Telur	120	gr
	Listrik	1,1	Kwh
Baking	Listrik	1,872	Kwh
	LPG	1,285	Kg

Pada Tabel 2 terdapat beberapa satuan seperti, DALY, PDF*m2yr dan MJ surplus. Disability Adjusted Life Years (DALY) merupakan satuan untuk damage category human health yang memiliki arti jumlah tahun untuk kehidupan yang hilang/kehidupan yang cacat. Sedangkan Potentially Disappear Fraction (PDF*m2yr) merupakan satuan untuk damage category ecosystem quality yang memiliki arti hilangnya spesies (hewan/tumbuhan) pada area per meter

persegi dalam satu tahun. MJ surplus ini merupakan satuan untuk *damage category resources* yang memiliki arti surplus energi yang dibutuhkan untuk ekstraksi mineral dan bahan bakar fosil di masa

depan. Pada Gambar 2 terdapat grafik untuk lebih memudahkan dalam membaca dan memahami nilai pada Tabel 2.

Tabel 2.

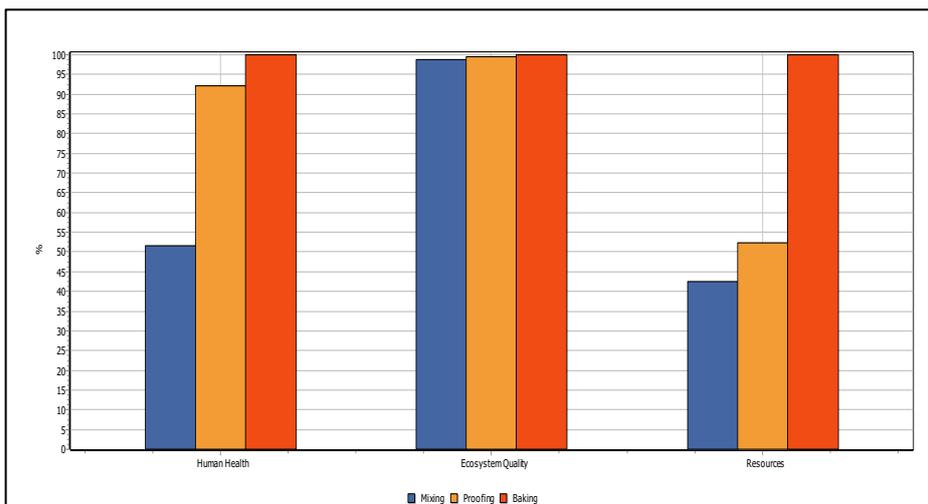
Nilai *characterization damage category* pada setiap tahap proses produksi

<i>Damage category</i>	Unit	<i>Mixing</i>	<i>Proofing</i>	<i>Baking</i>
<i>Human Health</i>	DALY	2,44E-05	4,34E-05	4,72E-05
<i>Ecosystem Quality</i>	PDF*m2yr	12,078129	12,145859	12,220368
<i>Resources</i>	MJ surplus	4,6714982	5,7401065	10,962615

Tabel 3.

Nilai perhitungan *normalization* pada setiap tahap proses produksi

<i>Damage category</i>	Unit	<i>Mixing</i>	<i>Proofing</i>	<i>Baking</i>
<i>Human Health</i>		0,002756584	0,004913883	0,005339956
<i>Ecosystem Quality</i>		0,002111257	0,002123096	0,00213612
<i>Resources</i>		0,000835264	0,001026331	0,001960116



Gambar 2.

Grafik *damage category* pada setiap tahap proses produksi

2. *Normalization*

Pada penilaian *normalization* ini, nilai *impact* dari proses produksi akan dinormalisasikan. Hal ini dilakukan dengan menyamakan berbagai macam satuan pada masing-masing *impact category* menjadi satu satuan yang sama. Sehingga nilai *impact* dari masing-masing *impact category* dapat dianggap sebanding. Hal ini dilakukan dengan cara mengalikan nilai pada tahap *characterization* dengan nilai normalisasi dari metode Eco-Indicator 99. Hasil akhir dari

penilaian *normalization* didapatkan nilai dengan satuan *person equivalent* (PE), seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3. Berikut merupakan contoh perhitungan menggunakan Rumus 3:

$$S_{d-normalized}^{damage} = \frac{S_d^{damage}}{N_d}$$

$$S_{d-normalized}^{damage} = \frac{2,44 \times 10^{-5}}{8,83 \times 10^{-3}}$$

$$S_{d-normalized}^{damage} = 0,00275658$$

3. *Weighting/single score*

Pada penilaian *weighting* ini, nilai *impact* yang telah didapatkan dari proses *normalization* akan dikalikan dengan faktor bobot yang mengekspresikan kepentingan relatif untuk masing-masing *damage category*. Faktor bobot pada metode Eco-Indicator 99 sebesar 40% untuk *human health*, 40% untuk *ecosystem quality* dan 20% untuk *resources*. Hasil perhitungan yang didapatkan berupa satuan PT (*point*). Hasil *weighting/single score* terdapat pada Tabel 4. Gambar 3 merupakan nilai *single score* untuk masing-masing proses. Berikut merupakan contoh perhitungan menggunakan Rumus 4:

$$S_{weighted} = w_d \times S_d^{damage}$$

$$S_{weighted} = 400 \times 0,002756584$$

$$S_{weighted} = 1,102634 Pt$$

4.2.4 *Interpretation*

Pada tahap LCIAdapat dilihat bahwa nilai akhir terbagi menjadi tiga *damage category*, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Hal ini berarti apabila kehidupan seseorang yang seharusnya bisa mencapai usia hingga 70 tahun harus rela berkurang usianya sebanyak $2,44 \times 10^{-5}$ tahun atau harus rela mengalami cacat dalam sisa $2,44 \times 10^{-5}$ tahun dalam hidupnya. Lalu kontribusi terhadap *ecosystem quality* berasal dari

ecotoxicity,acidification/eutrophication dan *land use*. Hal ini berarti pada area per meter persegi dalam satu tahun dapat terjadi kepunahan terhadap 12,078129spesies hewan atau tumbuhan. Kemudian yang terakhir kontribusi terhadap *damage category resources* berasal dari *minerals* dan *fossil fuels*. Hal ini berarti sebanyak 4,6714982 MJ Surplus adalah kelebihan energi yang digunakan pada saat ini yang seharusnya dapat digunakan untuk kepentingan di masa depan.

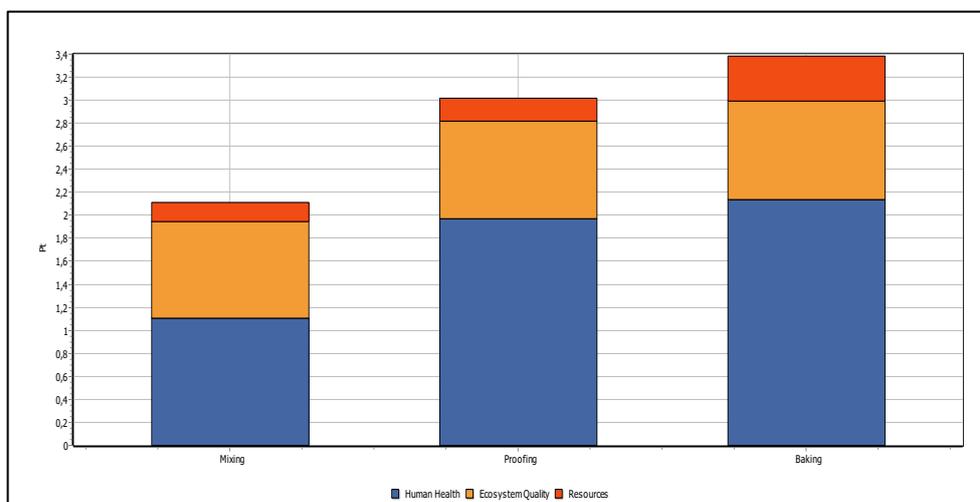
4.3 *Pemilihan Skenario Alternatif Menggunakan ANP*

Berdasarkan dari hasil SimaPro yang telah dilakukan terhadap proses produksi yang saat ini digunakan oleh UMKM MAY’S BAKERY, dilakukan *brainstorming* dengan pihak UMKM dalam menyusun skenario alternatif. Hasil dari *brainstorming* ini adalah mendapatkan tiga skenario alternatif yang dapat dinilai. Skenario alternatif proses produksi 1 adalah mengganti penggunaan LPG dalam proses *baking* dengan menggunakan biogas. Skenario alternatif proses produksi 2 adalah proses *final fermentation /proofing* yang dilakukan tanpa bantuan mesin *proofer*. Skenario alternatif proses produksi 3 adalah mengganti oven gas pada proses *baking* dengan *rotary oven*.

Tabel 4.

Nilai perhitungan *weighting* pada setiap proses produksi

<i>Damage category</i>	Unit	<i>Mixing</i>	<i>Proofing</i>	<i>Baking</i>
Total	Pt	2,114189	3,020058	3,3824536
<i>Human Health</i>	Pt	1,102634	1,965553	2,1359824
<i>Ecosystem Quality</i>	Pt	0,844503	0,849238	0,85444814
<i>Resources</i>	Pt	0,167053	0,205266	0,39202313

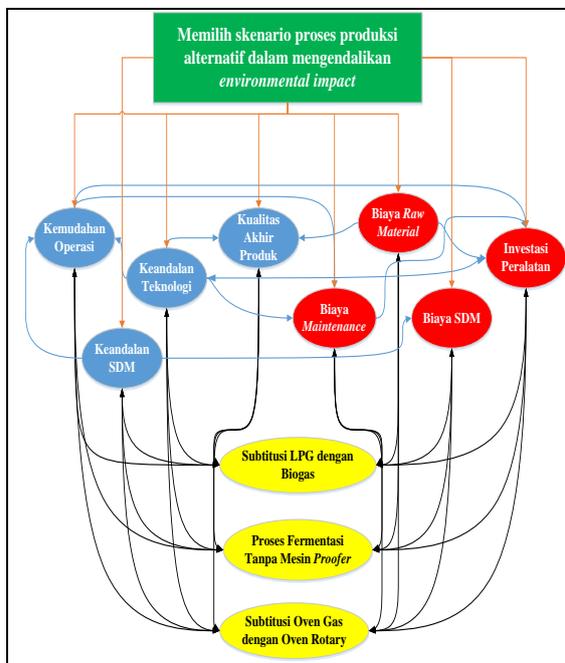


Gambar 3.

Grafik *single score* pada setiap proses produksi

4.3.1 Pembuatan struktur Analytic Network Process

Pada pembuatan struktur ANP dibutuhkan tujuan, alternatif, kriteria dan sub kriteria. Apabila alternatif telah ditentukan, Selanjutnya adalah menentukan kriteria dan sub kriteria. Pada bagian kriteria dibagi menjadi dua, yaitu *benefits* dan *costs*. Pada kriteria *benefits* terdapat beberapa sub kriteria, yaitu kemudahan operasi, keandalan sumber daya manusia (SDM), kualitas akhir produk dan keandalan teknologi. Sedangkan pada kriteria *costs* terdapat biaya *raw material*, biaya *maintenance*, biaya SDM dan investasi peralatan. Struktur *network* dirancang seperti pada Gambar 4. *Network* ini dibuat berdasarkan alternatif, kriteria dan sub kriteria yang telah ditentukan.



Gambar 4. Struktur *network* pada sub kriteria dan alternatif

4.3.2 Pengolahan Data Analytic Network Process

Setelah struktur dari ANP telah dibuat, maka selanjutnya adalah membuat kuesioner untuk memberikan nilai kepentingan perbandingan berpasangan sesuai dengan hubungan *network* yang dibuat. Nilai perbandingan yang didapatkan dari hasil kuesioner dimasukkan ke dalam *software* SuperDecisions. Nilai perbandingan tersebut akan digunakan sebagai bobot dalam menentukan skenario alternatif dan akan diubah ke dalam bentuk matriks. Nilai dari perbandingan berpasangan tersebut akan dihitung terlebih dahulu nilai konsistensinya (CR) menggunakan Rumus 5 dan 6.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{4,219159 - 4}{4 - 1}$$

$$CI = 0,073053$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan CR, sebagai berikut:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0,073053}{0,89}$$

$$CR = 0,082082$$

Berdasarkan contoh perhitungan di atas, didapatkan nilai CR memiliki nilai kurang dari 10% (0,1). Jadi nilai tersebut dianggap konsisten dan tidak perlu melakukan penilaian ulang. Kemudian membuat super matriks yang terdiri dari *unweighted supermatrix*, *weighted supermatrix* dan *limit supermatrix*. Setelah semua super matriks telah selesai dibuat maka dapat ditentukan prioritas yang terbaik dalam pemilihan skenario alternatif. Pada skenario alternatif telah didapatkan prioritas secara *overall*, seperti pada Tabel 5, dengan menyesuaikan dengan bobot dari kriteria dan sub kriteria yang telah ditentukan. Maka skenario alternatif yang terpilih adalah skenario substitusi oven gas dengan oven *rotary* dengan persentase sebesar 56,0109%.

Tabel 5. Hasil *overall priorities* untuk skenario alternatif

Alternatives	Priorities Normalized By Cluster	Priorities From Limiting
Proses Fermentasi Tanpa Mesin <i>Proofer</i>	0,174668	0,069508
Substitusi LPG dengan Biogas	0,265223	0,105544
Substitusi Oven Gas dengan Oven Rotary	0,560109	0,222892

4.4 Life Cycle Assessment Skenario Alternatif

Life cycle assessment (LCA) yang kedua akan dilakukan terhadap skenario proses produksi alternatif yang telah didapatkan melalui ANP pada tahap sebelumnya. Skenario alternatif yang didapatkan adalah substitusi oven gas dengan oven *rotary* pada proses *baking*.

4.4.1 Goal and Scope Skenario Alternatif

Pada tahap *goalscope* skenario alternatif ini, tujuan, *systemboundaries*, *functionalunit* dan *referenceflow* tetap sama dengan yang telah ditentukan pada *lifecycleassessment* proses produksi awal.

4.4.2 Life Cycle Inventory Skenario Alternatif

Pada tahap ini, *inventory* proses *mixing* dan *proofing* pada *life cycle assessment* proses produksi awal tetap sama. Namun pada proses *baking* terdapat perbedaan pada penggunaan listrik dan

LPG. Pada tabel 7 dapat dilihat *input* dan *output* yang ada pada proses *baking* skenario alternatif.

4.4.3 Life Cycle Impact Assessment Skenario Alternatif

Pada tahap ini, penilaian dilakukan terhadap *impact* yang disebabkan dari proses *baking* saja. Hal ini karena pada skenario alternatif hanya terdapat perbedaan di proses *baking*. Penilaian *life cycle impact assessment* pada proses *baking* ini tetap menggunakan metode Eco-Indicator 99 dan tahap yang sama, yaitu *characterization*, *normalization* dan *weighting/single score*. Nilai LCIA ini akan dibandingkan pada sub bab analisis.

4.5 Analisis

Skenario awal dengan skenario alternatif hanya memiliki perbedaan pada tahap proses *baking*. Oleh karena itu perbandingan hanya akan difokuskan pada perbandingan tahap proses produksi *baking*. Pada skenario awal dilakukan proses produksi dengan menggunakan oven gas. Lalu pada skenario alternatif, penggunaan dari oven gas digantikan dengan penggunaan oven *rotary*. Pada Tabel 7 terdapat perbandingan nilai *weighting* antara *baking* skenario awal dengan *baking* skenario alternatif. Namun pada tahap ini tidak dapat

ditentukan energi atau material apa yang berkontribusi terhadap peningkatan nilai *environmental impact*.

Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat nilai kontribusi *environmental impact* dari masing-masing energi dan material. Penggunaan LPG mengalami penurunan *environmental impact* sebesar 0,04992 Pt, namun pada penggunaan listrik terjadi peningkatan nilai *environmental impact* sebesar 0,407858 Pt. Peningkatan nilai *impact* pada penggunaan listrik ini disebabkan dari penggunaan listrik pada skenario alternatif yang lebih besar daripada skenario awal, yaitu, 0,1872 Kwh dibandingkan dengan 0,75 Kwh. Penurunan nilai *impact* pada penggunaan LPG ini terjadi karena penggunaan LPG pada skenario awal sebesar 1,285 Kg dan pada skenario alternatif menurun menjadi sebesar 1,029 Kg.

Sehingga dapat dikatakan bahwa penurunan nilai *impact* yang terjadi pada penggunaan LPG tidak sebanding dengan besarnya peningkatan nilai *impact* pada penggunaan listrik. Maka berdasarkan dari sudut pandang lingkungan dan *life cycle assessment*, didapatkan bahwa skenario proses produksi awal masih lebih baik dibandingkan dengan skenario proses produksi alternatif.

Tabel 6:

Perbandingan *weighting/single score* pada kedua skenario

<i>Damage category</i>	Unit	<i>Baking</i> (Skenario Awal)	<i>Baking</i> (Skenario Alternatif)
Total	Pt	3,3824536	3,74539
<i>Human Health</i>	Pt	2,1359824	2,516341
<i>Ecosystem Quality</i>	Pt	0,85444814	0,855689
<i>Resources</i>	Pt	0,39202313	0,37336

Tabel 7:

Perbandingan nilai kontribusi *impact* material dan energi pada kedua skenario

No	<i>Process</i>	Unit	Skenario Awal	Skenario Alternatif
	<i>Total of all processes</i>	Pt	8,5167006	8,879637
1	<i>Electricity, high voltage {ID}</i>	Pt	4,3388948	4,746753
2	<i>Bread wheat, from farm</i>	Pt	2,5810674	2,581067
3	<i>Grass, at dairy farm</i>	Pt	0,397145	0,397145
4	<i>Sugar beet, from farm</i>	Pt	0,37059619	0,370596
5	<i>Liquefied petroleum gas</i>	Pt	0,22673277	0,181811

5. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan adalah analisis dan rekayasa proses produksi untuk mengendalikan *environmental impact* menggunakan metode *life cycle assessment* (LCA) pada proses produksi UMKM MAY'S BAKERY. Penelitian ini melakukan penilaian terhadap *environmental*

impact pada skenario proses produksi saat ini dan membandingkan penilaian tersebut dengan skenario proses produksi alternatif untuk mengetahui proses produksi mana yang memiliki *environmental impact* paling rendah. Pada akhirnya *environmental impact* yang dihasilkan dari proses produksi awal adalah sebesar 2,114189 Pt (*mixing*), 3,020058 Pt (*proofing*) dan 3,382453 Pt (*baking*).

Nilai tersebut masing-masing memiliki kontribusi terhadap *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*.

Selanjutnya adalah menyusun skenario alternatif yang nantinya akan dibandingkan dengan skenario proses produksi awal. Penyusunan skenario alternatif ini dilakukan dengan menggunakan metode *analytic network process* (ANP). Prioritas yang dihasilkan dari pembuatan ANP adalah proses fermentasi tanpa mesin *proofers* (17,4668%), substitusi LPG dengan biogas (26,5223%) dan substitusi oven gas dengan oven *rotary* (56,0109%).

Lalu skenario alternatif yang telah didapat dari pembuatan ANP dinilai dengan menggunakan LCA lagi dengan tahap yang sama. Perbedaan nilai LCA hanya terdapat pada proses *baking* sehingga perbandingan hanya akan dilakukan pada proses *baking*. Perbedaan nilai LCA hanya terdapat pada proses *baking* sehingga perbandingan hanya akan dilakukan pada proses *baking*. Perbandingan dilakukan dan nilai dari skenario alternatif didapatkan lebih tinggi pada *damage category human health* dan *ecosystem quality*. Nilai *baking* pada skenario awal sebesar 3,3824536 Pt dan pada skenario akhir sebesar 3,74539 Pt. Sehingga dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai *environmental impact* pada skenario alternatif dan skenario awal yang ada sekarang masih memiliki *environmental impact* yang lebih baik dibanding skenario alternatif.

Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan ini, dapat diberikan beberapa saran untuk penelitian ini dan penelitian selanjutnya. Saran yang dapat diberikan adalah skenario proses produksi saat ini merupakan skenario yang terbaik untuk sementara sehingga layak untuk digunakan.

6. PENELITIAN LEBIH LANJUT

Berikut merupakan hal-hal yang dapat dipertimbangkan dalam melakukan penelitian lebih lanjut:

1. Penyusunan skenario alternatif lebih banyak dan variatif namun tetap harus sesuai dengan kebutuhan dan kesanggupan pihak UMKM.
2. Penelitian LCA menggunakan *software* SimaPro yang lebih baru agar *database* yang tersedia lebih lengkap.
3. Penelitian dilakukan dengan menambahkan metode *life cycle costing* (LCC) dan *eco-costing* untuk lebih mengetahui *impact* terhadap keuangan.

7. DAFTAR PUSTAKA

Berikut merupakan sumber referensi yang digunakan dalam penyusunan jurnal:

1. All Things Healing. (2011). *Introduction Eco Products & Services*. (online) <http://www.allthingshealing.com/eco-products-definition.php#>. (Diakses: 13 November 2016)
2. Creative Decisions Foundation. (2005). *About Super Decisions*. (online) <http://www.superdecisions.com/about/> (Diakses: 19 Maret 2017)
3. Effendi, A. (2016) Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) dan Pendekatan Analytical Network Process (ANP) untuk Manajemen Lingkungan Pada PT. Charoen Pokphand. *Tugas Akhir*. Intitut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
4. ISO 14001. (2004) *Environmental Management System – Requirements with Guidance For Use*. Geneva: ISO
5. ISO 14040. (2006) *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. Geneva: ISO
6. ISO 14044. (2006) *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*. Geneva: ISO
7. PRe. (2015). *SimaPro LCA Software*. (online). <https://simapro.com/about/> (Diakses: 25 Januari 2017)
8. Saaty, T. L. & Vargas, L. G., (2013) *Decision Making with the Analytic Network Process, Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. 2nd edn. New York: Springer US.
9. United Nations Environment Programme. (2010). *Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials*. Nairobi: UNEP.
10. WHO. (2008). *10 Facts on Climate Change and Health*. (online): http://www.who.int/features/factfiles/climate_change/facts/en/ (Diakses: 18 April 2017).