

Penerapan produksi bersih dan penilaian daur hidup industri kecil menengah pengolahan kopi CV. Gunung Betung

[Cleaner production implementation and life cycle assessment in a small and medium coffee industry CV Gunung Betung]

Febilian Adiwinata¹, Suprihatin², dan Mulyorini Rahayuningsih²

¹ Program Studi Pascasarjana Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

² Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

* Email korespondensi : adiwinata.febilian@gmail.com

Diterima : 19 Januari 2021, Disetujui : 8 Juli 2021, DOI : <http://dx.doi.org/10.23960/jthp.v26i2.99-108>

ABSTRACT

Coffee is one of Indonesia's leading commodity that has the potential to be developed for agro-industry. High coffee production has encouraged the establishment of a small and medium coffee industry. The purpose of this study is to analyze possible strategies for implementing cleaner production and evaluate the impact on the environment using Life Cycle Assessment (LCA) method with a gate to gate scope. The stages of cleaner production research used quick scan techniques, source identification, cause evaluation and option generation implementation. LCA research stages with the determination of the objectives and scope of research, inventory analysis, environmental impact assessment and implementation of improvements. Greenhouse gases (GHG) emission was assessed as an environmental impact parameter. The results showed the alternative potential for cleaner production that was applied the manufacture of drying domes (Payback Period/PBP) 3.18 months with an investment of Rp. 2,285,000), procurement of generator machines (PBP 1.16 months with an investment of Rp. 5,860,000), making air circulation in roasting room (PBP 0.07 months with an investment of Rp. 1,268,000), making of solid waste composting reactor (PBP 2.18 months with an investment of Rp. 3,440,000) and addition packing equipment (PBP 0.45 month with an investment of Rp. 3.057.000). The results of the LCA analysis show that 1,000 Kg of dry-processed coffee requires energy of 869.92 MJ and produces GHG emissions of 95.58 Kg CO₂eq / ton coffee fruits or 0.42Kg CO₂eq / Kg coffee powder equal to 2.389Kg CO₂eq/month and 28.674Kg CO₂eq/year.

Key words : environmental impact assessment, life cycle assessment, small coffee industries

ABSTRAK

Kopi merupakan komoditas agroindustri unggulan Indonesia yang potensial untuk dikembangkan. Produksi kopi yang tinggi mendorong berdirinya industri pengolahan kopi skala kecil dan menengah. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kemungkinan strategi penerapan produksi bersih dan mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) lingkup *gate to gate*. Tahapan penelitian produksi bersih dengan teknik *quick scan* yaitu identifikasi akar masalah, evaluasi penyebab dan penerapan opsi perbaikan. Tahapan LCA adalah penetapan tujuan serta cakupan kegiatan, analisis inventori, penilaian dampak lingkungan dan penerapan perbaikan. Dampak lingkungan yang dianalisis adalah emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Hasil penelitian menunjukkan potensi alternatif produksi bersih yang diterapkan adalah pembuatan *dome* penjemuran (PBP 3,18 bulan dan investasi Rp. 2.285.000), pengadaan mesin genset (PBP 1,16 bulan dan investasi Rp. 5.860.000), pembuatan sirkulasi udara ruang *roasting* (PBP 0,07 bulan dan investasi Rp. 1.268.000), pembuatan reaktor pengomposan limbah padat (PBP 2,18 bulan dan investasi Rp. 3.440.000) dan penambahan alat *packing* (PBP 0,45 bulan dan investasi Rp. 3.057.000). Hasil analisis LCA menunjukkan bahwa 1.000 Kg buah kopi yang diolah secara kering membutuhkan energi sebesar 869,92 MJ dan menghasilkan emisi GRK sebesar 95,58 Kg CO₂eq / ton buah kopi atau 0,42Kg CO₂eq/ kg kopi bubuk yang setara dengan 2,389Kg CO₂eq / bulan dan 28,674 Kg CO₂eq/ tahun.

Kata kunci : Industri kopi skala kecil, *life cycle assessment*, analisis dampak lingkungan

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara produsen kopi urutan ke empat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia (AEKI, 2014) namun sebagai konsumen berada pada urutan ketujuh (ICO, 2017). Data yang

dilaporkan oleh Ditjenbun (2019) menunjukkan luas area komoditas kopi di Indonesia sebesar 1,24 juta Ha dan total produksi sebesar 729,074 ribu ton per tahun. Provinsi penghasil kopi terbesar kedua di Indonesia adalah Provinsi Lampung yang memiliki luas area perkebunan kopi sebesar 157.682 Ha dengan total produksi sebesar 107.219 ton per tahun. Sedangkan total produksi di kota Bandar Lampung sebesar 231 ton per tahun (BPS, 2018).

Menurut Ledy et al. (2019), produksi kopi yang tinggi mendorong berdirinya Industri Kecil Menengah (IKM) pengolahan kopi, salah satu diantaranya adalah IKM pengolahan kopi CV. Gunung Betung. Produksi pengolahan kopi memberikan dampak negatif terhadap kualitas lingkungan. Menurut Diyarma & Bantacut (2019), IKM kopi dengan kapasitas bahan baku 1000 Kg mampu menghasilkan 500 Kg limbah padat. Sampai dengan saat ini belum ditemukan penelitian yang membahas analisis produksi bersih dan penilaian daur hidup Industri Kecil Menengah (IKM) pengolahan kopi di Bandar Lampung, sehingga dampak terhadap lingkungan yang ditimbulkan dari proses pengolahan kopi tersebut belum diketahui. Penerapan produksi bersih dapat menurunkan dampak lingkungan IKM pengolahan kopi sedangkan dampak lingkungan dari proses produksi IKM pengolahan kopi dapat dihitung dengan metode LCA (Diyarma & Bantacut, 2019).

Produksi bersih merupakan salah satu cara guna tercapainya peningkatan efisiensi proses produksi, penerapan teknik *recycle* dan *reuse*, peluang substitusi bahan baku yang ekonomis dan pengendalian sistem operasi serta prosedur kerja (Adiansyah et al., 2019). Menurut Sirait et al. (2019) tujuan produksi bersih untuk mengurangi terbentuknya produk samping atau bahan pencemar. Sedangkan menurut Hakim (2018), produksi bersih bertujuan untuk menghasilkan produk yang berkelanjutan dan tidak berbahaya. Menurut Nisa et al. (2016), penggunaan energi yang sesuai dari alternative penerapan produksi bersih mampu meminimalisir emisi.

Penilaian daur hidup adalah metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengukur siklus hidup suatu proses dari penerimaan bahan baku sampai menjadi produk (Diyarma & Bantacut, 2019), terdiri dari empat tahapan yaitu penetapan batasan, analisis ketersediaan, perhitungan dampak dan interpretasi hasil (De Marco et al., 2018). Metode penilaian daur hidup memberikan estimasi dampak yang dihasilkan dalam satu siklus hidup produk dan dapat diketahui tahapan mana yang memberikan dampak terbesar (Phrommarat, 2019). Hal ini akan menjadi informasi yang bermanfaat dalam pengembangan produk kopi Indonesia khususnya di Bandar Lampung secara komprehensif dengan menganalisis dan menghitung dampak lingkungan dan nilai emisinya. Tujuan penelitian ini menganalisis kemungkinan strategi penerapan produksi bersih dan mengevaluasi dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan menggunakan pendekatan LCA dengan lingkup *gate to gate*.

Bahan dan Metode

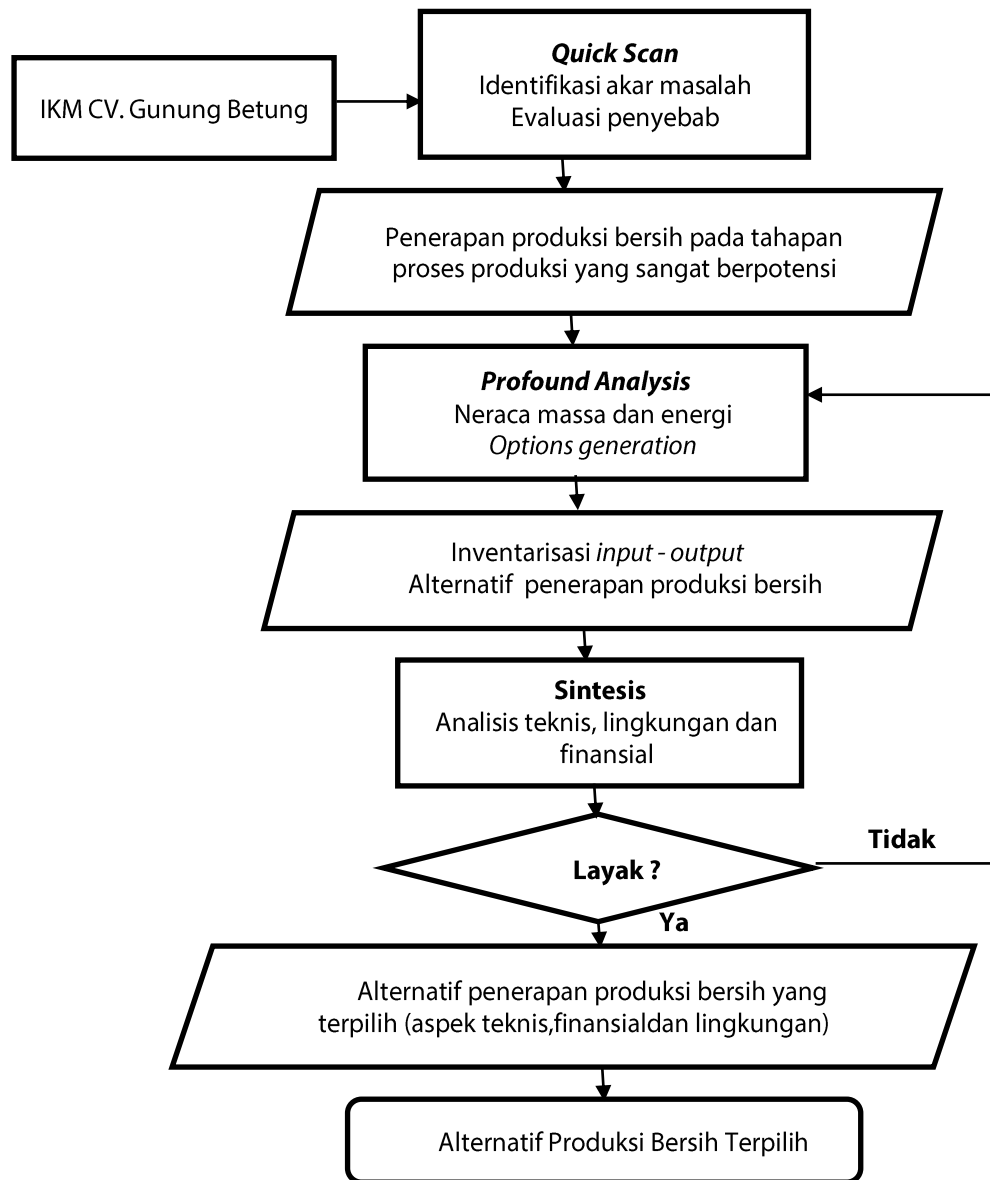
Metode Penelitian

Kajian produksi bersih pada penelitian ini dilakukan di Industri Kecil Menengah (IKM) kopi CV. Gunung Betung, Bandar Lampung dengan produk utama yang dihasilkan yaitu kopi bubuk robusta dari biji kopi pilihan.

Produksi Bersih (Cleaner Production)

Tahap kajian produksi bersih (Gambar 1), analisis pendahuluan/*quick scan* menghasilkan luaran berupa akar masalah terjadinya penurunan kualitas lingkungan, jumlah energi yang dibutuhkan dan limbah yang dihasilkan (Edowai & Tahoba, 2018). Metode *quick scan* berfokus kepada audit pengkajian suatu bagian proses produksi yang dinilai memiliki peluang besar untuk diterapkannya perbaikan (Fitriyanti, 2018) dari aspek teknis, aspek finansial dan aspek lingkungan sesuai dengan konsep produksi bersih (Sirait et al., 2019).

Analisis yang dilakukan berfokus pada lima komponen yaitu: bahan *input*, teknologi, proses produksi, dan *output* (produk serta limbah). Alternatif pilihan perbaikan yang akan dihasilkan berupa: substitusi *input*, pembaruan teknologi, *good housekeeping*, inovasi produk dan *on-sitereuse* (Fauziet al., 2018). Menurut Novita et al. (2018), penerapan konsep produksi bersih dapat memberikan manfaat kepada industri diantaranya ialah mencegah *over budget* biaya produksi, meminimalisir limbah, memaksimalkan produktivitas, efisiensi energi, penanganan limbah dan produk samping. Pemilihan alternatif produksi bersih didasarkan pada analisis teknis, lingkungan dan finansial. Metode standar yang digunakan dalam analisis finansial yaitu perhitungan *payback periode*(PBP) dengan kriteria waktu PBP dibawah satu tahun.



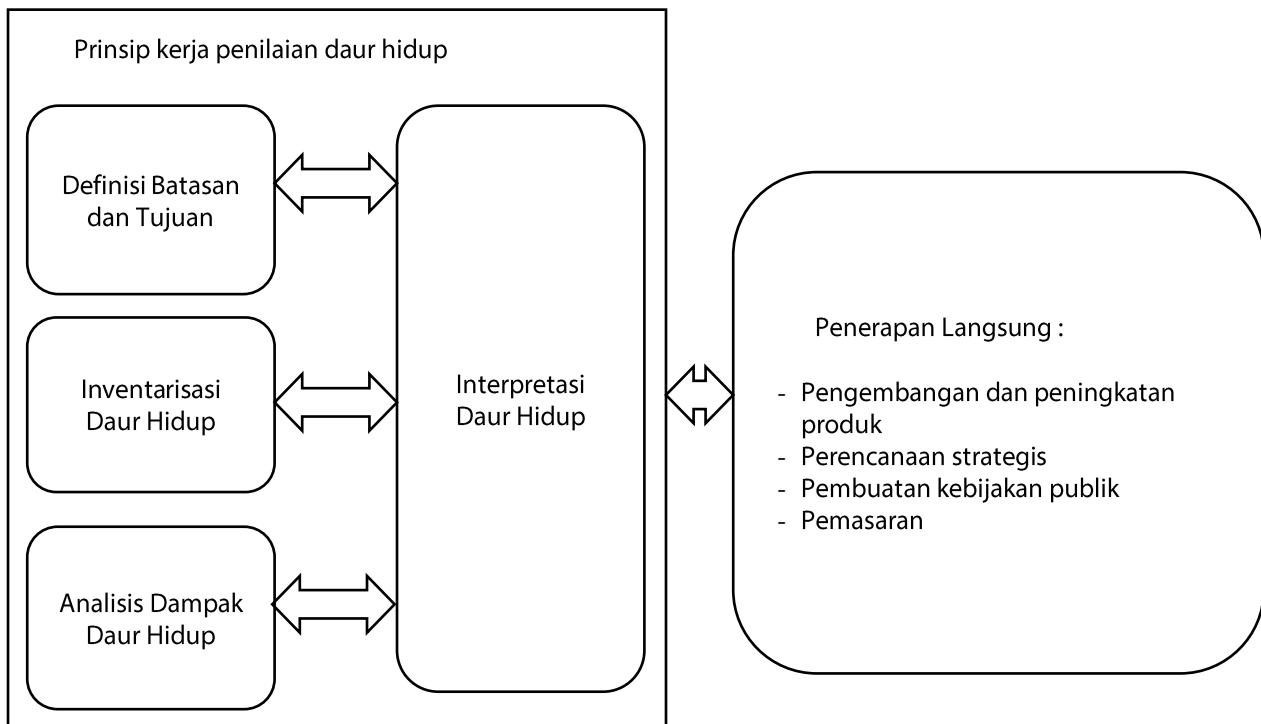
Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian *Cleaner Productionreuse* (Fauzi et al., 2018)

Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment)

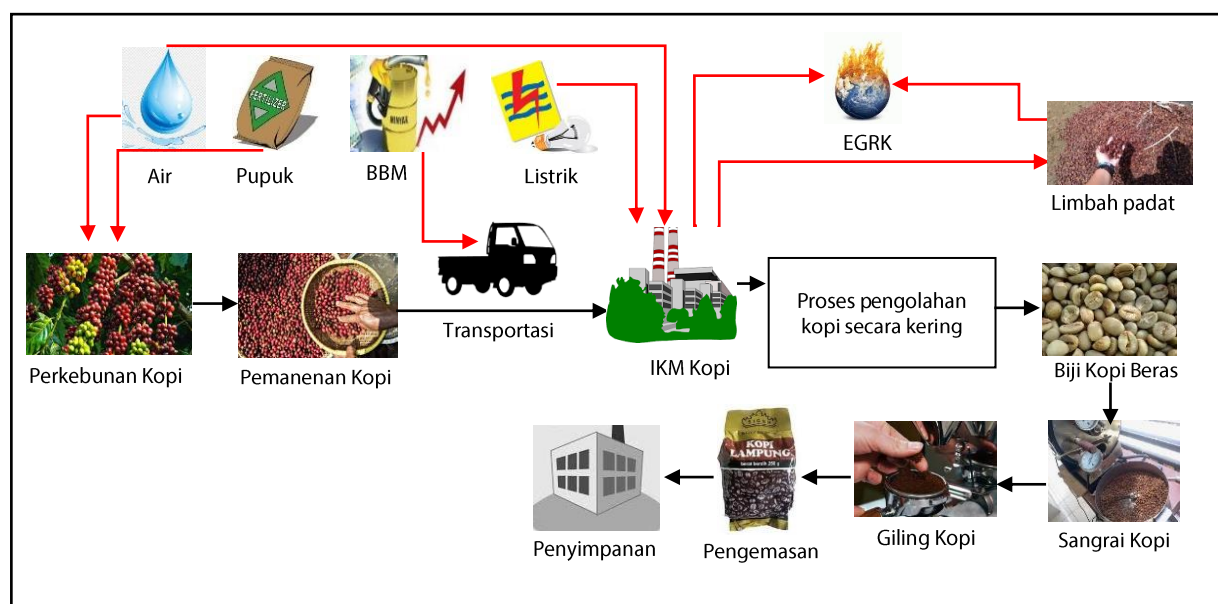
Penerapan prinsip kerja penilaian daur hidup (Gambar 2) mengacu pada prinsip ISO 14040:2006 yang terdiri dari empat tahap, yaitu penetapan batasan dan tujuan, inventarisasi *input* dan *output* (*life cycle inventory analysis*), penilaian dampak (*life cycle impact assessment*), dan interpretasi (*life cycle interpretation*) (Roy et al., 2019). Data hasil analisis LCA akan digunakan untuk menghitung dampak negatif terhadap lingkungan, optimalisasi penggunaan bahan baku pada unit kerja proses produksi

sehingga bisa memungkinkan untuk meningkatkan kinerja dalam perusahaan pengolahan kopi (Fadhil et al., 2017).

Analisis inventori merupakan salah satu tahapan LCA yang berisi data aliran bahan dan energi yang merepresentasikan *input* dan *output* dari daur hidup produk kopi (Diyarma & Bantacut, 2019). Data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer yang diperoleh dari observasi langsung di lapangan, dokumen catatan perusahaan, dan wawancara dengan pemilik industri. Data sekunder berupa jurnal penelitian terkait dan tesis yang telah dipublikasikan sebelumnya. Data lainnya diperoleh dari hasil perhitungan dengan beberapa asumsi. Data yang dibutuhkan pada analisis inventori LCA yaitu tahap pemanenan buah kopi, proses produksi kopi sampai penyimpanan produk di IKM (Maina, 2017). Batasan sistem proses penelitian tersaji dalam Gambar 3.



Gambar 2. Diagram alir prinsip kerja kajian metode LCA (ISO 2006)



Gambar 3. Batasan sistem proses penelitian LCA di IKM pengolahan kopi (Salomone, 2018)

Perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) menggunakan persamaan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006). Sebagai salah satu contoh perhitungan untuk emisi GRK dari penggunaan bahan bakar premium tersaji pada Rumus 1.

$$\text{Emisi CO}_2 (\text{premium}) = QF \times NK \times FE \quad \dots(1)$$

Keterangan :

QF = Konsumsi premium (Liter)

NK = Nilai kalor bersih (0,000041 TJ/Liter)

FE = Faktor emisi (69.300 CO₂ / TJ)

Penilaian Dampak Lingkungan (*Life Cycle Impact Assesment*)

Analisis inventori bertujuan untuk menganalisis atau mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas IKM pengolahan kopi (Siregar et al., 2019). Perhitungan analisis dampak tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan kontribusi dampaknya terhadap emisi GRK yang dianalisis berdasarkan kandungan CO₂, N₂O, dan CH₄ (Hassard et al., 2016). Menurut (Pramono & Sadmaka, 2018) emisi GRK terdiri daritiga jenis sumber gas yaitu N₂O, CH₄, dan CO₂ dari penggunaan bahan bakar fosil dan limbah. Menurut Nugraha et al. (2018) *Global Warming Potential* merupakan nilai yang relatif sama dengan CO₂, setiap 1 Kg gas metana (CH₄) memiliki nilai GWP sebesar 28 Kg CO₂eq dan gas nitrooksida (N₂O) memiliki nilai GWP sebesar 265 Kg CO₂eq.

Hasil dan Pembahasan

Alternatif Produksi Bersih yang Dapat Diterapkan

Secara umum CV. Gunung Betung memiliki beberapa alternatif guna mengatasi permasalahan yang ada, setelah dilakukan identifikasi dari setiap tahapan proses produksi, maka terpilih beberapa alternatif produksi bersih yang akan diterapkan. Tabel 1 menunjukkan potensi penerapan alternatif produksi bersih di IKM kopi CV. Gunung Betung dengan PBP dibawah satu tahun, serta *Input* dan *Output* proses produksi kopi secara kering CV. Gunung Betung disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Potensi penerapan produksi bersih yang terpilih

Potensi Produksi Bersih	Tujuan	Analisis Teknis	Analisis Lingkungan	Payback Period (PBP)
Pembuatan <i>dome</i> penjemuran buah kopi dengan <i>drying beds</i>	Mempercepat proses pengeringan dan mengurangi kerusakan buah kopi akibat hujan	Sedang	Mengurangi <i>reject</i> buah kopi & limbah padat	3,18 bulan Biaya : Rp. 2.285.000
Pengadaan mesin genset	Menggantikan suplai listrik jika (listrik PLN mati) agar proses produksi tetap berjalan	Sedang	Mengurangi kerusakan pada biji kopi akibat proses produksi yang tertunda	1,16 bulan Biaya : Rp. 5.860.000
Pembuatan sirkulasi udara ruang <i>roasting</i> dengan <i>exhaust fan</i>	Melindungi pekerja dari penyakit Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA)	Mudah	Melindungi pekerja agar tetap produktif	0,07 bulan Biaya : Rp. 1.268.000
Pembuatan <i>reactor</i> pengomposan limbah padat	Mempercepat proses pengomposan dan menghasilkan kompos yang baik	Sedang	Mengurangi limbah padat dan emisi GRK	2,18 bulan Biaya : Rp. 3.440.000
Penambahan alat <i>packing</i> (timbangan digital dan <i>impulse sealer</i>)	Mempercepat proses pengemasan agar tidak <i>over loading</i>	Mudah	Mencegah kerusakan produk kopi bubuk	0,45 bulan Biaya : Rp. 3.057.000

Tabel 2. *Input dan output proses produksi kopi secara kering*

Tahapan Proses		Input (Kg)	Output (Kg)	Limbah Padat (Kg) Teruapkan (L)*	
Perkebunan kopi	Pupuk organik	1000		-	-
Pemanenan kopi	Petik buah merah	-	1000	-	-
Transportasi hasil panen	Bauh kopi hasil panen	1000	1000	-	-
Sortasi manual I (buah hijau)	Buah kopi pilihan	1000	992	8	-
Pengeringan / penjemuran	Buah kopi kering/ biji kopi labu	992	529	-	463
Pengupasan kulit tanduk (<i>hulling</i>)	Biji kopi beras / <i>green bean</i>	529	291	238	-
Sortasi manual II (<i>green bean reject</i>)	<i>Green bean</i> pilihan	291	286	-	-
	<i>Green bean</i> cacat		3	2	-
	Kulit tanduk				
Penyangraian (<i>roasting</i>)	<i>Green bean</i> matang (<i>medium to dark</i>)	286	232	-	54
Pendinginan I (<i>cooling</i>)	<i>Green bean</i> pilihan	232	231	-	1
Penggilingan (<i>grinding</i>)	Bubuk kopi 0,8 mesh	231	230	1	-
Pendinginan II (<i>cooling</i>)	Bubuk kopi siap kemasan	230	229	-	1
Pengemasan (<i>packing</i>)	Kopi bubuk dalam kemasan	229	228,5	0,5	-
Penyimpanan (<i>storage</i>)	Kopi bubuk siap jual	228,5	228,5	-	-
Jumlah			228,5	249,5	519

Keterangan : *asumsi masa jenis air yang teruapkan dalam kondisi STP

Tabel 3. Total kebutuhan energi CV. Gunung Betung kapasitas 1 ton buah kopi per hari.

Tahapan proses	Sumber Energi dalam Mega Joule						Total (MJ)	Persentase (%)
	Premium (L)	LPG (Kg)	Listrik (Kwh)	Premium (MJ)	LPG (MJ)	Listrik (MJ)		
Transportasi	5	-	-	173.3	-	-	173.3	19,11
Sortasi Manual I	-	-	0.48	-	-	1.728	1.728	0,2
Penjemuran	-	-	-	-	-	-	-	-
Pengupasan kulit	5.5	-	-	190.63	-	-	190.63	22,14
Sortasi Manual II	-	-	0.48	-	-	1.728	1.728	0,2
Penyangraian	-	6	3.44	-	288	12.38	300.38	35
Pendinginan I	-	-	1.38	-	-	4.95	4.95	0,57
Penggilingan	5	-	0.48	173.3	-	1.728	175.028	20,19
Pendinginan II	-	-	1.38	-	-	4.95	4.95	0,57
Pengemasan	-	-	3.41	-	-	12.28	12.28	1,43
Penyimpanan	-	-	1.38	-	-	4.95	4.95	0,57
Jumlah	15.5	6	12.43	537.23	288	44.69	869.92	100

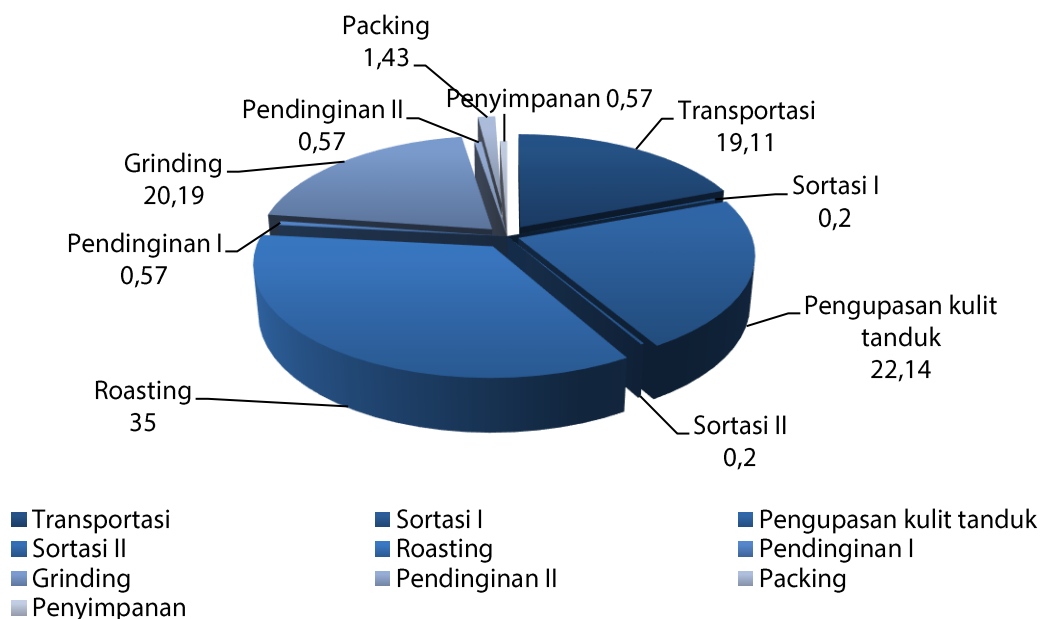
Keterangan : Asumsi (IPCC, 2006)

Premium : 34,66 MJ/Liter

LPG : 48 MJ/Kg

Listrik : 3,6 MJ/Kwh

Penjabaran data pada Tabel 3 menjelaskan kebutuhan sumber energi pada proses produksi CV. Gunung Betung dan total kebutuhan energi yang dibutuhkan yaitu sebesar 869,92 MJ/ton buah kopi yang diolah. Proses pengupasan kulit tanduk buah kopi yang paling besar membutuhkan energi yaitu 22,14%, kemudian proses penggilingan biji kopi sebesar 20,19% dan transportasi sebesar 19,11%. Persentase kebutuhan energi ditiap tahapan proses disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram persentase penggunaan energi pengolahan kopi robusta secara kering

Analisis perhitungan dampak Emisi GRK proses pengolahan kopi robusta secara kering di CV. Gunung Betung disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5, pada sektor proses produksi menjadi penyumbang emisi terbesar, hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil dan energi listrik yang tinggi (Echeverria & Nuti, 2017). Penggunaan energi ini menyumbang 68,83 Kg-CO₂eq/ton kopi yang diproses. Nilai ini menunjukkan bahwa 72% potensi pemanasan global yang dihasilkan dalam proses produksi kopi robusta secara kering di CV. Gunung Betung berasal dari kegiatan dalam pabrik.

Tabel 4. Emisi GRK CV. Gunung Betung kapasitas produksi 1 ton buah kopi per hari

Tahapan proses	Emisi GRKCO ₂ eq (Kg)			Total CO ₂ eq (Kg)	Unit proses (%)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Pemupukan	-	-	12,46	12,46	13,03
Transportasi	14,21	0,06	0,03	14,30	14,96
Sortasi manual I	0,84	-	-	0,84	0,88
Pengupasan kulit tanduk	15,63	0,06	0,04	15,73	16,46
Sortasi manual II	0,84	-	-	0,84	0,88
Roasting / peyangraian	23,91	0,04	0,01	23,96	25,07
Pendinginan I	2,4	-	-	2,40	2,51
Grinding / penggilingan	14,21	0,06	0,03	14,30	14,96
Pendinginan II	2,4	-	-	2,40	2,51
Packing / pengemasan	5,96	-	-	5,96	6,24
Penyimpanan	2,4	-	-	2,40	2,51
Total	82,80	0,22	12,57	95,58	100

Proses pemupukan diperkebunan menyumbang 12,46 Kg-CO₂eq/ton buah kopi, proses perkebunan kopi menghasilkan emisi GRK yang rendah karena pada proses ini menggunakan pupuk kandang olahan dari kotoran hewan yang dicampur dengan limbah padat kulit buah kopi (Velmourougane, 2016) yang memiliki nilai N sebesar 2,34% (Hartatik & Widowati 2006) atau 2,31% (Zhou et al., 2017) dan sebagian besar unsur N yang terdapat dalam pupuk kandang dapat terurai selama proses pemupukan (Chemura et al., 2017). Begitu pula dengan proses transportasi, dimana pada proses ini untuk mengangkut 1.000 Kg buah kopi hasil panen dari perkebunan menuju pabrik menghasilkan 14,30 Kg-CO₂eq/ton. Emisi yang terbentuk ini berupa emisi CO₂ 82,80 Kg setara dengan 82,80Kg-CO₂eq, CH₄ 0,008 Kg setara dengan 0,22 Kg-CO₂eq, dan N₂O 0,047 Kg setara dengan 12,57 Kg-CO₂eq.

Tabel 5. Estimasi Emisi GRK CV. Gunung Betung per bulan dan per tahun untuk kapasitas produksi 1 ton buah kopi per hari

Tahapan Proses	Emisi GRK CO ₂ eq (Kg)		
	Per Hari	Per Bulan	Per Tahun
Pemupukan	12,46	311	3.738
Transportasi	14,30	357	4.289
Sortasi manual I	0,84	21	252
Pengupasan kulit tanduk	15,73	393	4.719
Sortasi manual II	0,84	21	252
Roasting / peyangraian	23,96	599	7.187
Pendinginan I	2,40	60	720
Grinding / penggilingan	14,30	358	4.290
Pendinginan II	2,40	60	720
Packing / pengemasan	5,96	149	1.788
Penyimpanan	2,40	60	720
Total	95,58	2.389	28.674

Emisi GRK dari pengolahan pabrik didominasi oleh gas CO₂, dengan total potensi GWP (CO₂, CH₄, dan N₂O) sebesar 95,58 Kg-CO₂eq/ton buah kopi yang diolah atau 0,42 Kg-CO₂eq/Kg kopi bubuk. Nilai emisi GRK dari pengolahan kopi tersebut cukup baik karena dari hasil perhitungan menunjukkan masih jauh di bawah standar yang telah diatur dalam Permenperin No.54 Tahun 2020 yaitu maksimum 3,75 ton CO₂eq/ton produk atau 3,75 Kg CO₂eq/Kg produk (Kemenperin, 2020).

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5 rata-rata produksi kopi robusta secara kering CV. Gunung Betung jika diasumsikan produktifitasnya konstan maka dapat dihitung total emisi GRK yang dihasilkan perbulan sebesar 2.389 Kg-CO₂eq atau per tahun sebesar 28.674 Kg-CO₂eq.

Kesimpulan

Potensi produksi bersih yang dapat diterapkan di CV. Gunung Betung diantaranya adalah pembuatan *dome* penjemuran buah kopi dengan *drying beds* (PBP 3,18 bulan dan investasi Rp. 2.285.000), pengadaan mesin genset (PBP 1,16 bulan dan investasi Rp. 5.860.000), pembuatan sirkulasi udara pada ruang *roasting* dengan *exhaust fan* (PBP 0,07 bulan dan investasi Rp. 1.268.000), pembuatan reaktor untuk pengomposan limbah padat (PBP 2,18 bulan dan investasi Rp. 3.440.000) dan penambahan alat *packing* (PBP 0,45 bulan dan investasi Rp. 3.057.000). Penentuan opsi produksi bersih akan diterapkan melalui analisis aspek teknis, lingkungan, dan finansial yang sesuai dengan kriteria serta kesanggupan dari pemilik industri dari hasil diskusi. Hasil penilaian daur hidup proses produksi kopi robusta secara kering menunjukkan bahwa pengolahan 1.000 kg buah kopi memerlukan energi sebesar 869,92 MJ dan menghasilkan emisi GRK sebesar 95,58 Kg CO₂-eq/ ton buah kopi atau 0,42 Kg CO₂-eq/ kg bubuk setara dengan 2.389 Kg CO₂-eq/bulan dan 28.674 Kg CO₂-eq/tahun.

Daftar Pustaka

- Adiansyah, J. S., Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2019). Kajian daur hidup (life cycle assessment) dalam produksi pupuk urea: studi kasus PT Pupuk Kujang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 522. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.522-527>
- AEKI. (2016). Asosiasi eksportir kopi Indonesia. Laporan pasar kopi (*Report of coffee market*). Edisi Juli 2016. http://www.aeki-aice.org/statistic_aeki.html
- Fauzi, A. M., Ainy, R., & Yaoi, H. (2018). Study on cleaner production strategy in the small scale tapioca industry: a case study in Kelurahan Ciluar, North Bogor sub-district. *Journal of Agroindustrial Technology*, 18(2), 60–65.

- BPS. (2018). Badan Pusat Statistik. Statistik kopi indonesia. *Indonesian Coffe Statistic 2018*. <https://www.bps.go.id/publication/2019/12/06/b5e163624c20870bb3d6443a/statistik-kopi-indonesia-2018.html>
- Chemura, A., Mahoya, C., Chidoko, P., & Kutuwayo, D. (2017). Effect of soil moisture deficit stress on biomass accumulation of four coffee (*Coffea arabica*) varieties in Zimbabwe. *ISRN Agronomy*, 2014, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2017/767312>
- De Marco, I., Riemma, S., & Iannone, R. (2018). Life cycle assessment of supercritical CO₂ extraction of caffeine from coffee beans. *Journal of Supercritical Fluids*, 133(November 2017), 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.11.005>
- Ditjenbun. (2019). Direktorat Jenderal Perkebunan. Statistik perkebunan kopi Indonesia 2019. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/?publikasi=buku-statistik-perkebunan-2019-2021>.
- Diyarma, I., & Bantacut, T. (2019). Assessment of environmental impact of the gayo arabica coffee production by wet process using life cycle assessment. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 23(1), 27–34. <https://doi.org/10.2478/auaft-2019-0004>
- Echeverria, M. C., & Nuti, M. (2017). Valorisation of the residues of coffee agro-industry: perspectives and limitations. *The Open Waste Management Journal*, 10(1), 13–22. <https://doi.org/10.2174/1876400201710010013>
- Edowai, D. N., & Tahoba, A. E. (2018). Proses produksi dan uji mutu bubuk kopi arabika (*Coffea arabica* L) asal kabupaten Dogiyai, Papua. *AGRIOVET*, 1(1), 1–18, ISSN 2716-4403.
- Fadhil, R., Maarif, M. S., Bantacut, T., & Hermawan, A. (2017). Model strategi pengembangan sumber daya manusia agroindustri kopi gayo dalam menghadapi masyarakat ekonomi ASEAN. *Jurnal Manajemen Teknologi*, 16(2), 141–155. <https://doi.org/10.12695/jmt.2017.16.2.3>
- Fitriyanti, R. (2018). Penerapan produksi bersih pada industri pulp dan kertas. *Jurnal Redoks*, 1(2), 16. <https://doi.org/10.31851/redoks.v1i2.2025>
- Hakim, M. A. R. (2018). Kajian implementasi produksi bersih di industri pengolahan kopi (studi kasus cv frinsa agrolestari, Bandung). Institut Pertanian Bogor. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/95558>
- Hartatik, W., & Widowati, L., R. (2006). Pupuk organik dan pupuk hayati. Bogor. ISBN : 978-979-9474-57-5.
- Hassard, H. A., Couch, M. H., Techa-Erawan, T., & McLellan, B. C. (2016). Product carbon footprint and energy analysis of alternative coffee products in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 73, 310–321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.006>
- ICO. (2017). International Coffe Organization. *Statistic on Coffee*. https://www.ico.org/trade_statistics
- IPCC. (2006). Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 5 waste, chapter 6 wastewater treatment and discharge. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf
- Jepngetich Maina, J. (2017). Evaluation and mitigation of greenhouse gas emissions from the smallholder coffee supply chain in Kenya. *May*, 110. <https://pdfs.semanticscholar.org/d0c9/a7568127d7fd5f52b55ff8254b0e02147f10.pdf>
- Kemenperin. (2020). Kementerian Perindustrian Indonesia. Peraturan menteri perindustrian Republik Indonesia nomor 54 tahun 2020 tentang standar industri hijau untuk industri pengolahan kopi instan. 10 November 2020. <http://jdih.kemenperin.go.id/site/template3/2704>.
- Ledy, D. S., Haryono, D., & Situmorang, S. (2019). Analisis bauran pemasaran (marketing mix) dan strategi pengembangan (studi kasus pada agroindustri kopi bubuk cap intan di kota Bandar Lampung). *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 7(1), 52. <https://doi.org/10.23960/jiia.v7i1.52-59>
- Nisa, F., Haji, A. T. S., Suharto, B., & Sumberdaya, J. (2016). Penentuan tingkat eko-efisiensi proses produksi biji kakao menggunakan life cycle assessment pada unit produksi di pusat penelitian kopi dan kakao Indonesia determination of eco-efficiency rate of cocoa beans process. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan*

Lingkungan, 32–39.

- Novita, E., Suryaningrat, I. B., & Daniati, E. (2018). Potensi penerapan produksi bersih di peternakan sapi perah Cv. Margo Utomo Kecamatan Kalibaru Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Agroteknologi*, 12(02), 116. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v12i02.9277>
- Nugraha, A. Z., Wiloso, E. I., & Yani, M. (2018). Pemanfaatan serbuk gergaji sebagai substitusi bahan bakar pada proses pembakaran kiln di pabrik semen dengan pendekatan life cycle assesment (lca). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 188–198. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.188-198>
- Phrommarat, B. (2019). Life cycle assessment of ground coffee and comparison of different brewing methods: A case study of organic arabica coffee in Northern Thailand. *Environment and Natural Resources Journal*, 17(2), 96–108. <https://doi.org/10.32526/ennrj.17.2.2019.16>
- Pramono, A., & Sadmaka. (2018). Emisi gas rumah kaca, cadangan karbon serta strategi adaptasi dan mitigasi pada perkebunan kopi rakyat di Nusa Tenggara Barat (greenhouse gas emission, carbon stock, adaptation and mitigation strategies at smallholder coffee plantation in West Nusa Tenggara). *E-Journal Menara Perkebunan*, 86(2), 62–71. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v86i2.294>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2019). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.016>
- Salomone, R. (2018). Life cycle assessment applied to coffee production: investigating environmental impacts to aid decision making for improvements at company level. *Journal of Food Agriculture and Environment*, April 2016. <https://doi.org/https://doi.org/295-300.2018>
- Sirait, A. T., Noor, E., & Ismayana, A. (2019). Penerapan produksi bersih untuk meningkatkan efisiensi proses pelapisan logam. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(3), 700–709. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.3.700-709>
- Siregar, K., Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., Wirawan, S. S., & Araki, T. (2019). A comparison of life cycle assessment on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) as feedstock for biodiesel production in Indonesia. *Energy Procedia*, 65, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.054>
- Velmourougane, K. (2016). Impact of organic and conventional systems of coffee farming on soil properties and culturable microbial diversity. *Scientifica*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3604026>
- Zhou, W. J., Ji, H. L., Zhu, J., Zhang, Y. P., Sha, L. Q., Liu, Y. T., Zhang, X., Zhao, W., Dong, Y. X., Bai, X. L., Lin, Y. X., Zhang, J. H., & Zheng, X. H. (2016). The effects of nitrogen fertilization on N₂O emissions from a rubber plantation. *Scientific Reports*, 6(January), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep28230>