



Analisis Emisi GRK dan Konversi Energi pada Produksi Minyak Jarak (*Ricinus communis* L.) dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

GHG Emission Analysis and Energy Conversion in Castor Oil (*Ricinus communis* L.) Production with Life Cycle Assessment (LCA) Method

Medy Ramdhani^a, Mohammad Yani^b, Andes Ismayana^b

^a Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

^b Departemen Teknologi Industri Pertanian Bogor, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16680

Article Info:

Received: 12 - 10 - 2018

Accepted: 13 - 05 - 2019

Keywords:

Castor oil, life cycle assessment, emission reduction

Corresponding Author:

Medy Ramdhani
Sekolah Pascasarjana, Institut
Pertanian Bogor;
Email:
medyramdhani@gmail.com

Abstract: *Castor oil (*Ricinus communis* L.) is a renewable, multifunction vegetable oil, used in wide range of chemical industry feedstock. Nowadays, a product derived from castor has able to replace petroleum-based chemical feedstock. In spite of its renewable characteristic, castor oil production has to meet the environmental sustainability. This study was conducted to determine numbers of input and output used, as well as, their impact to the environment in the production processes. Life Cycle Assessment (LCA) method was used to determine the input, output and environmental impacts of castor oil production. The result is, that the needs for a ton of castor oil are: 0.97 ha of land, 1.06 kg of seeds for plantation, 0.27 tons of fertilizer, 7.7 liters of petrol, 219.71 liters of diesel, 2.43 tons of seeds for processing purpose, and 1 187.54 liters of water. The production process itself emits 1.03 tons CO_{2-eq} of greenhouse gas (GHG). Reduction to environmental pressure could be accomplished by replacing fossil fuel with castor cake during production to reduce 153.19 liters of diesel usage equals with 0.43 tons CO_{2-eq} emission for a ton castor oil.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Ramdhani M, Tani M, Ismayana A. 2019. Analisis emisi GRK dan konversi energi pada produksi minyak jarak (*Ricinus Communis* L.) dengan metode *life cycle assessment* (LCA). JPSL 9(3): 680-691. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.3.680-691>.

PENDAHULUAN

Bahan baku industri kimia yang banyak digunakan saat ini merupakan produk turunan dari minyak bumi yang ketersediaannya terus menurun, harganya terus meningkat, dan menjadi sumber polutan yang menyebabkan gas rumah kaca (GRK) yang berakibat pada pemanasan global (Carlsson *et al.* 2011). Oleh karena itu upaya-upaya untuk mencari alternatif bahan-baku pengganti terus dilakukan, salah satunya minyak nabati. Minyak nabati memiliki potensi untuk menggantikan fungsi yang sama dari produk turunan minyak bumi dengan kelebihan lebih ramah lingkungan dan dapat diperbaharui.

Minyak jarak merupakan salah satu jenis minyak nabati non-pangan yang dapat menghasilkan beragam produk turunan sebagai bahan dasar di banyak industri kimia, karena memiliki karakteristik yang unik yaitu dapat bertahan pada temperatur tinggi dan rendah (Sallihu *et al.* 2014). Minyak jarak digunakan sebagai bahan-

baku industri seperti farmasi, kosmetik, cat, dan pelumas. Beberapa penelitian terkait penggunaan produk turunan minyak jarak diantaranya sebagai *fatty acid methyl esters* (FAMES) (Canoira 2010), *hyperbranched polyurethane* berbahan baku minyak jarak sebagai pelapis (Thakur dan Karak 2013), sebagai pelumas (Elmunafi *et al.* 2015, Greco-Duarte *et al.* 2017), busa polyurethane untuk insulasi panas (Carrico *et al.* 2017).

Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan minyak jarak terus meningkat di pasar dunia. Berdasarkan data *Food and Agricultural Organization* (FAO), tren ekspor minyak jarak secara global terus meningkat, dari angka 281.111 Ton pada tahun 2000 meningkat hingga 707.304 Ton pada tahun 2013 (FAO 2017).

Tanaman jarak sendiri selain dapat menghasilkan minyak jarak dari bijinya, juga mempunyai manfaat lain bagi lingkungan, salah satunya adalah sebagai tanaman untuk fitoremediasi, sehingga tanaman ini aman digunakan untuk menjerap kontaminan dalam tanah. Kontaminan yang dapat dijerap jarak kepyar diantaranya cadmium (Cd), tembaga (Cu), seng (Zn), timbal (Pb) dan nikel (Ni) (Rajkumar dan Freitas 2008; Huang *et al.* 2011; Olivares *et al.* 2012; Baudhd dan Singh 2012; Kiran dan Prasad 2017). Selain untuk fitoremediasi, tanaman jarak berpotensi untuk digunakan sebagai bioindikator, karena kandungan polutan dapat dengan mudah dideteksi pada bagian daun dan buah (Mendes *et al.* 2015).

Penggunaan bahan baku terbarukan sangat penting untuk dikembangkan untuk menggantikan sumber daya alam tak terbarukan. Selain itu dalam upaya produksinya, terdapat manfaat lain yang didapat seperti yang telah dijelaskan di atas. Namun penggunaan bahan baku terbarukan tidak selalu memberikan manfaat yang seimbang, karena penggunaan energi dan sumber daya mungkin melebihi manfaat yang didapatkan. Oleh karena itu diperlukan sebuah kajian untuk mengetahui besaran material dan energi yang digunakan serta emisi yang dihasilkan dari penggunaan sumber daya dalam upaya menghasilkan minyak jarak.

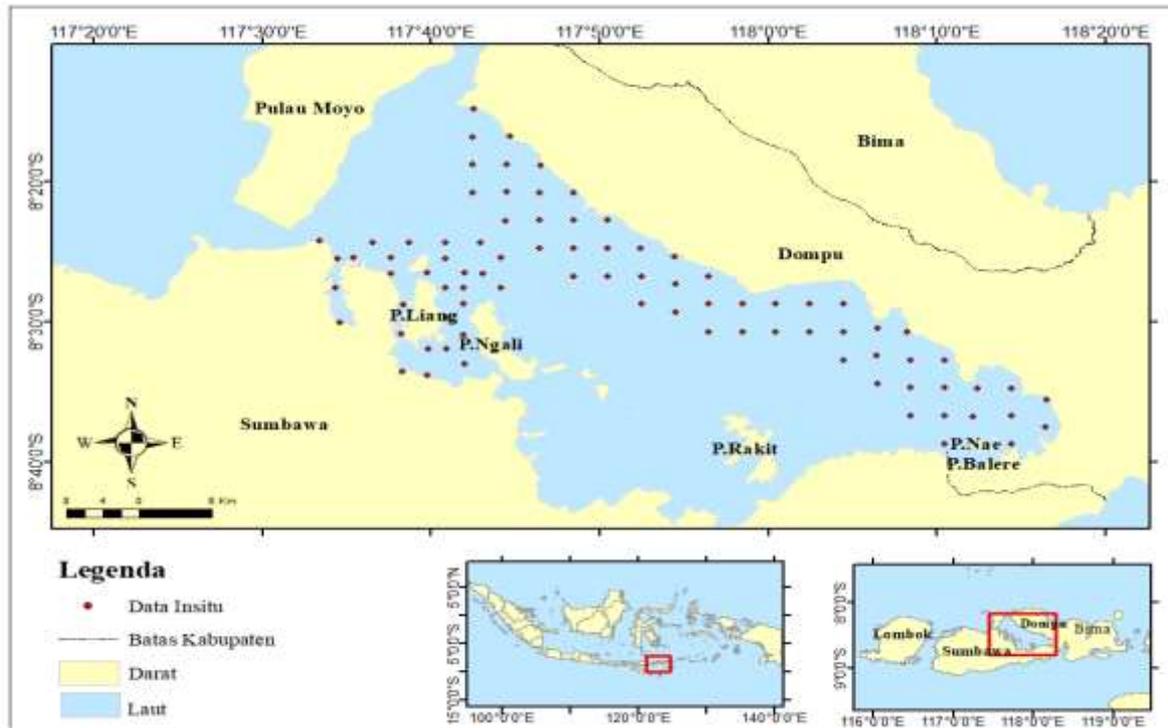
Life Cycle Assessment (LCA) dapat digunakan sebagai metode ilmiah untuk mengidentifikasi material, sumber energi dan emisi muncul dari keseluruhan daur hidup sebuah produk, dimulai dari pengambilan bahan baku, proses produksi, penggunaan, perawatan, hingga penanganan pasca penggunaan (Klöpffer dan Grahl 2014). LCA dapat membantu dalam: (1) mengidentifikasi peluang untuk memperbaiki kinerja lingkungan dari produk di berbagai titik dalam daur hidupnya, (2) menginformasikan kepada pengambil keputusan di industri, organisasi pemerintah atau non-pemerintah (3) pemilihan indikator yang relevan dari kinerja lingkungan, termasuk teknik pengukuran dan pemasaran (SNI 2016).

LCA membutuhkan data mengenai input dan output secara lengkap, meliputi bahan baku, proses pembuatan, distribusi, transportasi, konsumsi, hasil samping, dan dampak lingkungan. LCA terdiri dari beberapa elemen, di antaranya: (1) identifikasi dan mengukur faktor-faktor yang terlibat, (2) evaluasi faktor-faktor yang berpotensi berdampak terhadap lingkungan, dan (3) analisis untuk mengurangi dampak lingkungan (Klöpffer dan Grahl 2014).

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan September 2017 – Maret 2018 di fasilitas produksi PT. Bio Greenland dan kebun jarak milik petani mitra perusahaan, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Titik data dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian.

Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan metode yang terdapat dalam ISO 14040-2006 Principles and Framework LCA dan ISO 14044. Kedua standar ini menggantikan empat standar yang telah ada sebelumnya yaitu ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 dan ISO 14043:2000 (Finkbeiner *et al.* 2006). Dalam kerangka ini dijelaskan bahwa LCA terdiri dari empat tahap utama yaitu (a) definisi tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope definition*), (b) analisis inventori input dan output (*life cycle inventory analysis*), (c) perkiraan dampak lingkungan dari semua input dan output (*life cycle impact assessment*), dan (d) interpretasi hasil (*life cycle interpretation*).

Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup LCA

Tujuan pelaksanaan kajian LCA minyak jarak untuk memberikan informasi mengenai kebutuhan material, energi, dan dampak lingkungan dalam daur hidup minyak jarak bagi perusahaan dan akademisi. Dengan informasi ini kemudian disusun alternatif perbaikan proses produksi untuk mengurangi dampak negatif bagi lingkungan.

Metode Analisis Data

Analisis Inventori Daur Hidup

Analisis inventori merupakan bagian dari komponen LCA yang berisi informasi input dan output bahan baku, energi, limbah dan produk samping yang dihasilkan selama siklus daur hidup suatu produk. Tahapan analisis inventori dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode LCA berupa analisis aliran neraca energi, neraca massa dan emisi berdasarkan ketentuan ISO 14040 tahun 2006 (ISO 2006) yang dapat dilihat pada (Gambar 2). Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data sekunder berdasarkan dokumen perusahaan dan publikasi hasil penelitian terkait. Sebagian data diperoleh dari hasil perhitungan dengan

beberapa asumsi dan data primer. Berdasarkan hasil analisis inventori diperoleh besaran kebutuhan bahan baku, energi dan emisi yang dihasilkan untuk memproduksi satu ton minyak jarak.

Life Cycle Impact Assessment (LCLA)

Penilaian dampak lingkungan dilakukan sesuai dengan *goal and scope definition* yang telah ditentukan. Kategori dampak yang diamati dalam penelitian ini adalah peningkatan gas rumah kaca (GRK) dari emisi gas CO₂, CH₄, NO₂ dalam satuan ton CO₂-eq.

Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil adalah langkah terakhir dalam LCA. Interpretasi hasil terdiri dari dua langkah, yaitu identifikasi isu penting dan evaluasi. Pada tahap identifikasi isu penting, interpretasi hasil dilakukan untuk melihat konsistensi dalam inventarisasi *input*, *output*, dan penilaian dampak lingkungan. Pada tahap ini akan ditentukan bagian dari proses yang perlu/dapat dilakukan upaya penurunan emisi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari hasil pengamatan, data wawancara langsung dengan karyawan pabrik, dokumen perusahaan serta data dari penelitian sebelumnya yang relevan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Goal and Scope definition

Kajian LCA ini dilakukan untuk mengetahui besarnya dampak yang ditimbulkan dalam memproduksi minyak jarak, terutama dampak terhadap pemanasan global. Untuk mengetahui dampak yang dihasilkan perlu diketahui *input* dan *output* baik energi maupun material yang digunakan dari seluruh rangkaian proses dalam menghasilkan minyak jarak, serta analisis alternatif perbaikan efisiensi produksi dan penurunan dampak lingkungan.

Function dalam kajian LCA ini adalah sistem produksi minyak jarak dengan *functional unit* 1 ton minyak jarak. *Reference flow* yang diamati adalah material dan energi yang digunakan dalam produksi 1 ton minyak jarak. *Scope* dalam kajian produksi minyak jarak mengacu pada pendekatan *Cradle to Gate*, yaitu dari penanaman tanaman jarak hingga ekstraksi minyak jarak yang siap untuk didistribusikan untuk bahan baku industri selanjutnya (Gambar 2).

Hasil Data inventori

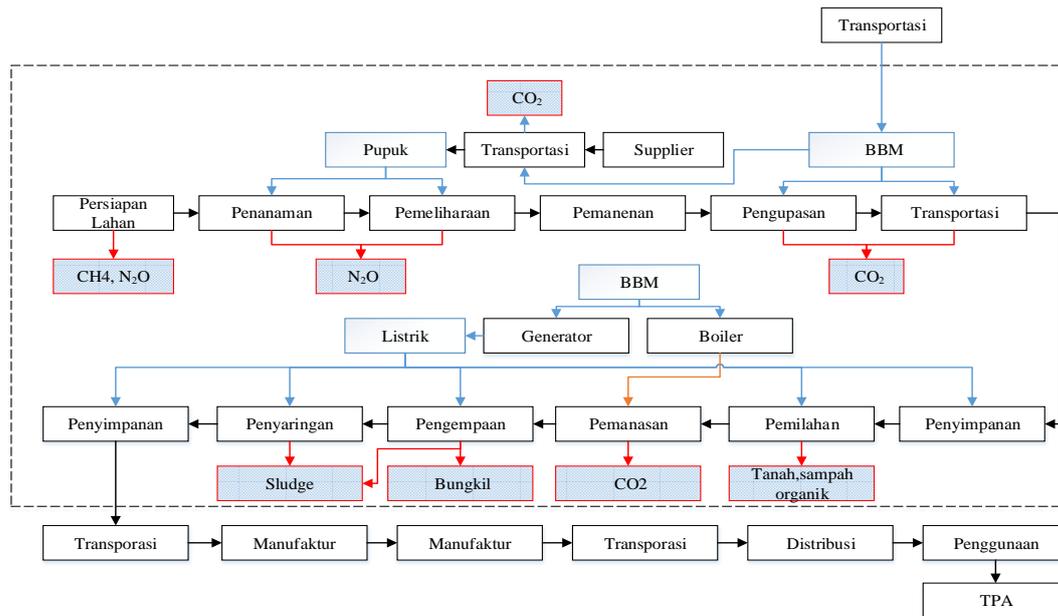
Tahap Budidaya

Budidaya dimulai dengan persiapan lahan dengan dua cara, yaitu dibakar dan ditumpuk. Umumnya petani di daerah Sumbawa membakar lahan sisa tanaman musim sebelumnya. Metode persiapan lahan ini dipilih karena murah dan cepat. Namun disisi lain emisi yang dihasilkan cukup besar. Sementara petani di Lombok lebih memilih untuk menumpuk sisa tanaman dan dibiarkan hingga membusuk.

Setelah sisa tanaman dibersihkan, kemudian dibuat lubang tanam sedalam ± 10 cm yang diisi dengan 2 buah biji jarak dengan jarak tanam 2x3 m. Di sekitar lubang tanam dibuat lubang untuk pupuk.

Pupuk yang digunakan adalah urea, KCL, dan SP-36 dengan aplikasi masing-masing 60 g, 30 g, dan 45 g. Kemudian 60 hari setelah tanam pada masa pemeliharaan dilakukan pemupukan kembali menggunakan urea dengan dosis 30 g.

Tanaman mulai berbuah pada umur 60 hari dan mulai dipanen pada umur 100 hari. Pemanenan dilakukan secara manual dengan menggunakan gunting panen. Buah kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2-3 hari, kemudian dikupas dengan alat pengupas, dikemas dalam karung dan siap dikirim ke gudang perusahaan. Petani yang menghasilkan buah kurang dari 100 kg umumnya membawa langsung ke gudang kemudian buah dikupas oleh pegawai pabrik di gudang.



Gambar 2 Batasan sistem kajian cradle to gate LCA minyak jarak.

Tabel 1 Data input dan output unit process budidaya.

Uraian	2015		2016	
	Input	Output	Input	Output
Material (ton)				
Benih	0.11		0.02	
Urea	14.48		2.58	
KCL	4.83		0.86	
SP-36	7.24		1.29	
Biji Jarak		241.30		43.00
Energi (kJ)				
Bensin		1 7916.30		980.40
Limbah (ton)				
Biomassa		335.75		59.83
Emisi (ton CO₂-eq)		44.38		6.29

Tahap Transportasi

Transportasi dari lahan ke gudang dilakukan baik oleh petani sendiri maupun oleh pihak perusahaan. Jika jarak lahan budidaya jarak tidak terlalu jauh dari pabrik, dan hasil tidak terlalu banyak, para petani umumnya membawa sendiri biji yang telah dihasilkan ke gudang perusahaan dengan menggunakan sepeda motor. Dalam jumlah besar dan jarak yang lebih jauh, petani berkoordinasi dengan petugas lapang dari perusahaan untuk pengadaan unit transportasi berupa minibus pikap atau truk. Lokasi petani yang bekerja sama dengan perusahaan berasal dari daerah Sumbawa, Lombok, Dompu, dan Bima.

Penentuan jarak angkut dari kebun ke pabrik berdasarkan *logbook* kendaraan perusahaan. Setelah diketahui jarak kemudian ditentukan jenis kendaraan angkut yang digunakan. Dalam penentuan jenis angkutan, diasumsikan bahwa untuk pengiriman biji kurang dari 100 kg dan jarak dari kebun ke pabrik kurang dari 30 km, maka kendaraan angkut yang digunakan adalah sepeda motor, dengan asumsi rata-rata konsumsi bahan bakar minyak (bbm) sebesar 30 km/l. Untuk berat biji lebih dari di antara 101-1 500 kg, maka kendaraan angkut yang digunakan adalah minibus pikap dengan rata-rata konsumsi bbm sebesar 10 km/l. Untuk berat biji lebih dari 1 500 kg, maka diasumsikan kendaraan yang digunakan adalah truk, dengan konsumsi bbm 4 km/l.

Tabel 2 Data input dan output *unit process* transportasi.

Uraian	2015		2016	
	Input	Output	Input	Output
Energi (MJ)				
Bensin	2 343.00		4 539.81	
Solar	223 270.90		4 9751.5	
Emisi (ton CO₂-eq)		16.71		4

Tahap Ekstraksi Minyak Jarak

Biji jarak yang diterima dari petani disimpan sementara di gudang penyimpanan. Pada saat diterima biji dikemas ulang dalam karung berkapasitas 20 kg per karung untuk memudahkan penghitungan stok dan penyimpanan yang lebih efisien. Tidak ada perlakuan khusus dalam penyimpanan biji di dalam gudang.

Pada saat produksi dilaksanakan, biji dari gudang ditimbang ulang sebelum dimasukkan ke dalam konveyor menuju *hopper#1* untuk memisahkan jika ada logam, kemudian pada *hopper#2* biji dipisahkan dari sisa-sisa ranting, daun, kulit buah dan tanah. Pada tahap selanjutnya biji jarak menuju *screener* untuk memisahkan biji utuh dengan biji-biji yang pecah. Biji pecah penting untuk dipisahkan karena pada biji pecah kandungan minyak telah banyak berkurang.

Biji yang telah tersortir kemudian masuk ke dalam *kettle* atau tungku pemanas untuk meningkatkan suhu biji jarak hingga 70-90 °C sehingga kandungan air dalam biji berkurang. Tungku dipanaskan dengan menggunakan uap yang dihasilkan oleh *boiler*. Tungku pemanas terdiri dari beberapa ruang yang akan meningkatkan suhu biji jarak secara bertahap. Hingga mencapai 90 °C. Biji yang telah dipanaskan kemudian dipindahkan dengan *screw conveyor* menuju *expeller* kemudian biji dikempa dalam tekanan tinggi untuk memisahkan minyak dengan kernel. Pada tahap ini dihasilkan minyak jarak yang masih kotor dan bungkil jarak. Bungkil jarak kemudian dipindahkan ke gudang penyimpanan khusus bungkil. Bungkil dikemas dalam karung kemudian disimpan.

Minyak jarak yang dihasilkan dari *expeller* masih banyak bercampur dengan material yang tidak diinginkan. Oleh karena itu minyak kembali dipanaskan kembali dalam *heater tank* kemudian dipompa dengan tekanan tinggi menuju saringan, menghasilkan minyak jarak yang telah bebas dari kotoran dan sisa-sisa bungkil yang mengandung sedikit minyak (*sludge*). Minyak yang telah bersih kemudian di pompa menuju tangki penyimpanan.

Kapasitas produksi terpasang PT. Bio Greenland mampu memproduksi 12 000 ton minyak jarak per tahun. Sumber energi yang digunakan untuk menjalankan pabrik ini berasal dari generator diesel dengan daya 350kVA. Pada saat beroperasi, generator diesel mengonsumsi bahan bakar solar sebanyak 33 liter/jam. Sementara itu konsumsi bahan bakar *boiler* sebesar 32.6 liter/jam.

Tabel 3 Data input dan output *unit process* ekstraksi minyak jarak.

Uraian	2015		2016	
	Input	Output	Input	Output
Material (ton)				
Biji Jarak	241.3			
Air (l)	138 850.99			
Minyak Jarak		98.88		
Bungkil Jarak		120.07		
Sludge		12.72		
Limbah padat		9.63		
Energi (MJ)				
Solar	680 647.64		84 559.50	
Emisi (ton CO₂-eq)		50.44		6.27

Sumber energi kompleks industri menggunakan kombinasi generator diesel dan PLN. Listrik kantor dipasok dari PLN, sementara untuk operasional pabrik menggunakan generator.

Berdasarkan data inventarisasi, input yang diperlukan dalam menghasilkan satu ton minyak jarak disajikan dalam Tabel 4.

Analisis Dampak

Pemanasan global biasa dikenal juga dengan perubahan iklim yang terjadi akibat efek rumah kaca. Pemanasan global merupakan fenomena terjadinya peningkatan suhu pada bagian bawah atmosfer.

Penilaian dampak GRK dilakukan berdasarkan data inventori penggunaan energi dan emisi yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan kadar GRK oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (KLH 2012). Terdapat 3 jenis emisi golongan GRK yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak jarak, yaitu CO₂, CH₄, dan N₂O.

Emisi CO₂ dihasilkan dari seluruh rangkaian produksi minyak jarak. Tahap budidaya emisi CO₂ terjadi pada saat persiapan lahan dengan cara membakar sisa biomassa, penggunaan pupuk urea, dan penggunaan bahan bakar untuk mesin pengupas buah. Emisi gas CH₄ muncul dari aktivitas pembakaran sisa biomassa, sementara emisi gas N₂O terjadi pada saat pengolahan lahan, dan pembakaran sisa biomassa.

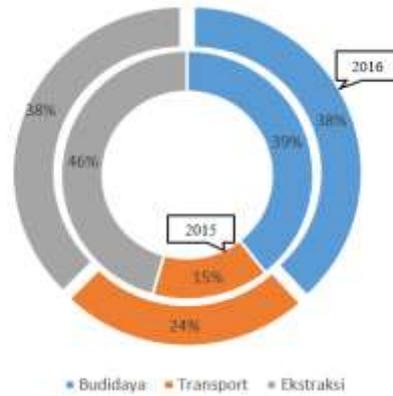
Total emisi GRK pada proses pembuatan minyak jarak pada tahun 2015 dan 2016 berturut-turut adalah 110.70 dan 16.63 ton CO_{2-eq}. dengan jumlah produksi minyak jarak 98.88 dan 17.77 ton, maka dalam menghasilkan satu ton minyak jarak, menghasilkan emisi rata-rata 1.03 ton CO_{2-eq}.

Gambar 3 memperlihatkan unit proses produksi menghasilkan emisi paling besar, yaitu 50.44 ton CO_{2-eq}. emisi paling besar muncul akibat penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi untuk menggerakkan generator dan boiler. Penghasil emisi terbesar kedua adalah unit proses budidaya, yaitu 43.55 ton CO_{2-eq}. Emisi N₂O akibat pengolahan lahan merupakan penyumbang tertinggi, menyusul pembakaran sisa tanaman jarak. Walaupun CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran lahan tidak dihitung (*carbon neutral*) karena diasumsikan akan diserap kembali pada musim tanam selanjutnya (KLH 2012), namun N₂O dan CH₄ yang lepas ke atmosfer akibat pembakaran lahan cukup besar. Sementara itu, emisi dari unit proses transportasi sangat kecil jika dibandingkan dengan unit proses produksi maupun budidaya, yaitu 16. 71 ton CO_{2-eq}, yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil.

Selain emisi gas rumah kaca, proses produksi minyak jarak juga meninggalkan limbah bungkil (*kernel*) jarak yang belum dapat dimanfaatkan, hanya disimpan dalam gudang Kandungan *ricin* yang beracun dalam limbah bungkil jarak tidak memungkinkan penggunaan langsung bungkil sebagai pupuk maupun pakan ternak. Diperlukan proses tambahan untuk menghilangkan kandungan *ricin* sebelum dapat dijadikan pupuk atau pakan ternak. Hal ini berbeda dengan limbah *kernel* lain seperti jarak pagar atau minyak sawit yang dapat dimanfaatkan untuk sebagai bahan baku pupuk kompos.

Tabel 4 Input produksi untuk menghasilkan satu ton minyak jarak.

Uraian	Satuan	Nilai
Material		
Lahan	Ha	0.97
Benih	kg	1.06
Biji Jarak	ton	2.42
Pupuk	ton	0.27
Air	MWh	1 187.54
Energi		
Bensin	MJ	254.10
Solar	MJ	8 350.50
Total	MJ	8 604.60



Gambar 3 Emisi GRK dari setiap unit proses produksi minyak jarak.

Alternatif Penurunan Emisi

Salah satu alternatif penurunan emisi gas rumah kaca dalam daur hidup minyak jarak yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan limbah bungkil. Limbah bungkil jarak jumlahnya cukup besar, namun belum dimanfaatkan dengan optimal. Salah satu pilihan untuk memanfaatkan limbah bungkil jarak ini dengan cara menggunakannya sebagai bahan bakar biomassa untuk menggerakkan generator listrik dan boiler menggantikan solar. Hal ini telah diterapkan pada limbah cangkang kelapa sawit (Parinduri 2016). Dengan demikian, limbah bungkil memiliki nilai ekonomis karena dapat menjadi bahan bakar biomassa menggantikan penggunaan solar. Selain itu pembakaran bahan bakar biomassa dianggap *carbon neutral* (Saidur *et al.* 2011) karena diasumsikan karbon yang dilepaskan akan diserap kembali pada musim tanam selanjutnya, sehingga menurunkan emisi GRK.

Penggunaan bungkil jarak sebagai bahan bakar dengan pirolisis memberikan keuntungan lebih banyak, karena selain energi panas saat pirolisis dapat dimanfaatkan untuk mengoperasikan boiler, hasil pirolisis berupa minyak dan arang dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Minyak hasil pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar pencampur solar, atau kembali digunakan untuk proses pirolisis selanjutnya. Kemudian arang yang dihasilkan dapat dijadikan biorangpos, yaitu campuran arang dan kompos yang dapat digunakan sebagai media tanam. Arang juga berperan sebagai penyimpan karbon yang stabil. Diagram alternatif penggunaan biomassa sebagai sumber energi ditampilkan dalam Gambar 4.

Penelitian yang telah mengkaji penggunaan bungkil jarak sebagai bahan baku arang dan minyak pirolisis diantaranya Aldobouni *et al.* (2015) dimana pirolisis dilakukan dalam skala laboratorium. Pirolisis bungkil dilakukan dalam oven elektrik pada suhu 400 °C, 450 °C, 500 °C dan 550 °C. produksi minyak pirolisis dan arang bervariasi dipengaruhi suhu dan lama pirolisis. Nilai *High Heating Value* (HHV) minyak yang dihasilkan adalah 26.57 MJ/Kg.

Menurut Aldabouni *et al.* (2015) suhu dan waktu yang paling optimal untuk mendapatkan hasil minyak paling tinggi adalah pada suhu 400 °C dengan lama proses 60 menit. Pada kombinasi suhu dan waktu ini dapat dihasilkan 63% minyak pirolisis dan sekitar 30% arang.

Sementara menurut penelitian Chen *et al.* (2014) pada suhu 400 °C dapat dihasilkan arang sekitar 37% dan minyak pirolisis sekitar 36%. Perbedaan hasil dikarenakan metode penelitian yang digunakan berbeda. Pada penelitian ini hasil arang maksimal dihasilkan pada suhu 200 °C mencapai 55%.

Menurut Lehman *et al.* (2006) arang merupakan media penyimpanan karbon dalam tanah yang stabil dalam jangka panjang. Selain itu, penggunaan bio-arang memberikan keuntungan lain dengan meningkatkan kesuburan tanah yang akan meningkatkan hasil pertanian.

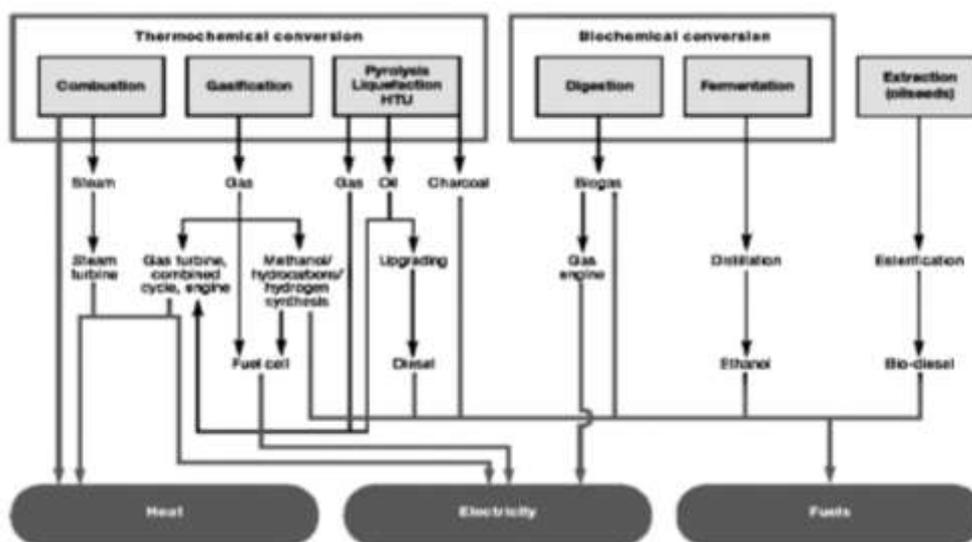
Untuk menghitung kebutuhan bungkil untuk menghasilkan energi setara dengan penggunaan pabrik saat ini, perlu diketahui nilai HHV dari bungkil jarak. Nilai kalori bungkil jarak menurut beberapa penelitian terdahulu disajikan dalam

Perhitungan kebutuhan biomassa dihitung dengan menghitung energi yang dihasilkan dari rata-rata konsumsi solar per jam dikalikan dengan ketetapan konsumsi solar per kilowatt sebesar 0.21, kemudian dibandingkan dengan bangkitan energi dari proses pirolisis bungkil jarak yang menggerakkan generator tenaga uap dengan asumsi efisiensi konversi energi bahan bakar biomassa menjadi listrik yang digunakan sebesar 0.2 (Harris *et al.* 2013)

Dengan asumsi rata-rata nilai kalori bungkil yang digunakan sebesar 22.27 MJ/kg, maka untuk menggantikan satu liter solar dapat menggunakan 4.40 kg atau 145.16 kg/jam bungkil jarak. Sementara untuk menggerakkan boiler pemanas biji jarak, dengan asumsi efisiensi boiler sebesar 0.7112 (Anam 2015) maka 1 liter solar dapat digantikan dengan 4.23 kg bungkil atau 127.21 kg/jam. Dengan asumsi arang yang dihasilkan sebesar 30% dari berat kering biomassa, maka potensi arang dalam penggunaan 1 kg bungkil jarak sebagai bahan bakar adalah 25 g dengan *moisture content* rata-rata 15%. Dengan skenario tersebut, maka jika menggunakan data produksi tahun 2015 dan 2016, penurunan penggunaan bahan bakar, limbah dan emisi disajikan dalam Jumlah bungkil yang digunakan masih lebih kecil dari bungkil yang dihasilkan, sehingga kebutuhan bahan baku untuk bahan bakar generator dan boiler dapat dipenuhi secara mandiri. Dengan penggantian bahan bakar tersebut maka emisi dari pabrik adalah nol dengan asumsi penggunaan bahan bakar biomassa adalah *carbon neutral*. Sehingga secara keseluruhan mengurangi emisi sebesar 50.44 ton CO₂-eq pada tahun 2015 dan 6.27 ton CO₂-eq pada tahun 2016. Perubahan penggunaan bahan bakar, limbah dan emisi GRK per satu ton minyak jarak yang dihasilkan disajikan dalam Tabel 8, dengan input dan output lainnya tetap.

Tabel 6.

Proporsi penggunaan energi setelah menggunakan bungkil disajikan dalam Tabel 7. Diasumsikan seluruh penggunaan solar digantikan dengan bungkil jarak karena kebutuhan bungkil untuk menghasilkan energi dapat dipenuhi.



Gambar 4 Alternatif penggunaan biomassa sebagai sumber energi.

Tabel 5 Nilai kalor bungkil jarak.

HHV (Mj/Kg)	Referensi
19.12	Cao <i>et al.</i> (2016)
21.58	Sokoto & Bhaskar (2018)
20.50	Silva <i>et al.</i> (2014)
22.27	Chen <i>et al.</i> (2014)

Jumlah bungkil yang digunakan masih lebih kecil dari bungkil yang dihasilkan, sehingga kebutuhan bahan baku untuk bahan bakar generator dan boiler dapat dipenuhi secara mandiri. Dengan penggantian bahan bakar tersebut maka emisi dari pabrik adalah nol dengan asumsi penggunaan bahan bakar biomassa adalah *carbon neutral*. Sehingga secara keseluruhan mengurangi emisi sebesar 50.44 ton CO_{2-eq} pada tahun 2015 dan 6.27 ton CO_{2-eq} pada tahun 2016. Perubahan penggunaan bahan bakar, limbah dan emisi GRK per satu ton minyak jarak yang dihasilkan disajikan dalam Tabel 8, dengan input dan output lainnya tetap.

Tabel 6 Total penurunan penggunaan bahan bakar, limbah bungkil dan emisi GRK.

	Satuan	Tahun	
		2015	2016
Solar	L	17 911.78	2 225.25
Bungkil	ton	53.30	6.62
Arang	ton	15.99	1.99
Reduksi emisi	ton CO _{2-eq}	50.44	6.27

Tabel 7 Proporsi penggunaan sumber bahan bakar.

<i>Unit Process</i>	2015		
	Bensin (l)	Solar (l)	Bungkil (kg)
Budidaya	17 916.30		
Trasnportasi	2 342.87	223 271.07	
Ekstraksi			680 647.56
<i>Unit Process</i>	2016		
	Bensin (l)	Solar (l)	Bungkil (kg)
Budidaya	851.40		
Trasnportasi	4 539.86	49 751.35	
Ekstraksi			84 559.50

Tabel 8 Perubahan penggunaan sumber energi, limbah dan emisi produksi per ton minyak jarak.

	Satuan	BAU	Alternatif	Reduksi
Energi				
Solar	l	219.75	66.55	153.19
Limbah				
Bungkil Jarak	ton	1.23	0.77	0.46
Emisi				
GRK	ton CO _{2-eq}	1.03	0.60	0.43

SIMPULAN

LCA minyak jarak dibatasi pada *cradle to gate*, dimana terdapat 3 unit *process* yang diamati, yaitu tahap budidaya, transportasi dan ekstraksi minyak jarak. Untuk menghasilkan 1 ton minyak jarak, diperlukan input berupa bahan baku biji jarak sebesar 2.42 ton, energi 8 604.60 MJ. Penggunaan energi terbesar terdapat pada *unit process* ekstraksi minyak sebesar 67%.

Emisi GRK dalam produksi 1 ton minyak jarak sebesar 1.03 ton CO_{2-eq}. Emisi terbesar berasal dari *unit process* ekstraksi minyak jarak (41.62%), budidaya (38.81%) dan transportasi (19.57%). Alternatif penurunan emisi dapat dilakukan dengan pemanfaatan limbah bungkil sebagai bahan bakar biomassa. Simulasi perhitungan penggantian bahan bakar solar menjadi biomassa, didapatkan penurunan emisi sebesar 50.44 ton CO_{2-eq} pada tahun 2015 dan 6.27 ton CO_{2-eq} pada tahun 2016, atau sebesar 0.43 ton CO_{2-eq} per ton minyak jarak yang dihasilkan menjadi 0.60 ton CO_{2-eq} per ton minyak jarak yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [FAO] Food and Agricultural Organization. 2017. *FAOSTAT* [internet]. [diunduh pada 14 Agu 2017]. Tersedia pada: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>.
- [ISO] International Standard Organization. 2006. *ISO 14040 Enviromental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. Switzerland (CH): ISO.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 3 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Dan Penyerapan Gas Rumah Kaca Pertanian, Kehutanan, Dan Penggunaan Lahan Lainnya*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Aldobouni IA, Fadhil AB, Saied IK. 2015. Conversion of de-oiled castor seed cake into bio-oil and carbon adsorbents. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utulization, and Environmental Effect*. 37(24): 2617-2624.
- Anam BK. 2015. Potensi Peningkatan Efisiensi Boiler dan Pengurangan Penggunaan *Industrial Diesel Oil* (IDO) pada Pabrik Gula [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Bauddh K, Singh RP. 2012. Growth, tolerance efficiency and phytoremediation potential of *Ricinus Communis* (L.) and *Brasica Juncea* (L.) in salinity and drought affected cadmium contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 85: 13-22.
- Canoira L, Galean JG, Aicantara R, Lapuerta M, Garcia-Contreras R. 2010. Fatty Acid Methyl Esters (FAMES) from Castor Oil: production process assessment and synergetic effects in its properties. *Renewable Energy*. 35:208-217.
- Cao L, Yuan X, Jiang L, Li C, Xiao Z, Hunag Z, Chen X, Zeng G, Li H. 2016. Thermogravimetric Characteristic and Kinetics Analysis of Oil Cake and Torrefied Biomass Blend. *Fuel*. 175:129-136.
- Carlsson AS, Yilmaz JL, Green AG, Symne Sten, Hovfander P. 2011. Replacing fossil oil with fresh oil – with what and for what. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 113:812-831.
- Carrico CS, Fraga T, Carvalho VE, Pasa VMD. 2017. Polyurethane Foams for Thermal Insulation Uses Produced from Castor Oil and Crude Glycerol Biopolyols. *Molecules*. 22(7): 1091.
- Chen GL, Chen GB, Li YH, Wu WT. 2014. A study of thermal pyrolysis for castor meal using taguchi method. *Energy*. 71; 62-70.
- Elmunafi MHS, Yusof NM, Kurniawan D. 2015. Effect of cutting speed and feed in turning hardened stainless steel using coated carbide cutting tool under minimum quantity lubrication using castor oil. *Advances in Mechanical Engineering*. 7(8): 1-7.
- Finkbeiner M, Inaba A, Tan RBH, Christiansen K, Kluppel HJ. 2006. The new international standards for life cycle assesment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of LCA*. 11(2):80-86.

- Greco-Duarte J, Cavalcanti-Oliveira ED, Da Silva JAC, Fernandez-Lafuente R, Freire DMG. 2017. Two-step enzymatic production of environmentally friendly biolubricants using castor oil: enzyme selection and product characterization. *Fuel*. 202:196-205.
- Harris, Anam S, Mahmudsyah S. 2013. Studi pemanfaatan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Teknik POMITS*. 1(2).
- Huang H, Yu N, Wang L, Gupta D.K, He Z, Wang K, Zhu Z, Yan X, Li T, Yang X. 2011. The phytoremediation potential of bioenergy crop *ricinus communis* for dds and cadmium co-contaminated soil. *Bioresources Technology*. 102:11034-11038.
- Kiran dan Prasad. 2017. *Ricinus communis* L. (Castor bean), a potential multi-purpose environmental crop for improved and integrated phytoremediation. *The Eurobiotech Journal*. 1(2):1-16.
- Klöpffer W, Grahl B. 2014. *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. Weinhem (DE): Wiley-VCH Verlag GmbH
- Lehman J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Bio-charAH GAAH Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptaion Strategies for Global Change*. 11: 403-427.
- Mendes MG, Santos CDJr, Dias ACC, Bonetti AM. 2009. Castor Bean (*Ricinus communis* L.) as a Potential Environmental Bioindicator. *Genetics and Molecular Research*. 14(4): 12880-12887.
- Olivares AR, Carrillo-Gonzales R, Gonzales-Chavez MDCA, Hernandez RMS. 2012. Potential of Castor Bean (*Ricinus communis* L.) for Phytoremradiation of Mine Tailings and Oil Production. *Journal of Environmental Management*. 114: 316-323.
- Parinduri L. 2016. Analisa Pemanfaatan Biomassa Pabrik Kelapa Sawit Untuk Sumber Pembangkit Listrik. *Journal of Electrical Technology*. 2(1): 37-40.