Laporan
PENILAIAN SIKLUS HIDUP (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*)
7 KOMODITAS PANGAN BIJAK NUSANTARA

Disusun oleh:
Jimmi R P Tampubolon
Joshua Breighnmamana
Jeremy Simarmata
Arie Mardjan

Di review oleh: Armansyah H. Tambunan(Professor at the Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University)

2021

Laporan ini diproduksi dengan dukungan keuangan dari Uni Eropa. Isi dari laporan ini sepenuhnya adalah tanggung jawab penulis dan tidak mencerminkan pandangan dari Uni Eropa

EXECUTIVE SUMMARY

Studi LCA (Life Cycle Assessement) dijalankan sebagai upaya guna menyelidiki dan melakukan penilaian dampak lingkungan yang timbul akibat dari keberadaan suatu produk. Dalam kajian ini terdapat 7 komoditas pangan seperti beras, sagu, garam, madu hutan, kopi, VCO, dan gula aren. Lokasi tempat budidaya masing – masing komdoditas yang diamati dalam kajian ini tersebar di beberapa daerah. Seperti beras ladang di Melawi, sagu dari Kepulauan Meranti, madu hutan dari Danau Sentarum Kapuas Hulu, kopi dari Enrekang, VCO yang berasal dari Nias Utara, serta gula aren berasal dari Kolaka. Seluruh komoditas tersebut diidentifikasi secara detail dampaknya terhadap lingkungan. Dewasa ini istilah yang menjad penanda dari dampak lingkungan yang timbul lewat proses produksi suatu bahan pangan dikenal juga dengan istilah food miles. Imbas dari keberadaan komoditas tersebut juga ditarik kepada pengaruh yang dihasilkan bagi manusia atau diketahui sebagai *human toxicity*.

Seluruh komoditas tersebut tentu akan menjadi bahan makanan bagi manusia, sehingga pelaksanaan studi ini tidak mengenyampingkan unsur keamanan pangan bagi para konsumen. Hal ini menjadi penting sebab salah satu variable untuk menyusun Global Food Security Index (GFSI). Indeks tersebut menyajikan potret ketahanan pangan di suatu negara dari berbagai aspek salah satunya adalah keamanan pangan (*quality and food safety*). Dari aspek keamanan pangannya, pada tahun 2020 Indonesia berada pada poin 47.1. Masih tertinggal dengan beberapa negera seperti Ekuador (58.4), Yordania (54.2) dan Filipina (50.3). Jelas sudah kalau agenda penyedian pangan yang berkualiatas dan aman bagi konsumen masih menjadi pekerjaan rumah bagi Indonesia. Oleh sebab itu, LCA adalah salah satu tools yang terbukti mampu mengatasi persoalan keamanan pangan bagi manusia. Lewat kajian ini, tentu akan dilahirkan berbagai macam tawaran agar 7 komoditas sebagaimana telah disebut sebelumnya dapat hadir di tangan konsumen sebagai produk pangan yang ramah lingkungan, lestari, dan sehat. Disamping itu, penggunaan LCA merupakan langkah mewujudkan Sustainable Development Goals (SDGs) 12, yaitu konsumsi dan produksi yang bertanggungjawab (responsible consumption and production).

Pelaksanaan kajian ini dilakukan sepanjang tahun 2020 sampai dengan pertengahan tahun 2021. Temuan yang diperoleh sangat heteregon antar komoditas dan setiap unit proses pengolahannya.

Temuan dari kajian ini menyingkap potensi dampak lingkungan pemanasan global (*global warming potential*) yang terbesar disebabkan penggunaan pupuk urea pada tahap pemerliharaan tanaman padi serta penyiapan lahan. Selain itu juga ada potensi dampak lingkungan terhadap pemanasan global yan timbul dari proses penggilingan padi. Apabila masyarakat tradisional di Melawi melakukan produksi padi tanpa mempergunakan pupuk kimia, maka kategori dampak pemanasan global yang diprediksi timbul dalam kajian ini dapat dikurangi sebanyak 50%. Sehingga apabila berdasarkan pengalaman masyarakat hasil produksi padi relatif sama dengan melakukan produksi dengan berpindah lahan dibandingkan dengan yang mempergunakan pupuk

kimia maka lahan berpindah akan lebih ramah lingkungan karena pemeliharaan dapat berkontribusi sebesar 51,2 % terhadap pemanasan global sementara penyiapan lahan dapat berkontribusi sebesar 47,3%.

Beranjak ke komoditas tanaman pangan kedua, yaitu sagu. Hasil kajian menemukan bahwa pembuatan mie sagu dan sagu telur, paling besar menimbulkan potensi dampak untuk kategori *Ozone Formation* (*Human*) dan *Ozon Formation* (*Vegetation*) yang berpotensi ditimbulkan dari penggunaan kayu bakar dan kulit sagu. Pada pengolahan sagu, kontribusi terhadap berbagai dampak lingkungan juga ditimbulkan pada proses pembuatan sagu basah sebagai bahan baku mie sagu dan sagu telur disebabkan penggunaan mesin berbahan bakar solar pada proses pemarutan. Selain itu penggunaan energi listrik pada produksi mie sagu untuk mengoperasikan *noodle machine* juga berpotensi menimbulkan dampak pada berbagai kategori. Dampak lingkungan berkaitan dengan *Ozone Formation (Human*) dapat dicegah dengan memastikan proses pembuatan sagu basah yaitu beroperasinya mesin dengan bahan bakar solar, pemasakan mie sagu dan sagu telur dengan penggunaan kayu bakar dan kulit tual sagu tidak dilakukan dalam ruang tertutup serta didukung dengan penggunaan *exhaust fan* untuk menghindari produsen menghirup NO_2 diluar kewajaran yang dapat mengganggu kesehatan. Selain itu alternatif untuk proses pemasakan dengan bahan bakar lain yang lebih ramah lingkungan dapat dipertimbangkan dan dilakukan kajian lebih lanjut.

Produksi garam berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang terbesar adalah dampak lingkungan toxisitas manusia melalui udara (*human toxicity air*) yang berpotensi ditimbulkan dari penggunaan geomembran, hal ini tentu berbeda dengan tambak garam tradisional. Faktor terbesar kedua yang menimbulkan kategori dampak *human toxicity* adalah penggunaan karung plastik sebagai kemasan dalam pengangkutan garam.Proses yang dapat menimbulkan dampak lingkungan juga adalah penggunaan bahan bakarpada pemompaan air yang dapat menimbulkan beragam dampak lingkungan dimana salah satu yang terbesar ialah *human toxicity air* dan juga termasuk *global warming*, asidifikasi, dan eutrofikasi. Dampak lingkungan yang disebabkan dari penggunaan bahan bakar ini dapat dikurangi dengan menggunakan mesin berbahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan kincir angin pada tambak garam merupakan salah satu tehnik yang ramah lingkungan dalam produksi garam.

Potensi dampak lingkungan terbesar pada produksi madu hutan adalah pemanasan global dan *human toxicity* yang sebagian besar adalah kontribusi dari proses pemasangan tikung dan pemanenan madu yang ditimbulkan dari penggunaan BBM pada mesin *speedboat*. Dampak lingkungan eutrofikasi dan asidifikasi yang berpotensi ditimbulkan dari produksi madu hutan berasal dari penggunaan jerigen untuk kemasan madu pada saat dijual. Untuk mengurangi dampak lingkungan pada produksi madu, perlu dilakukan penghematan dalam penggunaan BBM pada alat transportasi.

Proses produksi kopi yang perlu menjadi perhatian karena memberikan kontribusi terhadap potensi dampak lingkungan yang signifikan dari beberapa kategori dampak lingkungan (global warming, asidifikasi, eutrofikasi) yaitu penggunaan pupuk kimia seperti urea dan pada tahap perawatan

tanaman, penggunaan bahan bakarpada mesin *haller*, pemanfaatan energi listrik dan penggunaan gas LPG.

Potensi dampak lingkungan yang timbul dari produksi VCO terbesar adalah pemanasan global (global warming potential) dan asidifkasi yang ditimbulkan dari pembakaran sabut kelapa di kebun pada tahapan proses pemeliharaan tanaman. Dampak lingkungan eutrofikasi disebabkan oleh penggunaan BBM pada pengankutan hasil panen, serta penggunaan karung sebagai media pemerasan santan. Selanjuntya, penggunaan kayu bakar pada proses pemasakah air nira dalam produksi gula aren berpotensi memicu dampak lingkungan pemanasan global, sebaiknya dilakukan modifikasi tungku pemasakan agar memaksimalkan kalor yang dihasilkan dalam proses pembakaran kayu sehingga dapat mempercepat proses pemasakan dan penggunaan kayu bakar lebih optimal. Penggunaan minyak goreng dapat disubsitusi dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan seperti lilin madu yang juga telah dimanfaatkan oleh beberapa produsen gula aren.

Fenomena potensi dampak yang telah ditemukan dan dikuantifikasi dalam kajian ini tentu berguna dalam penyusunan peta jalan menuju produk pangan bijak dan lestari. Formulasi alternatif strategi pengembangan menuju ke arah penurunan kadar dampak terhadap lingkungan maupun manusia telah dituangkan secara komprehensif dalam laporan ini. Adapun bentuk strategi pengembangan tersebut telah menginternalisasikan aspek – aspek dari kontribusi dampak dan peluang bagi penyempuranan dalam mengolah produk pangan yang lebih lestari.

KATA PENGANTAR

Perubahan iklim secara global telah mengubah wajah penyediaan pangan bagi manusia. Sejak abad ke – 19 pola pertanian sudah menapaki ke arah yang lebih modern. Fungsi guano yang diketahui sebagai pupuk organik dan terkonsentrasi di dekat kawasan pesisir Peru telah terganti. Invensi Haber Bosch menjadi terbosan baru. Pengubahan ion hydrogen dan nitrogen yang ditambang bebas dari udara pada tekanan suhu tinggi, menjadikan petani kita dewasa ini semakin mudah mendapatkan pupuk nitrogen esensial bagi tanaman. Namun cara ini ternyata memberi pengaruh negatif bagi lingkungan, maupun manusia. Sehingga, upaya perbaikan dalam tata kelola pertanian tanaman pangan kita mesti segera dibenahi.

Sebagai suatu pendekatan yang ilmiah, *Life Cycle Assessment* hadir dengan jawaban untuk perumusan peta jalan pengelolaan bahan pangan yang bertanggung jawab, berwawasan lingkungan dan berkeadilan. Pendekatan tersebut sudah dilakukan dalam menilai 7 komoditas tanaman pangan lokal yang menjadi unit analisis dalam kajian ini. Berbagai macam temuan yang berhubungan dengan potensi dampak lingkungan telah berhasil diangkat ke dalam laporan ini. Tidak hanya itu, kategori potensi dampak terhadap manusia pun tidak luput dalam kacamata tim peneliti. Potensi dampak yang ditangkap dari hasil pengamatan dilapang dengan cara pengukuran langsung, maupun merujuk keterangan dari para responden, kini telah dikuantifikasikan. Langkah ini akan memudahkan kita untuk melihat lebih dalam pada unit proses mana suatu produk pangan menyumbangkan dampak terhadap lingkungan maupun manusia.

Akhirnya, dengan mencermati seluruh temuan dari proses pengolahan data yang sudah dilakukan oleh tim peneliti maka dapatlah dirumuskan beberapa strategi yang dapat diadopsi. Strategi ini dikonstruksikan demi terciptanya sistem pengolahan suatu produk pangan yang bijak dan lestari. Tak ada gading yang tak retak, demikian juga hasil kajian yang dilakukan oleh tim peneliti. Kami memohon maaf apabila terdapat kekurangan dalam studi ini. Masukan dan kritik sangatlah berharga bagi pelaksanaan kegiatan serupa di masa yang akan datang. Semoga hasil kajian ini dapat bermanfaat dalam mewujudkan suatu produk pangan yang lestari, dan juga aman terhadap manusia yang menikmatinya.

DAFTAR ISTILAH DAN AKRONIM

Alokasi	:	Pembagian aliran-masukan atau aliran-keluaran dari suatu proses atau sistem-produk, antara sistem-produk yang dikaji dengan satu atau lebih sistem-produk lainnya
Aliran produk	:	Produk yang masuk-dari atau keluar-ke sistem produk yang lain
AP	:	*Acidification Potential*
Bahan baku	:	Bahan primer atau sekunder yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk
Batas Sistem	:	Rangkaian kriteria untuk menetapkan unit proses mana saja yang menjadi bagian dari sistem produk
BBM	:	Bahan Bakar Minyak
BST	:	Bulan Setelah Tanam
BRD	:	*Biotic Resource Depletion*
Cakupan waktu	:	Umur data dan rentang waktu minimum pengumpulan data
Cakupan geografis	:	Area geografis dimana data unit-proses sebaiknya dikumpulkan untuk mencapai tujuan kajian
Co-product	:	Satu diantara dua atau lebih produk yang keluar dari unit-proses atau sistem-produk yang sama (*any of two or more products coming from the same unit process or product system*)
Ca^{2+}	:	Calsium
Cl^{-}	:	Klorin
CO_3^{2-}	:	Karbonat
CO_2	:	Karbon Dioksida
EP	:	*Eutrofication Potential*
$FeSO_4$	:	Fero Sulfat
FU	:	Fungsional Unit
GWP	:	*Global Warming Potential*; potensi pemanasan global
Hasil LCI	:	Hasil analisis inventori-daur-hidup yang mencatat aliran yang melintas batas sistem, yang menjadi landasan bagi kajian dampak daur hidup
HCO_3^{-}	:	Bikarbonat
HDPE	:	*High Density Polyethylene*
ISO	:	*International Standardization Organization*
Kategori dampak	:	Pengelompokan yang mewakili isu lingkungan yang perlu diperhatikan, yang bisa dihubungkan dengan hasil analisis inventori daur hidup
Kriteria cut-off	:	Penetapan jumlah aliran bahan atau energi atau tingkat kepentingan lingkungan yang terkait dengan suatu unit proses atau sistem produk yang dikeluarkan dari lingkup kajian
Kualitas data	:	Karakteristik data yang terkait dengan kemampuannya memenuhi persyaratan yang ditetapkan
K^{+}	:	Kalium

Lepasan	:	Emisi ke udara dan buangan ke air dan tanah *(releases = emissions to air and discharges to water and soil)*
LCA	:	*Life Cycle Assesment*
LCI	:	*Life Cycle Inventory*
LCIA	:	*Life Cycle Impact Assesement*
Mg^{2+}	:	Magnesium
NaCl	:	Natrium Clorida
NO_2^-	:	Nitrit
NO_3^-	:	Nitrat
NTFP	:	*Non Timber Forest Product*
Presisi	:	Ukuran variabilitas dari nilai data (misalnya, varian)
PO_4^{3-}	:	Fosfat
Sistem produk	:	Kumpulan dari beberapa unit proses, yang terdiri dari aliran-dasar dan aliran-produk, untuk melakukan satu atau beberapa fungsi, yang memodelkan daur hidup suatu produk
Unit fungsi	:	Kinerja yang terukur dari sistem produk yang digunakan sebagai unit rujukan
Unit proses	:	Unsur terkecil dalam analisis inventori daur hidup dimana data masukan dan keluaran dihitung
VCO	:	*Virgin Coconut Oil*
Waste	:	Bahan atau obyek, yang mana pemiliknya berniat memusnahkan atau diwajibkan memusnahkan (substances or objects which the holder intends or is required to dispose of

DAFTAR ISI

EXECUTIVE SUMMARY i
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISTILAH DAN AKRONIM v
DAFTAR ISI vii
I. PENDAHULUAN 1
1. Latar Belakang 1
2. Tujuan 3
1) Mengidentifikasi dampak lingkungan produksi 7 komoditas yang telah ditentukan. 3
2) Mengetahui intervensi apa yang dapat dilakukan terhadap 7 komoditas yang diusahakan. 3
II. METODOLOGI 4
1. Perumusan Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal and Scope*) 4
2. Analisis Data Persediaan (Life Cycle Inventory Analysis; LCIA) 5
3. Perhitungan dampak dengan perangkat lunak SIMAPRO 7
4. Interpretasi 9
III. HASIL STUDI LCA 7 KOMODITI PANGAN BIJAK NUSANTARA 11
A. Hasil Studi LCA Beras Ladang Melawi 11
1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Beras Ladang 11
2. Analisis Data Persediaan Beras Ladang Melawi 12
3. Kajian Dampak Lingkungan 16
4. Interpretasi Dampak Lingkungan Beras Ladang Melawai 21
B. Hasil Studi LCA Sagu (Mie Sagu dan Sagu Telur) Kep. Meranti 22
1. Tujuan dan Ruang Lingkup Sagu 23
2. Analisis Data Persediaan Sagu 23
3. Kajian Dampak Lingkungan 29
4. Interpretasi Dampak Lingkungan Sagu 42
C. Hasil Studi LCA Garam 45
1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Garam 46
2. Analisis Data Persediaan Garam 47
3. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Garam 51

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Garam 66
D. Hasil Studi LCA Madu Hutan (revisi penjelasan madu hutan tikung) 70
1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Madu Hutan 70
2. Analisis Data Persediaan Madu Hutan 71
3. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Madu Hutan 75
4. Interpretasi Dampak Lingkungan Madu Hutan 82
E. Hasil Studi LCA Kopi Enrekang 84
1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Kopi Enrekang 84
2. Analisis Data Persediaan Kopi Enrekang 85
3. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Kopi Enrekang 89
4. Interpretasi Dampak Lingkungan Kopi Enrekang 97
F. Hasil Studi LCA VCO 98
1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA VCO 98
2. Analisis Data Persediaan VCO 99
3. Kajian Dampak Lingkungan 104
4. Interpretasi Dampak Lingkungan Produksi VCO 110
G. Hasil Studi LCA Gula Aren 111
1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Gula Aren 112
2. Analisis Data Persediaan Gula Aren 113
3. Kajian Dampak Lingkungan 116
4. Interpretasi Dampak Lingkungan Gula Aren 122
IV. REKOMENDASI 124
V. DAFTAR PUSTAKA 127
LAMPIRAN 1. PESERTA FGD 130
LAMPIRAN 2. GAMBARAN GOAL DAN SCOPE MASING – MASING KOMODITAS .. 131
LAMPIRAN 3. NAMA RESPONDEN DALAM INVENTORI DATA LCA 133
LAMPIRAN 4. CONTOH KUESIONER INVENTORY DATA 135
LAMPIRAN 5. CONTOH MATRIKS INVENTORI DATA 1

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Inventori Penyiapan Lahan Padi 14
Tabel 2. Inventori Penanaman Padi 15
Tabel 3. Inventori Pemeliharaan Padi 15
Tabel 4. Inventori Pemanenan Padi 15
Tabel 5. Inventori Pasca Panen Padi 16
Tabel 6. Inventori Pengemasan Beras 16
Tabel 7. Inventory Pemanenan Sagu 27
Tabel 8. Inventori Pengolahan tual sagu menjadi sagu basah 27
Tabel 9. Rangkuman analisis persediaan pengolahan sagu basah menjadi mie sagu 28
Tabel 10. Rangkuman analisis persediaan pengolahan sagu basah menjadi mie sagu 28
Tabel 11. Export hasil analisis LCIA mie Sagu (Characterization) 40
Tabel 12. Export hasil analisis LCIA Sagu Telur (characterization) 40
Tabel 13. Perbandingan Hasil Produksi Mie Sagu dan Sagu Telur ..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 14. Data inventori LCA Garam Krosok 49
Tabel 15. Export hasil analisis LCIA garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Characterization) 62
Tabel 16. Export hasil analisis LCIA garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Characterization) 63
Tabel 17. Export hasil analisis LCIA perbandingan garam pada tambak geomembrane dan garam tambak tradisional (Characterization) 67
Tabel 18. Export hasil analisis LCIA perbandingan garam pada tambak geomembrane dan garam tambak tradisional (Normalization) 68
Tabel 19. Inventori Pembuatan Tikung Madu Hutan 73
Tabel 20. Inventori Pemasangan Tikung Madu Hutan 73
Tabel 21. Inventori Pra Pemanenan Madu Hutan 74
Tabel 22. Inventori Pemanenan Madu Hutan 74
Tabel 23. Inventori Penetesan dan Penyaringan Madu Madu Hutan 74
Tabel 24. Inventori Pengemasan Madu Hutan 75
Tabel 25. Export hasil analisis LCIA Madu Hutan (dampak) 81

Tabel 26. Inventori Perawatan Kopi 87
Tabel 27. Inventori Pemanenan Kopi 88
Tabel 28. Inventori Pengupasan Kopi 88
Tabel 29. Inventori Pengeringan Kopi 88
Tabel 30. Inventori Penyagraian Kopi 89
Tabel 31. Export hasil analisis LCIA Kopi Enrekang (Characterization) 95
Tabel 32. Inventori Pembibitan Kelapa 101
Tabel 33. Inventori Pembersihan Lahan dan Penanaman Kelapa 101
Tabel 34. Inventori Pemeliharaan Kelapa 102
Tabel 35. Inventori Pemanenan dan Pengupasan Kelapa 102
Tabel 36. Inventori Pemarutan Kelapa 103
Tabel 37. Inventori Pemerasan dan Pengendapan Santan Kelapa 103
Tabel 38. Inventori Pengemasan VCO 104
Tabel 39. Export hasil analisis LCIA Produksi VCO (dampak) 108
Tabel 40. Inventori Persiapan Pemanenan Nira 115
Tabel 41. Inventori Pemanenan Nira 115
Tabel 42. Inventori Pemasakan Nira 116
Tabel 43. Export Hasil Analisis LCIA Gula Aren (Dampak) 121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Alir Analisis Persediaan (ISO 14040: 2006) 5
Gambar 2. Model dan ruang lingkup studi LCA Beras 12
Gambar 3. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak : Global Warming Potential) 17
Gambar 4. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak : Acidification) 18
Gambar 5. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak : Terrestrial Eutrophication) 18
Gambar 6. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP(N)) 19
Gambar 7. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP(P) 19
Gambar 8. Aliran Proses dalam Lingkup Studi LCA Sagu 23
Gambar 9. Aliran Input dan Output Pada Setiap Unit Proses 24
Gambar 10. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Global Warming) .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar 11. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Global Warming) 30
Gambar 12. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Acidification) 31
Gambar 13. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Acidification) ... 31
Gambar 14. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Terresterial eutrophication) 32
Gambar 15. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Terresterial eutrophication) 33
Gambar 16. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : eutrophication EP (N)) 34
Gambar 17. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : eutrophication EP (N)) 34
Gambar 18. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : eutrophication EP (P)) 35
Gambar 19. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : eutrophication EP (P)) 35

Gambar 20. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Humantoxicity Air) 36

Gambar 21. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Humantoxicity Air) 37

Gambar 22. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Humantoxicity water) 38

Gambar 23. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Humantoxicity water) 38

Gambar 24. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Humantoxicity soil) 39

Gambar 25. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Humantoxicity soil) 39

Gambar 26. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (Characterization) 41

Gambar 27. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (Characterization) ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 28. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (Normalization) ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 29. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (Normalization) 41

Gambar 30. Model dan ruang lingkup studi LCA Garam 46

Gambar 31. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembran dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Global Warming) 52

Gambar 32. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Global Warming)..... 53

Gambar 33. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Acidification) 53

Gambar 34. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Acidification)..... 54

Gambar 35. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Terresterial eutrophication)..... 54

Gambar 36. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Terresterial eutrophication) 55

Gambar 37. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (N)) 56

Gambar 38. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (N)) 57

Gambar 39. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (P)) 57

Gambar 40. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (P)) 58

Gambar 41. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Solar (kategori dampak : Humantoxicity Air) 59

Gambar 42. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Solar (kategori dampak : Humantoxicity Air) 59

Gambar 43. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Humantoxicity water) 60

Gambar 44. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Humantoxicity water) 60

Gambar 45. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Humantoxicity soil) 61

Gambar 46. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Humantoxicity soil) . 62

Gambar 47. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Characterization) 64

Gambar 48. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Normalization) 64

Gambar 49. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Characterization) 65

Gambar 50. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Normalization) 66

Gambar 51. Model dan ruang lingkup studi LCA madu hutan 71

Gambar 52. Hasil Analisis LCIA Produksi 1 Ton Madu Hutan (Kategori Dampak : Global Warming) 76

Gambar 53. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Acidification) 77

Gambar 54. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Terresterial eutrophication) 77
Gambar 55. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : eutrophication EP (N)) 78
Gambar 56. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : eutrophication EP (P)) 78
Gambar 57. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Humantoxicity Air) 79
Gambar 58. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Humantoxicity water) 79
Gambar 59. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Humantoxicity soil) 80
Gambar 60. Grafik hasil analisis LCIA (Characterization) 81
Gambar 61. Grafik hasil analisis LCIA (Normalization) 82
Gambar 62. Model dan ruang lingkup studi LCA kopi enrekang 85
Gambar 63. Hasil Analisis LCIA Produksi 1 Ton Kopi Enrekang (Kategori Dampak : Global Warming) 89
Gambar 64. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang(kategori dampak : Acidification) 90
Gambar 65. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Terresterial eutrophication) 90
Gambar 66. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (N)) 91
Gambar 67. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (P)) 91
Gambar 68. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Humantoxicity Air) 92
Gambar 69. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Humantoxicity water) 92
Gambar 70. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Humantoxicity soil) 93
Gambar 71. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Ecotoxicity water chronic) 94

Gambar 72. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Ecotoxicity water acute) 94
Gambar 73. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Ecotoxicity soil chronic) 95
Gambar 74. Grafik hasil analisis LCIA Kopi (Characterization) 96
Gambar 75. Grafik hasil analisis LCIA Kopi (Normalization) 96
Gambar 76. Model dan ruang lingkup studi LCA VCO 99
Gambar 77. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO(kategori dampak : Global Warming Potential) 105
Gambar 78. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Acidification) . 105
Gambar 79. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Terrestrial Eutrophication) 106
Gambar 80. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP (N)) 107
Gambar 81. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP (P)) 108
Gambar 82. Grafik hasil analisis LCIA Produksi VCO (Characterization) 109
Gambar 83. Grafik hasil analisis LCIA Produksi VCO (Normalization) 110
Gambar 84. Model dan ruang lingkup studi LCA Gula Aren 113
Gambar 85. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak: Global Warming Potential) 117
Gambar 86. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak : Acidification) .. 118
Gambar 87. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak: Terrestrial Eutrophication) 119
Gambar 88. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak: Aquatic Eutrophication EP(N)) 119
Gambar 89. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP(P)) 120
Gambar 90. Grafik Hasil Analisis LCIA Gula Aren 122

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Saat ini, perdagangan dunia membutuhkan *environmental performance* untuk produk baik barang maupun jasa sebagai daya jual dan alat promosinya. Perilaku konsumsi dan produksi yang berkelanjutan dan daya saing produk telah banyak diteliti agar ramah lingkungan. LCA menjadi metode yang tepat digunakan untuk memberikan informasi komprehensif pada sebuah produk (barang/jasa). Informasi tersebut berupa seberapa jauh produk dikatakan ramah lingkungan dan bagaimana keberlanjutannya yang berupa *quantitative claim* dari produk tersebut (Yusuf 2021). Isu keberlanjutan (*sustainability*) menjadi isu internasional sehingga menyebabkan bayak industri semakin mempertimbangkan aspek keberlanjutan dalam suatu output yang mereka produksi (Finkbeiner et al. 2010). Menurut Fauzi (2006) keberlanjutan (*sustainable*) adalah keadaan di mana kegunaan yang diperoleh dari sumber daya pada masa mendatang tidak berkurang. Keberlanjutan merupakan hal kompleks karena melibatkan berbagai aspek atau dimensi keberlanjutan, seperti sumber daya, sosial, ekonomi dan lingkungan (Hall 2001). Isu tersebut menjadi titik tolak lahirnya paradigma pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) yang diprakarsai oleh WCED (*world commission on environment and development*) pada tahun 1987 (Glavic dan Lukman 2007).

Life Cycle Assessment (LCA) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan siklus hidup suatu produk atau jasa sepanjang siklusnya, yaitu sejak bahan atau jasa tersebut belum ada sampai dengan tidak ada lagi (*cradle to grave*) sebagaimana tertuang jelas dalam ISO 14000. LCA juga telah diadopsi dalam Standard Nasional Indonesia (SNI) dalam SNI ISO 14044:2017 dengan Judul Manajemen lingkungan-Penilaian Daur Hidup – Persyaratan dan panduan dan SNI ISO 14040:2016 dengan judul Manajemen lingkungan – penilaian Daur Hidup – Prinsip dan kerangka kerja. Ruang lingkup LCA menurut SNI tersebut adalah membahas aspek lingkungan dan dampak lingkungan potensial (misalnya penggunaan sumber daya dan konsekuensi lingkungan dari lepasan) sepanjang daur hidup produk dari akuisisi bahan baku, produksi, penggunaan, pengolahan akhir, daur ulang dan pembuangan akhir (yaitu cradle-to-grave). LCA dilakukan pada setiap tahapan produksi dan penggunaan bahan atau jasa tertentu sehingga dampak lingkungan yang ditimbulkan di setiap tahapan dapat dianalisis. LCA mampu menghitung beban lingkungan berdasarkan analisis inventori dari penggunaan sumber daya, seperti energi, air, bahan bakar, serta bahan lainnya yang akan dijadikan input dan output pada suatu tahapan produksi. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka akan diketahui dampak lingkungan yang dapat terjadi. Hal ini kemudian dapat diminimalisir dengan perlakuan analisis kembali menggunakan alternatif untuk pengurangan dampak lingkungan yang akan mampu ditimbulkan. (Purwaningsih 2016).

Berdasarkan kebutuhan akan keberlanjutan tersebut, maka model *Life Cycle Assessment* (LCA) pada agroindustri sangat diperlukan untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses budidaya sampai pada tahapan pengolahan pascapanen dan pengemasan. LCA dapat digunakan untuk memperkirakan dampak atau biaya sumber daya termasuk ekstraksi, pemrosesan, penggunaan, dan pembuangan. LCA digunakan untuk mengidentifikasi proses tahapan produksi yang diusahakan sudah efisien dan efektif, sehingga dapat menghasilkan produk ramah lingkungan, yang bukan hanya menguntungkan bagi pelaku usaha tetapi juga pelestarian lingkungan.

Proyek *Local Harvest*, *SWITCH* Asia, atau dikenal dengan PANGAN BIJAK NUSANTARA didanai oleh Uni Eropa untuk mempromosikan konsumsi dan produksi berkelanjutan sistem pangan lokal di Indonesia. Implementasi proyek dilaksanakan oleh konsorsium Pangan Bijak Nusantara (PBNu) yang terdiri dari HIVOS, AMAN, ASPPUK, WWF Indonesia, dan NTFP-EP di 8 propinsi, 14 Kabupaten dan 5 kota di Indonesia dengan periode waktu 4 tahun dimulai pada 2018. Proyek SWITCH Asia memiliki 3 tujuan spesifik sebagai berikut :

- Menstimulasi perubahan signifikan dalam pola konsumsi terhadap produk makanan yang bersumber dari sumber daya yang berkelanjutan dan etis di Indonesia dengan meningkatkan pengetahuan dan kesadaran konsumen tentang dampak pilihan makanan mereka
- Meningkatkan kapasitas UMKM dan produsen makanan -termasuk perempuan dan penduduk asli - untuk menembus pasar
- Membangun lingkungan kebijakan yang menguntungkan untuk penggunaan praktik konsumsi dan produksi pangan berkelanjutan di sektor pangan

Proyek PANGAN BIJAK NUSANTARA dilaksanakan dengan 4 pilar pendekatan, yaitu Lestari, Adil, Sehat dan Lokal. Proyek terdiri atas 3 komponen dengan 3 rumusan output yang diharapkan. Tiga komponen tersebut adalah: Kampanye (konsumen), Peningkatakan Kapasitas (produsen & SMEs) dan Kebijakan (pemerintah). Tiga keluaran yang diharapkan adalah: pertama “Peningkatan aktivisme konsumen, kesadaran, dan permintaan terhadap produk pangan bijak nusantara berkelanjutan” terdiri atas 5 sub output. Kedua, “Hasil yang diharapkan 2: Peningkatan jumlah UMKM dan pedagang retail yang menerapkan praktek – praktek berkelanjutan dalam hal ekonomi, lingkungan dan social” dengan 5 sub output dan termasuk di dalamnya adalah “Lifecycle assessment reports completed for key product types”. Ketiga, “Pemerintah nasional dan lokal mendukung dan mengadopsi kebijakan dan pedoman untuk mempromosikan konsumsi dan produksi pangan bijak nusantara” dengan 5 sub output. Sehubungan dengan salah satu output yang diharapkan pada Komponen 2, maka dilakukan study LCA terhadap 7 komoditi Pangan Bijak Nusantara.

Berkaitan dengan Proyek Pangan Bijak Nusantara tersebut, pada kajian ini dirancang model LCA pada 7 komoditas yang telah ditentukan dan mempunyai kekhususan dalam proses produksi dan pengolahannya. Komoditas yang telah ditentukan tersebut adalah: beras ladang Melawi, sagu Kepulauan Meranti, garam Rembang, madu hutan Danau Sentarum Kapuas Hulu, kopi Enrekang,

VCO Nias Utara, dan gula aren Kolaka. Melalui kajian LCA ini diharapkan dapat menghasilkan data yang *reliable*, sehingga para pelaku yang terlibat pada *value chain* dapat memanfaatkannya dalam proses pengambilan keputusan dan intervensi yang akan dilakukan untuk meminimalisir dampak. Selain itu, hasil dari kajian LCA ini bisa digunakan sebagai pembanding pada kajian LCA dengan produk komoditas yang sama serta memberikan manfaat bagi pelaku industri untuk pengelolaan lingkungan dan menerapkan industri ramah lingkungan, berkelanjutan, dan lestari.

2. Tujuan

Tujuan spesifik dari proyek ini adalah untuk:

1) Mengidentifikasi dampak lingkungan produksi 7 komoditas yang telah ditentukan.
2) Mengetahui intervensi apa yang dapat dilakukan terhadap 7 komoditas yang diusahakan.

II. METODOLOGI

Kajian LCA ini dilakukan dengan mengikuti prosedur standar yang ditetapkan pada ISO 14040 (2006) mengenai Environmental management: Life cycle assessment Principles and framework dan ISO 14044. Standar pelaksanaan LCA terdiri atas 4 langkah, yaitu perumusan tujuan dan ruang lingkup, inventory data, kajian dampak, dan interpretasi, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Perumusan Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal and Scope*)

Tahap penentuan *goal* dan *scope* merupakan tahap awal dalam melakukan analisis LCA. Pada tahap ini ditentukan tujuan dari kajian LCA yang akan dilakukan serta menentukan batasan atau ruang lingkup yang akan dikaji dalam pelaksanaan analisis LCA. Dengan menentukan *goal* dan *scope*, kajian LCA yang dilakukan akan lebih sistematis karena hanya mengacu pada batasan yang telah ditentukan.

Ruang lingkup, termasuk batasan sistem dan tingkat detail LCA tergantung pada subjek dan tujuan penggunaan hasil studi. Kedalaman dan luasnya LCA dapat sangat berbeda tergantung pada tujuan LCA tertentu. Tujuan dan Ruang lingkup harus membahas pendekatan keseluruhan yang digunakan untuk menentukan batasan sistem. Batasan sistem menentukan unit proses yang ada dalam LCA harus mencerminkan tujuan penelitian. Dalam beberapa tahun terakhir, dua pendekatan untuk pembahasan sistem telah muncul. Sering disebut sebagai pemodelan "konsekuensial" dan pemodelan "atribusi". Gambaran diagram alir proses menguraikan semua unit proses yang akan dimodelkan, termasuk hubungan timbal-baliknya.

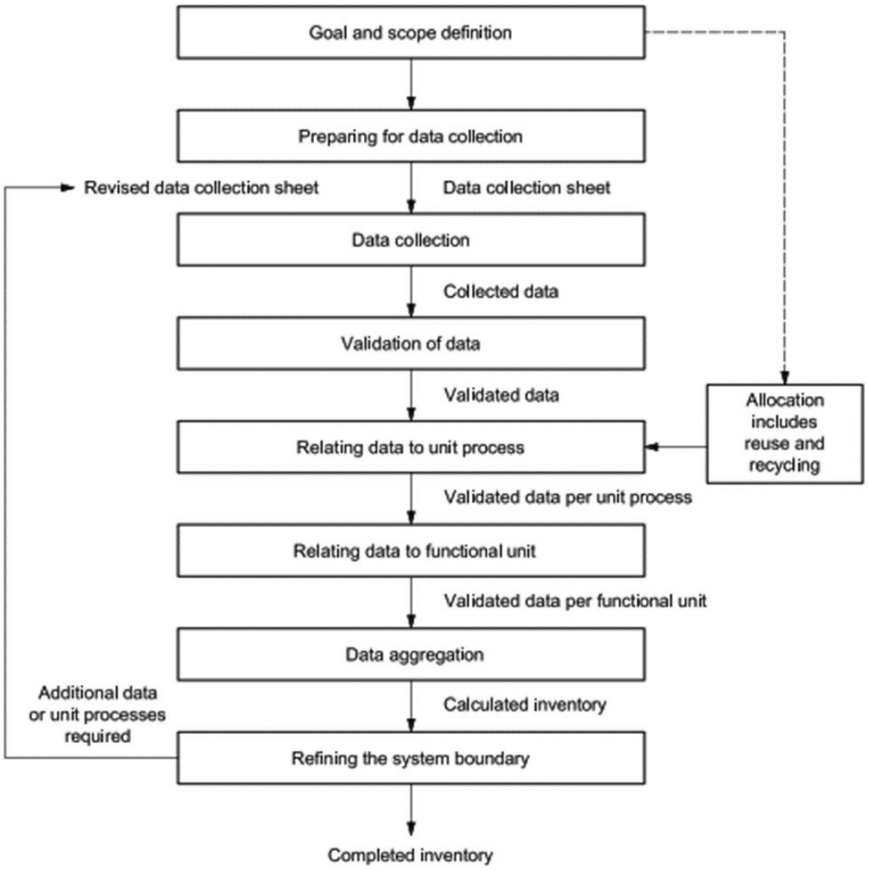
Penentuan *goal* dan *scope* pada komoditas terkait dilakukan secara kolaboratif melibatkan anggota konsorsium Pangan Bijak Nusantara (PBNu) untuk merinci tujuan dan ruang lingkup studi yang bersinggungan dengan aplikasi, dan menggambarkannya dalam sebuah unit fungsional. Berkenaan dengan hal tersebut untuk penentuan *goal* dan *scope* komoditas beras dilakukan diskusi dengan FGD (*focus group discussion*) secara virtual bersama Ibu Merry dan Pak Rico (NTFP EP Indonesia), Pak Dedi Wahyudi (WWF), Yusli Yus (sekretaris pasar kebebu), dan Pak Syahdan Gawai (sawah kebebu) (WWF lapangan), serta tim dari TAMATA. Penetuan *goal* dan *scope* komoditas sagu dilakukan dengan FGD virtual bersama Ibu Merry, Andi Prahmono, Cik Manan (NTFP EP Indonesia), serta tim dari Tamata. Penentuan *goal* dan *scope* komoditas garam juga dilakukan secara virtual. Dalam diskusi penentuan batasan kajian tersebut dihadiri oleh Ibu Merry (NTFP EP Indonesia), Ibu Taty (ASPPUK) Pak Feri dan Pak Sugeng, Pak Moko dan Pak Agung (Produsen), Pak Nasrah (PERSEPSI pendamping *local office*), Ibu Yuli (*Regional coordinator local harvest* PERSEPSI Rembang). Untuk komoditas madu hutan penentuan *goal* dan *scope* dilakukan bersama dengan Ibu Merry, Ibu Bibong serta tim dari Tamata.

Komoditas Kopi Enrekang *goal* dan *scope* yang ditentukan dalam kajian ini sebelumnya telah melibatkan Ibu Merry Tobing (NTFP EP Indonesia), Andri Cheng Sutan Sati, Ferin Nur Oktaviani (AMAN), Hendra, Herman (Produsen Kopi), serta tim dari Tamata. Selanjutnya, untuk komoditas VCO penentuan *goal* dan *scope* dilakukan bersama Ibu Merry (NTFP EP Indonesia), Ibu Taty

(ASPPUK) Pak Fen, Pak Soki, Ibu Sabar, Ibu Yani (Produsen di Nias), serta tim dari Tamata. Komoditas yang terakhir adalah gula aren. Penentuan goal dan scope untuk gula aren dilakukan dengan melibatkan Ibu Merry (NTFP EP Indonesia), Ibu Taty (ASPPUK) Marleni (Regional Coordinator), Sufriadi Safar selakuk pendamping lapang Alpen Sulawesi Tenggara, serta tim dari Tamata (Lampiran 1).

2. Analisis Data Persediaan (*Life Cycle Inventory Analysis; LCIA*)

Analisis persediaan adalah tahapan LCA yang meliputi kompilasi dan kuantifikasi asupan-keluaran (*input-output*) untuk suatu produk atau jasa tertentu sepanjang daur-hidupnya. Data yang dianalisis meliputi asupan dalam hal air, energi dan bahan mentah, serta keluaran ke udara, lahan dan air. Analisis persediaan dapat dilakukan berdasarkan kajian literatur, simulasi proses, atau pengambilan data lapangan melalui survei. Analisis persediaan yang dilakukan pada studi ini didasarkan pada kombinasi tiga teknik tersebut, yaitu survei lapangan, kajian literatur, dan simulasi proses. Alur analisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Analisis Persediaan (ISO 14040: 2006)

Pelaksanaan pengumpulan data bertumpu pada dua aktivitas yaitu penggalian informasi dengan panduan kuisioner dan dokumentasi pada setiap aktivitas produksi sesuai dengan prinsip transparasi LCA. Kelengkapan data juga menjadi bagian penting agar dapat diteruskan ke fase LCA berikutnya. Apabila data yang dikumpulkan lengkap, maka dilanjutkan kepada

tahap proses kalkulasi data. Apabila data yang diambil tidak lengkap, maka dilakukan perubahan terhadap ruang lingkup studi. Berikut adalah langkah-langkah pengumpulan data yang dilakukan berdasarkan diagram alir proses yang telah dimodelkan pada langkah sebelumnya dalam studi LCA ini:

1) Mendeskripsikan setiap unit proses secara rinci, terkait masukan dan keluaran yang berpengaruh
2) Membuat daftar aliran dan kondisi operasi setiap unit proses
3) Membuat daftar unit proses yang digunakan
4) Mendeskripsikan teknik pengumpulan dan perhitungan data
5) Mendokumentasikan setiap kasus khusus, penyimpangan, atau hal lain yang berkaitan dengan data.

Prosedur penghitungan dan validasi data didasarkan pada keterkaitan data dengan satuan proses, dan hubungan data dengan aliran referensi dari unit fungsional, sehingga dihasilkan inventarisasi data untuk setiap unit proses dan untuk unit fungsional yang ditentukan. Perhitungan aliran energi harus memperhitungkan bahan bakar dan sumber listrik yang digunakan, yaitu efisiensi konversi dan distribusi aliran energi, serta input dan output yang terkait dengan poembangkitan dan penggunaan aliran energi itu. Semua prosedur perhitungan didokumentasikan secara eksplisit dan asumsi yang dibuat harus dinyatakan dengan jelas. Prosedur perhitungan yang sama harus diterapkan secara konsisten selama penelitian.

Saat menentukan aliran elementer yang terkait dengan produksi, penambahan material produksi aktual harus digunakan bila memungkinkan, untuk mencerminkan berbagai jenis sumber daya yang dikonsumsi. Sebagai contoh, untuk produksi dan penggunaan listrik, efisiensi bahan bakar harus diperhitungkan pembakaran, konversi, kehilangan transmisi dan distribusi. Input dan output yang terkait dengan bahan yang mudah terbakar (misalnya minyak, gas atau batu bara) dapat diubah menjadi energi input atau output dengan mengalikannya dengan panas pembakaran yang relevan. Dalam hal ini, harus dilaporkan apakah digunakan nilai kalor yang lebih tinggi (higher heating value/HHV) atau nilai kalor yang lebih rendah (lower heating value/LHV).

Untuk memudahkan dalam menentukan Goal dan Scope diperlukan informasi berkaitan dengan permasalahan utama dari setiap proses produksi komoditi dan dampak yang akan dianalisis. Penambahan input dan output pada setiap proses meliputi sektor budidaya komoditi sampai pada tahap pengemasan suatu komoditi/produk.

3. Perhitungan dampak dengan perangkat lunak SIMAPRO

Perhitungan dampak dilakukan dengan perangkat lunak dengan asupan data dari hasil analisis persediaan seperti dijelaskan sebelumnya. Asupan data merupakan nilai rata-rata dari sejumlah responden yang disurvei. Parameter dampak untuk masing-masing komoditi ditentukan melalui Focus Group Discussion (FGD) yang dilakukan melalui kegiatan *Training of Trainer* (TOT) disajikan dalam Lampiran 2.

Terdapat beberapa software yang dapat mewadahi kegiatan LCA. Penggunaan software yang baik dapat dilihat berdasarkan struktur, *display of process*, transparasi, *database*, metode kalkulasi, serta metodologinya. SimaPro merupakan software yang digunakan untuk melakukan analisis LCA ini. SimaPro merupakan alat profesional yang membantu proses analisa aspek yang berkaitan dengan lingkungan dari produk yang diproduksi (Santoso dan Ronald, 2012). SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan software lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

a) Bersifat fleksibel

b) Dapat digunakan secara multi-user-version sehingga dapat meng-input data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi

c) Memiliki metode dampak yang beragam

d) Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak

e) Data yang didapatkan memiliki nilai transparasi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya. Mudah terhubung dengan perangkat lain, salah satunya adalah AHP

f) Hadir dengan 3 versi yang diklasifikasikan berdasarkan pengguna

- SimaPro Compact: untuk mengatur tugas kompleks
- SimaPro Analyst: untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih
- SimaPro Developer: untuk untuk menciptakan alat penilaian siklus hidup yang berdedikasi dengan fitur diperpanjang

SimaPro adalah software dari interpretasi penggunaan metode life cycle assesment, dimana memiliki tujuan untuk menganalisa dan membandingkan lingkungan dari suatu produk. Hasilnya akan mengkalkulasi inputan seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan luaran dalam bentuk table dan grafik.

Pengolahan data dengan SIMAPRO dilakukan dengan memilih metode EDIP 2003. EDIP 2003 merupakan pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product. Metode ini dipilih karena berfokus pada kegiatan industri dan impact category yang berkaitan terhadap dampak lingkungan sesuai dengan kebutuhan study. Pada metode EDIP 2003 terdapat 6 kategori yang dipergunakan dalam studi ini dengan defenisi masing-masing sebagai berikut :

a) *Acidification Potential (AP)* : Zat pengoksidasi yang menyebabkan berbagai dampak pada tanah, air tanah, air permukaan, organisme, ekosistem, dan bahan.

b) Global Warming Pontential (GWP) : IndikatorPotensi Pemanasan Global (Global Warming Potential,GWP), adalah ukuran dari kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan siklus hidup produk yang mengubah komposisi atmosfer melalui terbentuknya gas-gas rumah kaca, terutama karbon dioksida, metana, dan nitrous oxide. Emisi gas rumah kaca ke udara terkait dengan perubahan iklim. Efek buruk pada kesehatan ekosistem, dan kesehatan manusia dapat terjadi akibat perubahan iklim

c) Eutrophication Potential (EP) : Indikator Potensi Eutrofikasi Euthrophication Potential, EP), adalah gejala kenaikan konsentrasi nitrat dan fosfat di dalam air sehingga menyebabkan pertumbuhan alga yang tidak terkendali, mengurangi kadar oksigen di dalam air dan merusak ekosistem.

d) *Human and Ecotoxicity (HET)* : Indikator Potensi Keracunan pada Manusia (Human Toxicity Potential, HTP), adalah indikator yang menghitung emisi udara, air dan tanah yang berhubungan dengan siklus hidup produk yang berpeluang besar untuk mengganggu kesehatan manusia. Ecotoxicity terbagi 3, yaitu : Indikator Potensi Keracunan Ekologis Lingkungan Air Tawar (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential), Indikator Potensi Keracunan Ekologis Air Laut (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential) dan Indikator Potensi Keracunan Ekologi Daratan.

e) Land Use : Kategori dampak lingkungan penggunaan lahan (Land use) terdiri atas dampak langsung dan tidak langsung. Dampak langsung adalah sebuah indikator penting yang saat ini sedang dalam pengembangan terkait dengan konversi tanah dari negara ' aslinya ' (hutan, padang rumput, ladang, lahan pertanian, tanah terdegradasi, dll.) ke keadaan yang berubah untuk produksi produk pertanian atau Kehutanan (misalnya, bahan baku biofuel), dengan menghasilkan perubahan emisi GRK dan stok karbon di tanah tersebut. Dampak tidak langsung merupakan sebuah indikator penting yang saat ini sedang dalam pengembangan yang menyumbang perubahan penggunaan lahan sekunder yang merupakan hasil perubahan penggunaan lahan primer yang menggantikan suatu tanaman komersial, yang kemudian ditanam di lokasi yang berbeda yang mengarah ke lahan yang lebih jauh yang diubah dari satu keadaan ke keadaan lainnya, yang mengakibatkan perubahan emisi GRK dan stok karbon di tanah tersebut.

f) *Biotic Resource Depletion:* Kategori dampak lingkungan berkaitan dengan sumber daya biotik hidup yang diekstraksi dari lingkungan alami (mis. kayu, ikan). Kategori ini tidak termasuk sumber daya biotik yang direproduksi oleh sebuah proses produksi industri, sebagai lawan diekstraksi dari lingkungan alami (mis. ternak, ikan dari akuakultur, tanaman pertanian; kayu dari perkebunan;)

4. Interpretasi

Tahap terakhir adalah interpretasi terhadap hasil perhitungan dampak lingkungan. Interpretasi dilakukan sesuai dengan tujuan studi yang telah disepakati. Pada tahap ini, dilakukan interpretasi hasil temuan kajian, evaluasi, dan analisis mengenai hal-hal yang bisa dilakukan dalam konteks penyempuraan proses produksi agar cenderung mengarah kepada aktivitas yang minim dampak negatif terhadap lingkungan. Hasil analisis yang telah dilaksanakan dalam tahap inventarisasi dan penilaian dampak diwujudkan dalam tindakan yang akan memberikan keuntungan bagi produsen, konsumen, dan lingkungan (Guidice et al. 2006). Interpretasi harus konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup yang ditentukan serta mencapai kesimpulan yang menjelaskan batasan dan memberikan rekomendasi. Perlu ditegaskan bahwa interpretasi dan penafsiran mencerminkan 3 karakteristik berikut:

- hasil LCIA didasarkan pada pendekatan relatif,
- menunjukkan potensi dampak lingkungan, dan
- hasil tersebut tidak memprediksi dampak aktual pada titik akhir kategori, terlampauinya ambang batas atau margin keselamatan atau risiko.

Temuan interpretasi ini dapat berupa kesimpulan dan rekomendasi kepada pengambil keputusan, sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Interpretasi daur hidup juga dimaksudkan untuk memberikan presentasi hasil LCA yang mudah dipahami, lengkap, dan konsisten, sesuai dengan definisi tujuan dan cakupan studi. Fase interpretasi mungkin melibatkan proses berulang untuk meninjau dan merevisi ruang lingkup LCA, serta sifat dan kualitas data yang dikumpulkan dengan cara yang konsisten dengan tujuan yang ditetapkan. Temuan interpretasi siklus hidup harus mencerminkan hasil dari elemen evaluasi.

Tahap interpretasi studi LCA atau LCI terdiri dari beberapa elemen sebagai berikut:

- Identifikasi masalah signifikan berdasarkan hasil fase LCI dan LCIA dari LCA;
- Evaluasi yang mempertimbangkan pemeriksaan kelengkapan, kepekaan dan konsistensi;
- Kesimpulan, batasan, dan rekomendasi.

Hasil fase LCI atau LCIA harus diinterpretasikan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup studi (goal and scope), dan interpretasi harus mencakup penilaian dan pemeriksaan sensitivitas dari input, output, dan pilihan metodologi yang signifikan untuk memahami ketidakpastian hasil. Interpretasi juga harus mempertimbangkan hal-hal berikut dalam kaitannya dengan tujuan studi:

1) kesesuaian definisi fungsi sistem, unit fungsional, dan batas sistem;
2) keterbatasan yang diidentifikasi oleh penilaian kualitas data dan analisis sensitivitas.

Dokumentasi penilaian kualitas data, analisis sensitivitas, kesimpulan dan rekomendasi dari hasil LCI dan LCIA harus diperiksa. Hasil LCI harus diinterpretasikan dengan hati-hati karena

mengacu pada input dan output data dan bukan pada dampak lingkungan. Selain itu ketidakpastian dimasukkan ke dalam hasil LCI karena efek gabungan dari ketidakpastian input dan variabilitas data. Salah satu pendekatan adalah untuk mengkarakterisasi ketidakpastian dalam hasil dengan rentang dan/atau distribusi probabilitas. Jika memungkinkan, analisis tersebut harus dilakukan untuk menjelaskan dan mendukung kesimpulan LCI dengan lebih baik.

III. HASIL STUDI LCA 7 KOMODITI PANGAN BIJAK NUSANTARA

A. Hasil Studi LCA Beras Ladang Melawi

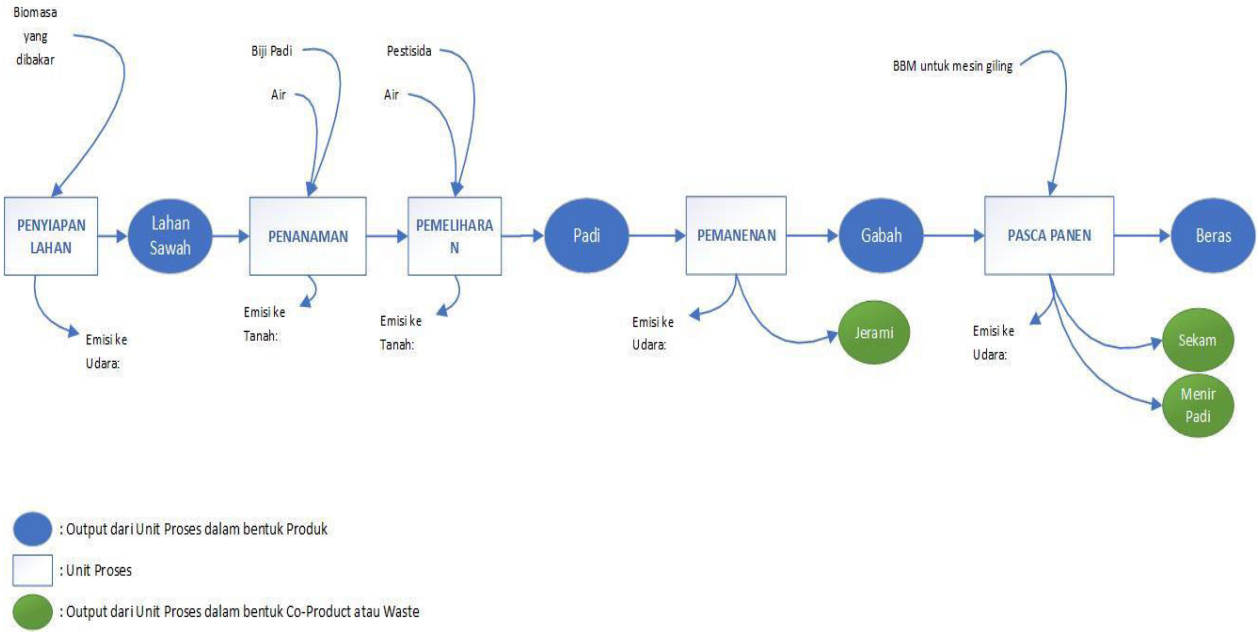
Beras Melawi merupakan salah satu varietas lokal yang hingga saat ini masih dibudidayakan di Kabupaten Melawi khususnya Desa Nanga Kebebu. Beras yang diproduksi di Desa Nanga Kebebu ini diproduksi secara konvensional. Mulai dari penyiapan lahan, penanaman, pemeliharaan, hingga pengolahan padi menjadi beras. Produksi padi hanya digarap sekali dalam setahun. Produksi padi dilakukan dengan cara ladang berpindah sesuai dengan kearifan lokal. Tiap keluarga menggarap antara setengah sampai satu hektare ladang, dimana hasilnya kurang lebih 10 karung @ 50 kg gabah per ha. Setelah panen ladang ditinggalkan dan dibiarkan sampai kembali lagi ke masa tanam setelah beberapa periode.Lahan ladang berada di sekitar kebun tanaman keras dan hutan seperti durian, cempedak, rambutan, jengkol, langsat, nangka, duku, pinang, karet dan lain-lain.

Kondisi pertanian yang tradisional hingga saat ini masih tetap dipertahankan di Melawi untuk merawat benih lokal. Sebagaimana potret pertanian yang sarat dengan nilai – nilai tradisional, masyarakat Melawi mengelola usahataninya secara monokultur dan ada juga yang menggunakan tumpang sari dengan tanaman semusim seperti mentimun dan jagung (benih di tabur bersama benih padi. Di sekitar ladang di tanam juga tanaman semusim lainnya seperti singkong, ubi, terong pipit, terong ungu, cabe, bayam, sawi ladang, kacang Panjang, kucai, tanaman bumbu dan lain-lain. Sistem pertanian ini telah berlangsung secara turun temurun dari beberapa generasi. Adat sebagai penyangga nilai – nilai hidup masyarakat Melawi mengajarkan kepada mereka kearifan lokal dengan tetap berusaha untuk bertahan hidup dalam upaya mengembangkan usaha taninya yang senantiasa bersandarkan kepada potensi alam sekitar. Keunikan inilah yang dimiliki oleh masyarakat Melawi, yang tidak dimiliki oleh pola pertanian sistem moderen, dan pola pertanian ini juga dengan basisnya yang organik menjadikan beras Melawi punya nilai lebih.

1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Beras Ladang

Tujuan studi ini adalah untuk menganalisis dampak proses produksi beras Melawi terhadap lingkungan. Lokasi yang dipilih untuk studi Beras adalah Desa Nanga Kebebu, Kecamatan Nanga Pinoh, Kabupaten Melawi, Provinsi Kalimantan Barat. Kajian LCA akan dilakukan dengan fungsional unit (FU) dalam massa (ton) produk beras.

Ruang lingkup study LCA untuk komoditi beras ladang Melawi, yang disepakati pada hasil FGD dengan pelaku produksi (produsen) beras Melawi dan WWF Indonesia, adalah Penyiapan Lahan, Penanaman, Pemeliharaan, Pemanenan, Pengolahan Gabah menjadi Beras (Pasca Panen) dan Pengemasan. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan pembatasan *Cradle to gate* dari proses penyiapan lahan hingga pengemasan. Model dan ruang lingkup study LCA beras ladang Melawi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model dan ruang lingkup studi LCA Beras

2. Analisis Data Persediaan Beras Ladang Melawi

Rangkuman hasil analisis persediaan terhadap tahapan produksi yang masuk dalam ruang lingkup study LCA Beras ini adalah sebagai berikut:

1) Pengolahan tanah

Praktek budidaya tanaman padi di Kabupaten Melawi khususnya Desa Nanga Kebubu dilakukan secara berpindah dari satu lahan ke lahan yang berbeda dalam kurun waktu tertentu. Masa penggunaan lahan bergantung pada kesuburan lahan. Biasanya petani akan kembali ke lahan pertama yang diolah selama 3 – 5 tahun. Cara ini dilakukan petani menyesuaikan dengan luasan lahan yang dapat dikelolannya, sesuai dengan kearifan lokal atau aturan adat yang berada di daerah tersebut. Pada tahap awal sebelum penanaman, petani melakukan pembersihan lahan (*land clearing*) dengan terlebih dahulu membabat rumput dan semak belukar. Aktivitas pembersihan lahan dilakukan secara manual dan kolektif. Rumput dan kayu hasil pembersihan lahan tersebut kemudian dikumpulkan untuk dibakar. Sebelum dilakukan pembakaran lahan maka dibuat sekat api (parit) di sekeliling lahan yang hendak diusahakan.

2) Penanaman

Varietas padi yang sering digunakan oleh petani adalah varietas padi pandan dan kabansah. Penanaman dilakukan dengan proses menugal/tugal atau membuat lubang tanam padi (menggunakan alat menyerupai tongkat dari kayu dengan bagian bawah runcing) di ladang yang sudah dibersihkan. Lubang tanam yang dibuat diperkirakan jarak tanamnya sekitar 30-40 cm. Benih yang ditanam di dalam lubang terdiri dari beberapa butir. Takaran benih yang dipakai adalah gantang. Satu hektar ladang padi biasanya menggunakan takaran benih

sebanyak ±6 gantang (benih padi pandan 1 gantang = 1.5 kg, padi kabansah 1 gantang = 1.6 kg)

3) Pemeliharaan

Proses pemeliharaan masih dilakukan oleh petani secara tradisional dengan melakukan penyiangan gulma secara manual dengan alat pisau pemabau (babau) dan pisau oleng pada umur 2 bulan setelah tanam (BST) dan pada umur 4 BST. Terdapat juga pemeliharaan yang menggunakan kimia seperti pupuk dan pestisida. Pupuk yang biasa digunakan adalah urea, sedangkan pestisida yang biasa digunakan adalah pestisida *gramoxon*. Selain daripada itu terdapat petani yang menggunakan chainsaw pada tahap pemeliharaan. Alat tersebut digunakan untuk memotong pohon karet

4) Pemanenan

Indikator yang diadopsi untuk menentukan waktu panen dapat diketahui secara visual, yaitu ketika terjadi perubahan fisologis daun yang telah mengering dan 95% gabah sudah berwarna kuning. Padi dipanen pada umur 6 bulan. Tanaman padi umumnya tinggi lebih dari 1m. Cara memanen dilakukan dengan cara tradisional, yaitu dengan menggunakan ani-ani dan arit, parang. Padi yang telah dipanen diirit/diinjak dengan kaki/sepatu boot untuk dipanen gabahnya. Gabah hasil panen dijemur di bawah terik matahari beralaskan tikar yang disebut tikar kajang yang terbuat dari pandan berduri. gabah dimasukkan ke dalam lumbung-lumbung.

5) Pengolahan padi menjadi beras (Pasca Panen)

Proses menghasilkan beras dari gabah pada umumnya dilakukan dengan manual yaitu ditumbuk dengan alat tradisional. Ada juga yang sudah menggunakan mesin penggilingan. Adapun residu yang dihasilkan dalam bentuk sekam. Biasanya hasil dari penggilingan padi bernisbah 50:50 antara sekam dengan beras.

6) Pengemasan

Beras yang telah diolah baik lewat proses penggilingan, maupaun proses penumbukan secara manual, selanjutnya dimasukkan ke dalam karung plastik berukuran 50 kg.

Hasil pengumpulan data melalui survei untuk studi LCA Beras dirangkum dalam bentuk analisis persediaan sebagaimana dijelaskan berikut:

1) Penyiapan lahan tanam padi dilakukan dengan cara membabat rumput dan menebang ranting mempergunakan *chainsaw* serta alat potong konvensional lainnya. Dalam studi ini diperhitungkan berapa bobot biomassa hijauan yang dibersihkan hingga menghasilkan 1 ton beras. Dalam penggunaan chainsaw diketahui memerlukan bahan bakar berupa bensin.

2) Takaran benih yang biasa dipakai dalam proses penanaman biasanya disebut gantang. Proses penanaman dilakukan secara konvensional dengan cara tugal (pembuatan lubang tanam dan benih ditabur langsung di lahan.

3) Pemupukan menggunakan pupuk urea serta Pemeliharaan dilakukan dengan penggunaan herbisida gramoxon.

4) Proses penggilingan padi dilakukan secara manual dan dengan mesin giling padi. Mesin giling menggunakan bahan bakar minyak serta campuran oli mesin.

5) Pengemasan mempergunakan kemasan karung plastik 50kg.

Berdasarkan hasil data inventori yang diolah pada proses penyiapan lahan daur hidup beras, dibutuhkan sebanyak 3.45 hektar luas lahan untuk menghasilkan 1 (satu) ton beras. Bobot rumput kering yang dibakar adalah hasil dari pembersihan ladang berpindah yaitu sebanyak 0,005 Kg (Tabel 1). Jumlah biomasa seperti rumput yang dibakar dalam proses penyiapan lahan diperoleh dengan cara melakukan kuantifikasi terhadap bobot rumput dalam kondisi basah terhadap kebutuhan lahan produksi untuk satu ton beras.

Rumput akan dibakar berselang dua minggu setelah dibersihkan dengan estimasi bobot adalah sebesar 50% dari bobot rumput basah. Dalam pengambilan data lapangan dilakukan pendekatan analisis vegetasi. Pendekatan ini disesuaikan dengan struktur dan komposisi vegetasi seperti rumput, dimana metode garis (*line intercept*) digunaakan untuk areal lahan yang ditumbuhi oleh rumput.

Tabel 1. Inventori Penyiapan Lahan Padi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Lahan	Hektar	3,45
Output		
Lahan yang siap ditanam	Hektar	3,45

Sedangkan, jumlah benih yang digunakan untuk penanaman padi dengan lahan seluas 3.45 hektar tersebut adalah 2,38 Kg (Tabel 2). Kebutuhan benih dikuantifikasi dalam takaran gantang yang umum diterapkan oleh petani. Bobot benih dalam satu gantang penuh rata – rata adalah 0,1474 Kg. Biasanya petani menggunakan benih sebanyak 6,25 gantang untuk 1 Ha luas lahan, atau ekuivalen dengan 0,689 Kg benih per hektar.

Tabel 2. Inventori Penanaman Padi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Lahan yang siap ditanam	Hektar	3,45
Benih padi	Kg	2,38
Output		
Lahan telah ditanam	Hektar	3,45

Produksi 1 ton beras membutuhkan sebanyak 50,59 liter air, 3,49 kg gramoxon, 843, dan 11 kg urea.

Tabel 3. Inventori Pemeliharaan Padi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Lahan	Hektar	3,45
Air	Liter	50,59
Gramoxon/pestisida	Kg	3,49
Urea	Kg	843,11
Output		
Lahan yang dipelihara	Hektar	3,45

Produksi 1 ton beras pada proses tahap pemanenan akan membutuhkan BBM untuk transportasi hasil panen. Adapun jumlah kebutuhan BBM tersebut adalah sebanyak 0,38 liter, yang kemudian akan menghasilkan padi sebanyak 1770,75 Kg.

Tabel 4. Inventori Pemanenan Padi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
BBM Transportasi	liter	0,38
Output		
Padi	kg	1770,75

Padi yang sudah dipanen kemudian dilanjutkan ke tahap penggilingan. Di tahapan proses pasca panen pengolahan padi menjadi beras terdapat beberapa *input* yang dibutuhkan dan *output* serta

waste dihasilkan. Proses pasca panen ini membutuhkan padi sebanyak 1770,75 kg dan BBM mesin giling beras sebanyak 10 L. Padi yang telah giling tentu saja menghasilkan residu. Bentuk residu dari proses penggilingan ini adalah sekam dan air yang secara berurutan jumlahnya sebesar 641,90 Kg dan 34,54 L (Tabel 5).

Tabel 5. Inventori Pasca Panen Padi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Padi	kg	1770,75
BBM mesin giling beras	liter	10
Output		
Beras	kg	1000
Waste		
Sekam	kg	641,90
Air	kg	34,54

Tahapan akhir dari produksi beras ini adalah tahapan pengemasan. Di tahap ini untuk produksi 1 ton beras maka dibutuhkan 2 Kg karung plastic (Tabel 6).

Tabel 6. Inventori Pengemasan Beras

Input/Output	**Satuan**	**Jumlah (R)**
Input		
Beras	kg	1000
Karung plastik	kg	2
Output		
Beras dalam karung plastik	kg	1002

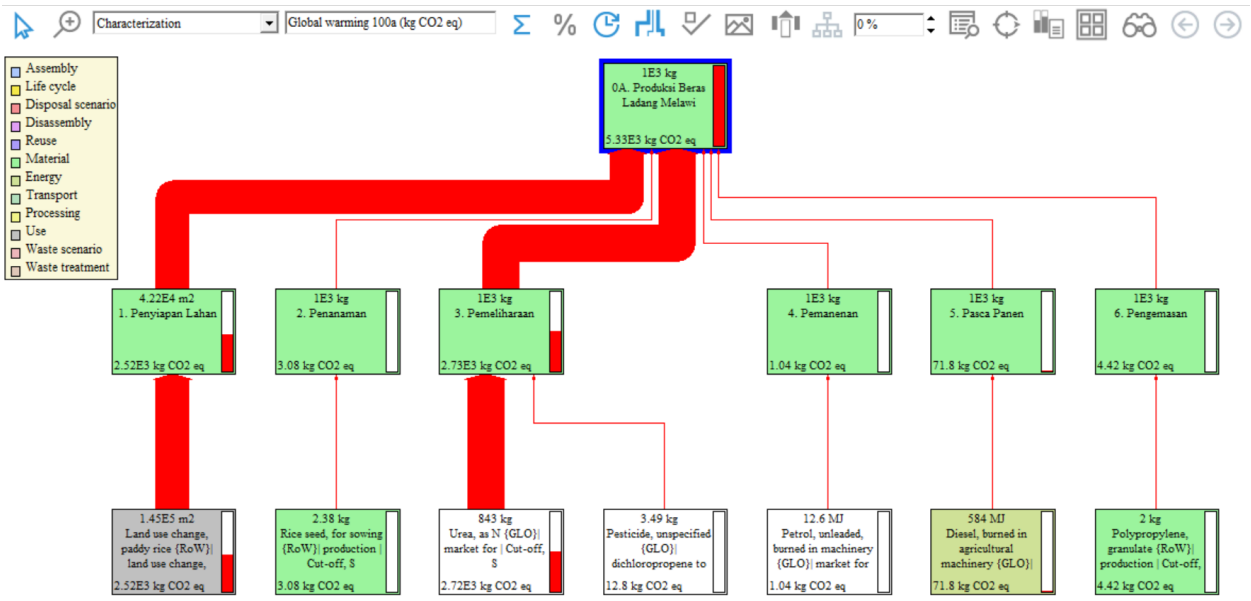
3. Kajian Dampak Lingkungan

LCIA (*Life Cycyle Impact Assessment*) dilakukan dengan menganalisis neraca massa dan energi pada tahap analisis inventori daur hidup untuk mendapatkan nilai dan sumber dampak potensial dari setiap tahapan proses di seluruh daur hidup beras. Menurut (Guidice *et al.* 2006), dalam fase ini ada tiga tahapan yang umum diadopsi. Pertama, penggolongan (*classification*) yang dimana menghimpun dan menetapkan hasil kajian LCI ke dalam kelompok *stressor* yang relatif seragam dan secara agregat berada di dalam kelompok dampak yang sangat besar. Tahap berikut ialah karakterisasi (*characterization*) yang melakukan analisis dan taksasi pengaruh terhadap kesehatan manusia, kesehatan ekologi dalam setiap kelompok stressor yang diturunkan dari penilaian

dampak secara spesifik. Terakhir, pembobotan (*valuation*). Berdasarkan ISO 14040, tahapan ini berisi pembobotan hasil dari setiap tahap karakterisasi agar ditemukan kategori dampak lingkungan yang paling signifikan dibandingkan dengan dampak lingkungan lainnya.

Sesuai dengan hasil pengolahan data software (*network, impact assessment*), kategori dampak yang dikaji dalam study LCA Beras adalah *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification Potential* (AP), *Eutrofication Potensial* (EP) dan *Biotic Resource Depletion* (BRD)

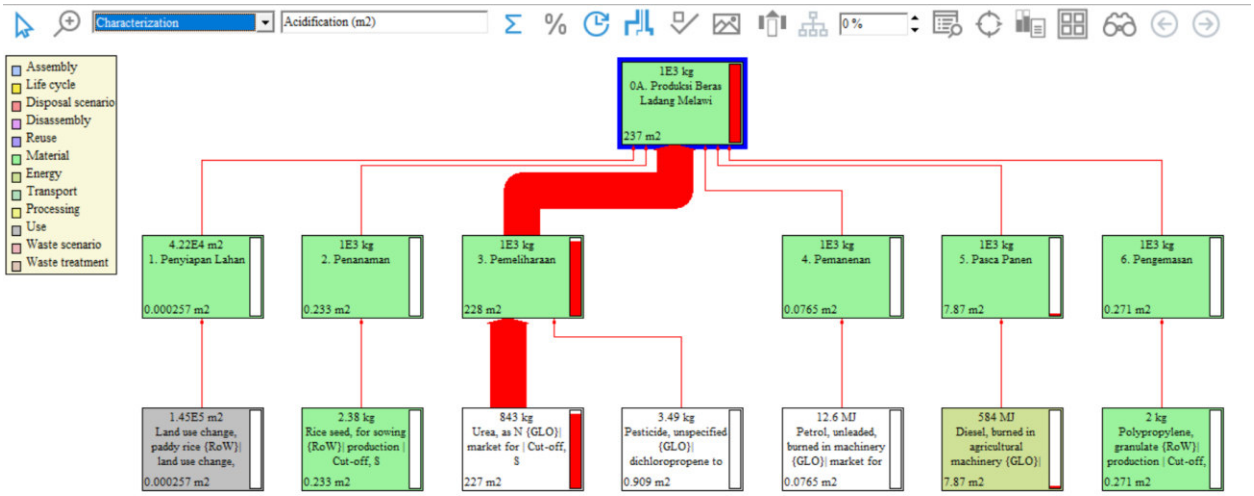
Pengolahan data dilakukan dengan mempergunakan software Simapro 9.0 dengan metode EDIP 2003 V1.07. Hasil pengolahan data dalam bentuk aliran massa dan energi produksi beras untuk karakteristik *Global Warming Potential* (GWP) ditunjukkan pada Gambar 3. Dampak lingkungan dalam produksi 1 ton beras berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dampak *Global Warming* 100a dengan nilai total sebesar 5,33 x 10^3 kgCO_2eq yang dihasilkan sebagian besar dari proses pemeliharaan dan perubahan fungsi lahan kontribusi terbesar kedua. Penggunaan bahan bakar minyak berupa solar dalam proses penggilingan padi memberikan kontribusi terhadap dampak lingkungan berupa *global warming* sebesar 71,8 Kg CO2 eq.



Gambar 3. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak: Global Warming Potential)

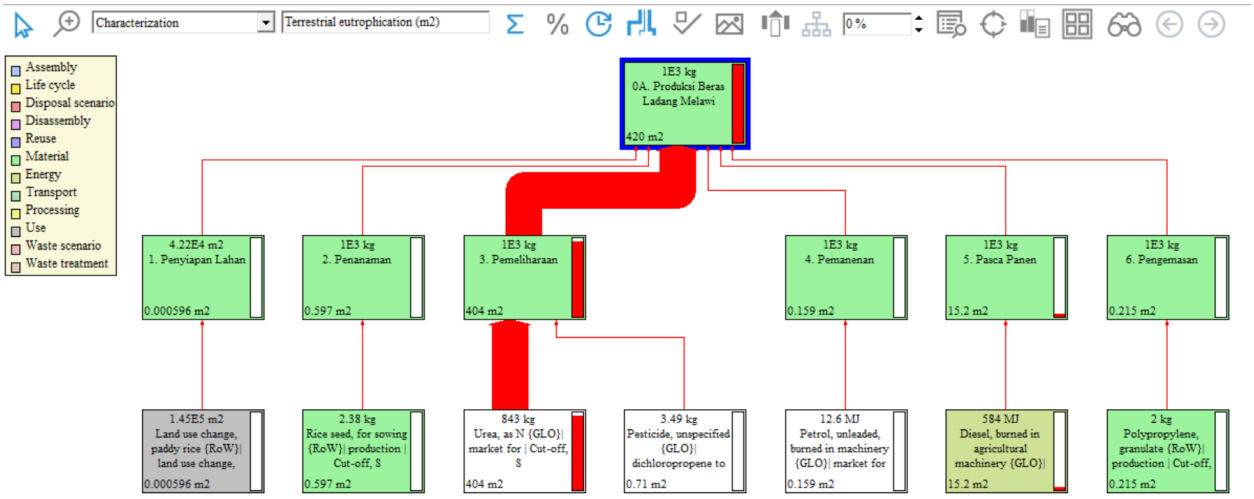
Hasil analis memperlihatkan potensi pelepasan CO_2 dari penggunaan urea selama proses pemeliharaan adalah 2,72 x 10^3 Kg CO_2 eq. Temuan ini sejalan dengan hasil kajian Cichorowski et al. (2015) yang menyebutkan bahwa penggunaan pupuk urea meningkatkan potensi pemanasan global (*global warming*). Bila dibandingkan dengan penggunaan kompos sebagai sumber nitrogen bagi tanaman, maka potensi menghasilkan pemanasan global cenderung lebih lebih besar dua kali lipat dari pengalipikasian urea. Dampak lingkungan yang muncul dari seluruh proses pengolahan pangan seperti beras dapat saja timbul dari konsumsi energi, emisi gas (CO2, CH4, N2O, CO, SO2, and NOx), serta partikel polutan lainnya.

Dampak lingkungan dalam produksi 1 ton beras ladang Melawai berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dampak *Acidification* dengan nilai total 237 m^2 yang dihasilkan sebagian besar dari proses pemeliharaan, penggunaan urea pada proses pemeliharaan memberikan kontribusi yang terbesar terhadap dampak lingkungan berupa *acidification* dengan kontribusi 228 m^2.



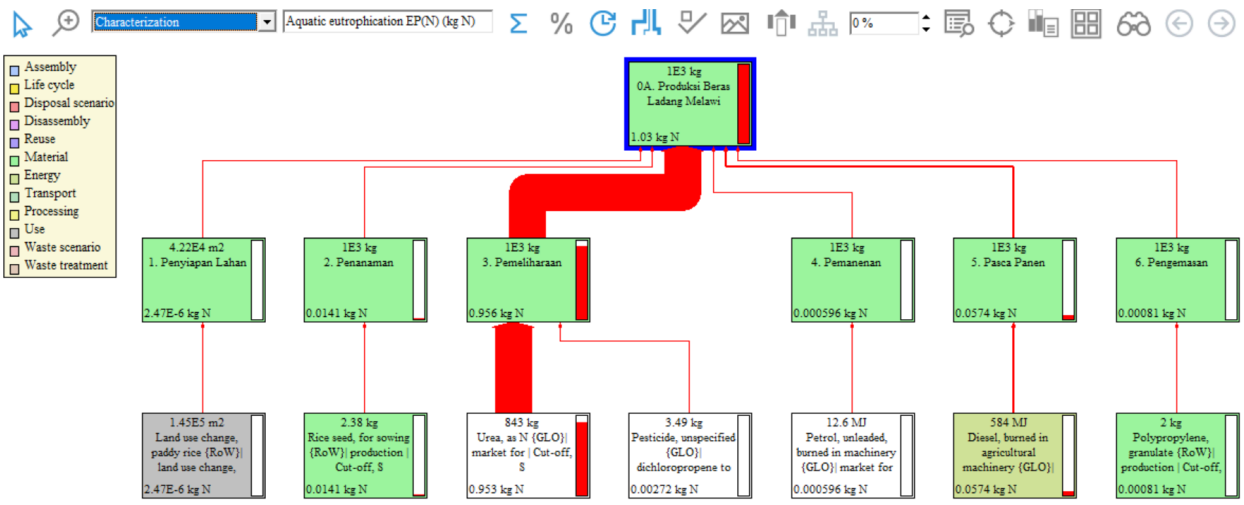
Gambar 4. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak: Acidification)

Dampak lingkungan dalam produksi 1 ton beras ladang Melawai berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dampak *Teresterial Eutrification* dengan nilai total 420 m^2 yang dihasilkan sebagian besar dari proses pemeliharaan. Penggunaan urea memberikan kontribusi yang terbesar terhadap dampak lingkungan berupa *Teresterial Eutrification* dengan kontribusi 404 m^2.



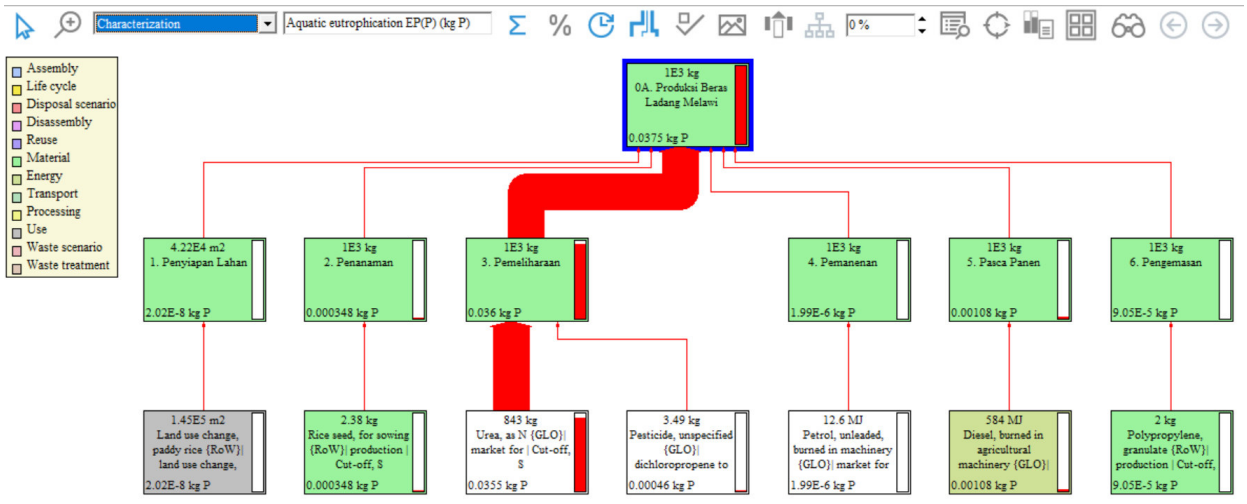
Gambar 5. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras ladang Melawai (kategori dampak : Terrestrial Eutrophication)

Aquatic euthropication EP (N) dengan nilai total 1,03 kg N yang dihasilkan terbesar dari proses pemeliharaan, Penggunaan urea menjadi kontributor terbesar untuk dampak ini (Gambar 6).



Gambar 6. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras ladang Melawai (kategori dampak: Aquatic Eutrophication EP(N))

Dampak *Aquatic eutrophication EP (P)* untuk memproduksi 1 ton beras ladang Melawai menghasilkan nilai total sebesar 0,0375 kg P (Gambar 7). Dampak yang terbesar dihasilkan dari proses pemeliharaan yaitu dengan penggunaan pupuk urea sebesar 0,036 kg P.



Gambar 7. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton beras (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP(P)

Potensi dampak lingkungan pemanasan global (*Global Warming Potential*) yang mungkin ditimbulkan dari proses produksi beras ladang melawi secara total adalah sebesar $5{,}33x10^3$ $kgCO_2eq$. Potensi dampak lingkungan Asidifikasi secara total adalah sebesar 237 m^2. Potensi dampak lingkungan kategori eutrifikasi perairan (*aquatic eutrification*) dengan unsur N adalah sebesar 1,03 kg N dan unsur P sebesar 0,0375 kg P. Penyiapan lahan dengan adanya perubahan penggunaan lahan (*land use change*) diketahui berpotensi menimbulkan dampak lingkungan pemanasan global sebesar $2{,}52x10^3$ $kgCO_2eq$. Nilai dari potensi dampak setiap kategorinya dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Export hasil Analisis LCIA Beras Ladang Melawi

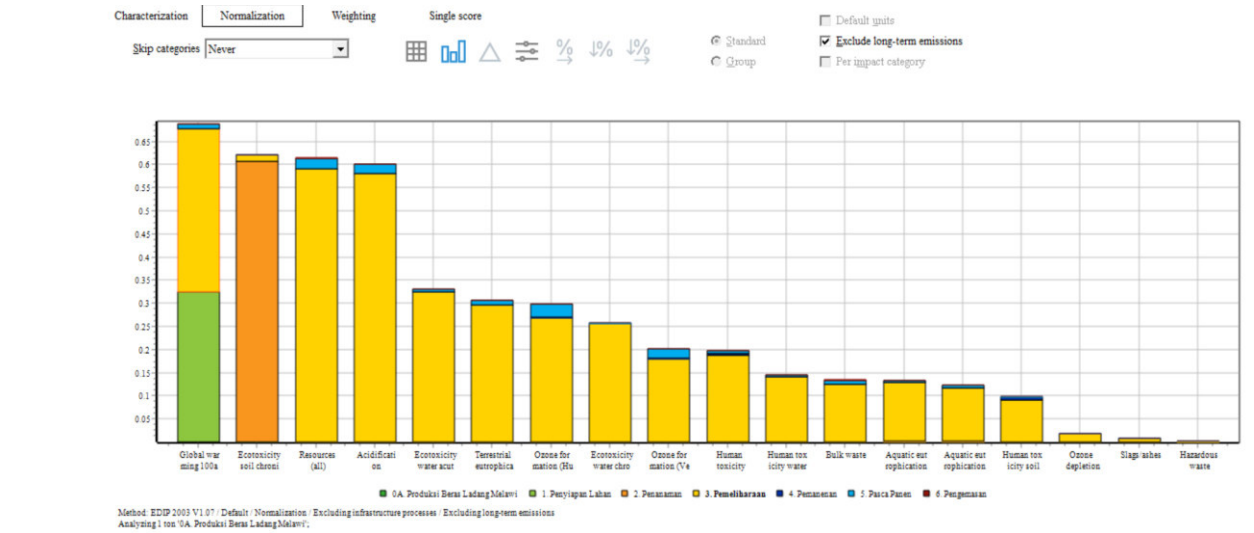
Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category | Standard | Group

Sel	Impact category	Unit	Total	0A. Produksi Beras Ladang Melawi	1. Penyiapan Lahan	2. Penanaman	3. Pemeliharaan	4. Pemanenan	5. Pasca Panen	6. Pengemasan
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	5.33E3	x	2.52E3	3.08	2.73E3	1.04	71.8	4.42
☑	Human toxicity air	person	9.39E7	x	84.9	1.56E5	8.92E7	1.66E6	2.78E6	9.97E4
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	4.54E4	x	0.171	4.43E4	1.06E3	3.24	30.9	3.62
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	9.45E5	x	0.145	152	9.41E5	55.1	3.61E3	234
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	1.2E4	x	0.0635	35.5	1.07E4	24.7	1.19E3	28.6
☑	Ecotoxicity water acute	m3	2.2E5	x	0.00669	81	2.17E5	4.31	3.42E3	112
☑	Human toxicity water	m3	6.89E3	x	0.00407	8.39	6.66E3	8.8	211	7.5
☑	Terrestrial eutrophication	m2	420	x	0.000596	0.597	404	0.159	15.2	0.215
☑	Human toxicity soil	m3	797	x	0.000393	0.542	734	38.2	23.4	0.691
☑	Acidification	m2	237	x	0.000257	0.233	228	0.0765	7.87	0.271
☑	Bulk waste	kg	181	x	4.45E-5	0.175	170	0.00807	11	0.236
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0.849	x	4.43E-6	0.00272	0.762	0.00184	0.0809	0.00211
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	1.03	x	2.47E-6	0.0141	0.956	0.000596	0.0574	0.00081
☑	Slags/ashes	kg	3.13	x	9.93E-7	0.0077	2.93	0.000254	0.182	0.00648
☑	Radioactive waste	kg	0.135	x	2.25E-7	4.93E-5	0.13	0.000101	0.00547	3.22E-5
☑	Resources (all)	PR2004	0.504	x	1.01E-7	0.000222	0.484	2.6E-5	0.0188	0.000641
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.0375	x	2.02E-8	0.000348	0.036	1.99E-6	0.00108	9.05E-5
☑	Hazardous waste	kg	0.0484	x	1.46E-8	2.09E-5	0.0451	7.19E-5	0.00323	1.48E-5
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000368	x	4.02E-10	1.37E-7	0.000358	1.81E-7	9.83E-6	5.9E-8

Analyzing 1 ton '0A. Produksi Beras Ladang Melawi';Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Characterization / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions



Gambar 8. Aliran Proses dalam Lingkup Studi LCA Sagu

Dengan mempergunakan metode normalisasi dapat diketahui bahwa dampak lingkungan terbesar yang mungkin timbul adalah pemanasan global yang ditimbulkan dari penyiapan lahan, pemeliharaan dan pasca panen. Grafik dari setiap kategori dampak dengan metode normalisasi dapat dilihat pada gambar 8.

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Beras Ladang Melawai

Pada studi LCA ini produksi beras dimulai dari proses penyiapan lahan, penanaman, pemeliharaan, pemanenan, pasca panen hingga proses pengemasan berasa ke dalam karung plastik. Dalam tahapan LCIA, ditemukan dampak eutrofikasi dan asidifikasi sangat berpotensi disebabkan oleh pengaplikasian pupuk urea pada tahapan pemeliharaan tanaman padi. Sedangkan, untuk *Global Warming Potential* (GWP) nilai total adalah sebesar 5,33 kgCO2eq yang terbesar dikontribusikan dari penggunakan urea sebesar 2,73 kgCO_2eq. Selain itu GWP juga berpotensi ditimbulkan dari penyiapan lahan sebesar 2,52 kgCO2eq. Pembukaan lahan dengan membuat sekat api dan membakar semak belukar merupakan cara tradisional yang dilakukan oleh masyarakat Melawi. Berdasarkan hasil kajian LCIA ini menunjukkan bahwa potensi dampak yang ditimbulkan pembukaan lahan adalah lebih rendah dibandingkan penggunaan pupuk kimia. Temuan dilapangan menginformasikan bahwa masyarakat Melawi yang masih murni tradisional adalah tidak mempergunakan pupuk kimia dalam bertanam padi. Dengan tidak adanya mempergunakan pupuk kimia akan dapat menurunkan dampak pemanasan global lebih dari 50%.

Metode analisis yang dilakukan untuk menentukan isu-isu lingkungan adalah dengan metode pendekatan analisis kontribusi yang dilanjutkan dengan analisis perbaikan. Sebagaimana telah ditemukan dalam tahapan LCIA, terdapat bentuk perbaikan yang dapat direkomendasikan dalam proses pengolahan beras, khususnya pada tahapan pemeliharaan. Perbaikan pertama yang dapat dilakukan adalah dengan pengalihan penggunaan pupuk urea ke pupuk organik sebagai sumber untuk memperoleh unsur hara esensial nitrogen. Bentuk pupuk organik dapat berupa kompos yang memiliki potensi terhadap pemanasan global dua kali lebih kecil daripada penerapan urea selama proses pemeliharaan tanaman. Di sisi lain, potensi kehilangan urea baik melalui proses volatilisasi dalam bentuk Nitrit (NO_2^-), maupun proses pencucian (*leaching*) urea dalam bentuk Nitrat (NO_3^-) yang dapat memicu eutrofikasi.

Prioritas perbaikan kedua dapat ditempuh dengan cara melakukan peralihan bentuk bahan bakar solar yang digunakan pada proses penggilingan padi. Untuk itu maka penggunaan bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi seperti pertalite atau pertamax dapat menjadi opsi agar memperkecil dampak terhadap lingkungan dari proses pengolahan beras.

B. Hasil Studi LCA Sagu (Mie Sagu dan Sagu Telur) Kep. Meranti

Sagu (*Metroxylon* spp.) termasuk tanaman monokotil dari famili Palmae, genus Metroxylon dan ordo Spadiciflorae merupakan jenis tanaman yang menyimpan pati pada bagian batangnya (Haryanto dan Pangloli, 1992). Tanaman sagu secara botani digolongkan menjadi dua, yaitu tanaman sagu yang berbunga dan berbuah satu kali (Hapaxanthic) dan tanaman sagu yang berbuah dan berbunga dua kali atau lebih (Pleonanthic). Golongan yang pertama sangat penting nilai ekonominya karena kandungan patinya tinggi (Haryanto dan Pangloli, 1992).

Tanaman sagu termasuk dalam kelompok tanaman tahunan dan sesuai untuk daerah basah dataran rendah tropis. Batang sagu merupakan bagian terpenting dari tanaman sagu karena merupakan gudang penyimpanan karbohidrat. Ukuran batang sagu berbeda-beda, tergantung dari jenis, umur, dan lingkungan tumbuhnya. Pada umur 3-11 tahun tinggi batang bebas daun sekitar 3-16 m, bahkan dapat mencapai 20 m (Haryanto dan Pangloli, 1992).

Sagu memiliki daun sirip menyerupai daun kelapa yang tumbuh pada tangkai daun. Menurut Flach (1983) dalam Haryanto dan Pangloli (1992), setiap bulan sagu membentuk satu tangkai daun dan diperkirakan rata-rata 18 bulan kemudian akan gugur karena tua. Daun sagu muda pada umumnya berwarna hijau muda yang berangsur-angsur berubah menjadi hijau tua, kemudian berubah lagi menjadi coklat kemerah-merahan apabila sudah tua. Tangkai daun yang sudah tua akan terlepas dari batang dan meninggalkan bekas pada kulit batang (Haryanto dan Pangloli, 1992).

Bintoro (2017) menyatakan bahwa hutan sagu ditemukan di lahan-lahan disepanjang dataran rendah tepi pantai hingga ketinggian 1000 m di atas permukaan laut (m dpl), di sepanjang tepi sungai, di sekitar danau atau rawa. Ketinggian tempat yang terbaik adalah sampai 400 m dpl. Jika ketinggian tempat lebih dari 400 mdpl maka pertumbuhannya akan terhambat dan produksinya rendah. Derajat kemasaman yang dikehendaki oleh tanaman sagu berkisar antara 3.7-6.5. Tanaman sagu kurang baik pertumbuhannya jika ditanam pada tanah masam karena akan kekurangan unsur hara terutama Ca dan Mg.

Kisaran keadaan hidrologi tempat tumbuh tanaman sagu sangat luas. Jika hanya dilihat dari kemungkinan hidup, tanaman sagu dapat hidup pada daerah yang tergenang sampai yang tidak tergenang asalkan kelembaban tanah cukup tinggi. Pertumbuhan sagu pada daerah tergenang tetap, pada tahap semai masih baik, akan tetapi pada tahap pembentukan batang laju pertumbuhannya sangat lambat (Bintoro, 2017).

Tanaman sagu menghendaki tanah berlumpur dan kaya dengan mineral dan bahan organik. Sagu juga dapat hidup pada tanah berpasir asalkan mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi. Sagu dapat tumbuh dengan baik pada tanah vulkanik, latosol, andosol, podzolik merah kuning, grumosol, alluvial, dan hidromofik. Secara alami tanaman sagu merupakan vegetasi yang mendominasi lahan berawa tetap dan musiman (Bintoro, 2017).

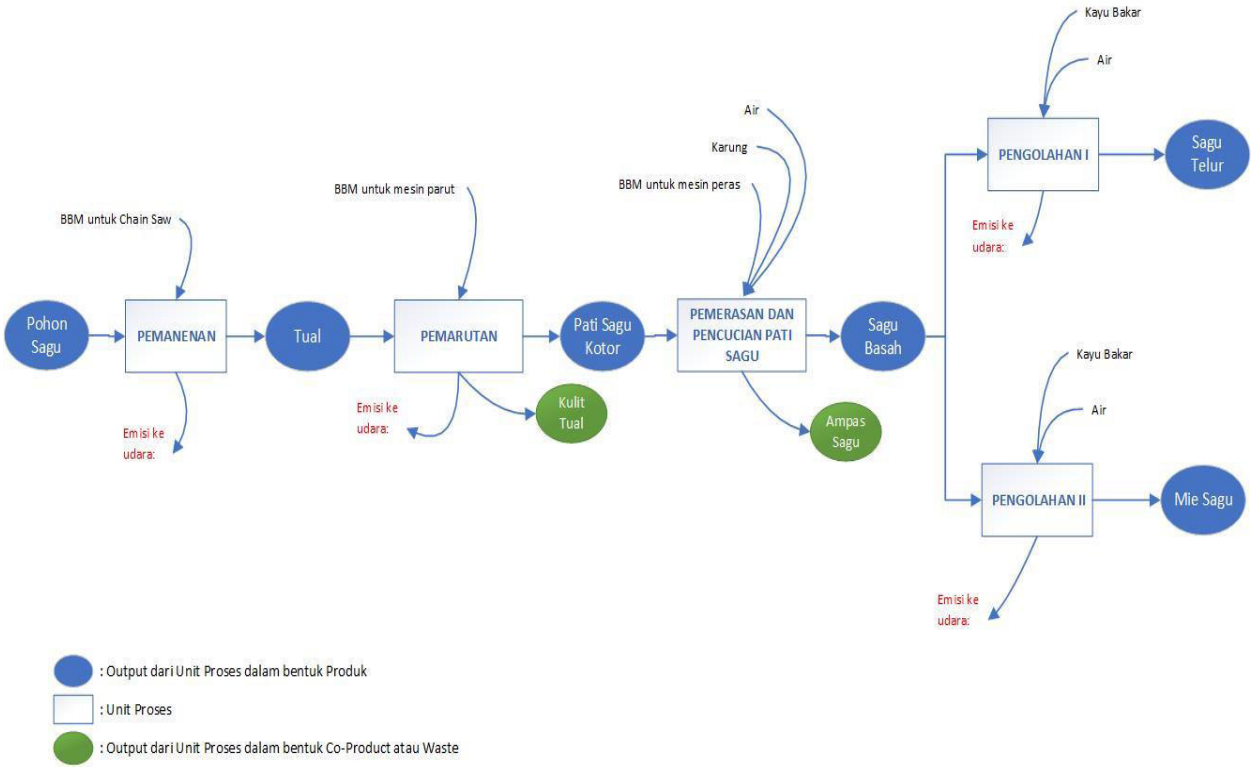
Agroindustri sagu di Kabupaten Kepulauan Meranti merupakan salah satu penggerak ekonomi daerah. Saat ini beberapa produk dari turunan pati sagu telah dikembangkan di Kabupaten Kepulauan Meranti diantaranya adalah Mie Sagu dan Sagu Telur. Kabupaten Meranti merupakan

daerah penghasil pati sagu terbesar di Indonesia dengan jumlah produksi pada tahun 2015 mencapai 348.879 ton (Ditjendbun 2016 dalam Laporan Studi Rantai Nilai Sagu).

1. Tujuan dan Ruang Lingkup Sagu

Tujuan studi ini adalah untuk menganalisis dampak proses produksi sagu terhadap lingkungan. Lokasi yang dipilih untuk studi sagu adalah Desa Sungai Tohor, Kecamatan Tebing Tinggi Timur, Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau. Kajian LCA akan dilakukan dengan fungsional unit (FU) dalam massa (ton) produk sagu basah, mie sagu dan sagu telur.

Ruang lingkup study LCA untuk komoditi sagu, yang disepakati pada hasil FGD dengan pelaku produksi (produsen) sagu dan NTFP EP Indonesia, adalah Pemanenan, Pengolahan Tual Sagu menjadi Sagu Basah, Pengolahan Mie Sagu dan Pengolahan Sagu Telur. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan pembatasan *gate to gate* dari proses pemanenan hingga pengolahan menjadi mie sagu dan sagu telur. Model dan ruang lingkup study LCA sagu disajikan pada Gambar 8.

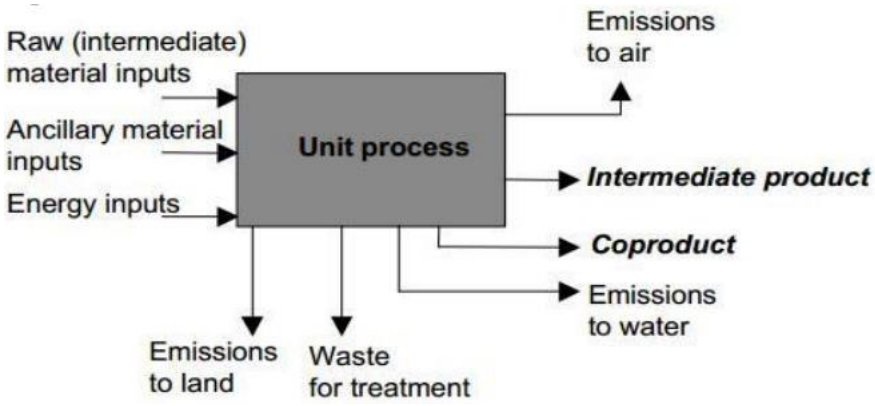


Gambar 9. Aliran Proses dalam Lingkup Studi LCA Sagu

2. Analisis Data Persediaan Sagu

Dalam kajian ini, data yang digunakan berasal dari data primer yang dikumpulkan langsung di lapangan oleh para enumerator. Selanjutnya data tersebut divalidasi lagi oleh tim peneliti dan mengabungkannya ke dala, bentuk perhitungan sederhana dengan beberapa pendekatan teknis lainnya. Sebagian data diperoleh dari data sekunder yaitu referensi yang berasal dari database LCA

yaitu *EcoInvent*. Data yang digunakan untuk analisis inventori sesuai dengan *goal* dan *scope* LCA yang telah ditentukan sebelumnya. Analisis inventori sagu terdiri dari pengumpulan data dan perhitungan data. Pada pengumpulan data setiap unit proses akan digambarkan diagram aliran input dan output beserta dengan penjelasan setiap faktor yang memengaruhinya. Aliran (flow) yang diawali dengan input dan berakhir pada output dalam setiap unit proses disajikan pada Gambar 9. Dapat dilihat bahwa input dalam bentuk material, energy, maupun input tambahan lainnya untuk memproduksi suatu output turut memiliki potensi emisi terhadap lingkungan. Potensi tersebut seperti emisi terhadap lahan, udara, dan air.



Gambar 10. Aliran Input dan Output Pada Setiap Unit Proses

Rangkuman kajian literatur untuk setiap tahapan produksi sagu yang masuk dalam ruang lingkup study LCA Sagu ini adalah sebagai berikut:

1) Pemanenan Sagu

   Menurut Bintoro (2017) tanaman sagu yang dipanen adalah tanaman sagu yang telah mencapai masak fisiologis yang ditandai dengan fase menyorong (munculnya calon bunga). Tanaman sagu yang hidup di lahan gambut mencapai usia matang fisiologis antara 12-15 tahun. Setelah melewati fase tersebut maka kandungan pati berkurang.

   Beberapa tahapan pada kegiatan panen meliputi penentuan posisi tebang agar tidak mengenai anakan sagu, penebangan, pembersihan batang (nyisik), pengukuran batang sepanjang 106 cm (42 inci), pemotongan batang yang telah diukur sebelumnya, pembuatan hidung tual dan pengangkutan batang (tual) ke kanal dengan menggunakan kiau (golek) dan perakitan tual di kanal.

   Pemanenan Sagu dilakukan oleh pelaku produksi dengan melakukan penebangan pada pohon sagu dengan kapak dan akan dipotong menjadi tual sagu mempergunakan mesin potong berupa *chain saw* serta alat potong lainnya berupa kapak atau peralatan lain untuk memotong secara konvensional. Pohon sagu akan ditebang dan selanjutnya dipotong-potong menjadi tual sagu dengan panjang sekitar 106 cm (42 inci) – 80 cm, selanjutnya tual akan dibawa ke lokasi produksi melalui jalur air (ditarik menggunakan perahu) dan darat (digolek, menggunakan kendaraan tossa). Penggunaan energi pada proses

transportasi hasil panen tual sagu tidak diperhitungkan dalam kajian ini karena tidak mempergunakan mesin dan mengandalkan tenaga manusia.

2) Pengolahan Tual Sagu menjadi Sagu Basah

Proses pengolahan tual sagu menjadi sagu basah dilakukan di kilang sagu dengan beberapa tahapan proses, mulai dari pengupasan kulit tual sagu dan selanjutnya kulit akan dibuang dan sebagian dipergunakan sebagai bahan bakar dalam pembuatan/produksi sagu olahan (mie sagu, sagu telor dll). Setelah pengupasan kulit tual sagu, selanjutnya dilakukan pemarutan mempergunakan mesin parut yang dilengkapi dengan mesin pompa air. Hasil parutan sagu bercampur dengan air di bak/tong selanjutnya, masih di dalam bak/tong terjadi proses pencucian dan penyaringan mempergunakan kain tapis. Hasil pencucian/penyaringan selanjutnya dialirkan kedalam bak pengendapan. Pengendapan dapat dilakukan selama kurang lebih 2 minggu atau sampai pembeli sagu basah dating. Selama pati sagu berada dalam bak pengendapan, pati sagu terendam air untuk menjaga kelembaban pati sagu. Pengedapan sagu juga membantu mengangkatpijat sagu (debu-debu parutan batang sagu) ke atas. Pada saat bangkit atau mengeluarkan pati sagu basah, air dalam bak pengendapan dibuang sekaligus melarutkan pijat sagu yang berada pada lapisan atas. Setelah itu pati sagu basah di kemas dalam karung bekas yang sudah bersih.

3) Pengolahan Sagu basah menjadi Sagu telur

Pengolahan sagu basah menjadi sagu telur dilakukan di rumah produsen dengan beberapa proses :

- Pati sagu basah kotor yang di beli dari kilang sagu, dicuci terlebih dahulu dengan menggunakan air merah (gambut) untuk membuang kotoran dan pijat sagu
- Sagu basah (pati sagu) dikeringkan dengan cara di masukkan dalam karung dan digantung selama 2-3 hari. Setelah kering, pati sagu diambil dengan takaran sesuai kebutuhan produksi untuk dimasukkan kedalam wadah pengayakan. Pengayakan biasanya dilakukan oleh 2 orang.
- Setelah pengayakan, tepung sagu akan berbentuk butiran-butiran kecil (granule) selanjutnya disangrai setengah matang dengan mempergunakan tungku kayu bakar (batang pohon dan kulit sagu)
- Butiran sagu yang sudah disangrai setengah matang dimasukkan dalam ember besar lalu direndam dengan santan yang sudah diberi bumbu, dibiarkan sampai santan kering
- Sagu yang sudah direndam dengan santan dan bumbu, di ayak dengan menggunakan ayakan berlubang besar untuk memisahkan butiran yang melengket satu dengan lainnya

4) Selanjutnya butiran sagu kembali disangrai dengan menggunakan tungku kayu bakar. Setelah selesai disangrai kedua, sagu telur dikemas dalam kemasan plastik dan dan ditutup mempergunakan sealer. Pengolahan Sagu basah menjadi Mie Sagu

   Sagu basah yang dihasilkan dari kilang sagu digunakan sebagai bahan baku pada pengolahan mie sagu. Proses pengolahan sagu basah menjadi mie sagudilakukan di rumah produsen dengan beberapa tahap :

   - Pati sagu basah kotor yang di beli dari kilang sagu, dicuci terlebih dahulu dengan menggunakan air merah (gambut) untuk membuang kotoran dan pijat sagu
   - Sagu basah bersih diolah menjadi adonan dan dibentuk bulat seperti bola di rebus di tungku kayu bakar.
   - Setelah bola-bola sudah cukup direbus (membentuk lapisan luar yang berlendir), bola-bola tersebut dihancurkan, diolein dan dibentuk lembaran sagu dengan menggunakn mesin manual (ampia)
   - Lembaransagu direbusan dengan tungku kayu bakar (
   - Selanjutnya lembaran sagu dikering anginkan dengan cara di jemur (20-24 jam),
   - Lembaran sagu yang sudah kering, dipotong membentuk mie menggunakan alat potong mempergunakan mesin pemotong mie.
   - Mie sagu hasil produksi dikemas kedalam kemasan plastik dan ditutup mempergunakan sealer.

Selanjutnya, hasil pengumpulan data melalui survei untuk studi LCA Sagu dirangkum dalam bentuk analisis persediaan sebagaimana dijelaskan berikut:

- Pemanenan sagu dilakukan dengan menebang pohon sagu mempergunakan kapan (alat tebang tradisional) dan *chainsaw* Dalam studi ini diperhitungkan berapa banyak pohon sagu yang ditebang hingga menghasilkan 1 ton sagu basah. Dalam penggunaan chainsaw diketahui memerlukan bahan bakar berupa bensin yang dicampur dengan oli mesin.
- Kulit sagu hasil pengupasan tual sagu dipergunakan sebagian untuk menjadi bahan bakar pemasakan sagu olahan (mie sagu, sagu telur dll), sedangkan sisanya dimanfaatkan untuk menimbun jalan menuju kilang sagu atau ditumpuk disekitar kilang sagu..
- Pemarutan dilakukan dengan mempergunakan mesin berbahan bakar solar yang sekaligus terintegrasi dengan mesin pompa air. Pemarutan dan pengendapan membutuhkan air dengan kapasitas tertentu.
- Proses sangrai pada pembuatan sagu telur mempergunakan kayu bakar dan kulit sagu. Pengemasan mempergunakan kemasan plastik yang ditutup dengan sealer yang membutuhkan daya listrik.

- Pembuatan mie sagu, dalam proses pemasakan mempergunakan kayu bakar dan kulit sagu serta air. Pengemasan mempergunakan kemasan plastik yang ditutup dengan sealer yang membutuhkan daya listrik.

Berdasarkan hasil data kajian inventori daur hidup sagu, dibutuhkan sebanyak 0,5753 pohon sagu untuk menghasilkan 1 (satu) ton sagu basah, dibutuhkan 5-6 tual sagu yang secara umum dipotong dengan ukuran 106- 80 cm dengan bobot uji sampel di lapangan adalah 125 kg. Kebutuhan lahan kebun sagu untuk produksi batang sagu tersebut diperhitungkan 0.0038 hektar. Kebutuhan untuk memanen pohon sagu dengan mempergunakan *chainsaw* akan membutuhkan 1,5 liter bahan bakar minyak berupa bensin dan ditambah dengan 0,0250 liter oli mesin. Table 7 merupakan inventori data yang merupakan rata-rata dari seluruh responden survei.

Pengolahan tual sagu untuk menghasilkan 1 ton sagu basah membutuhkan 5.214 kg tual sagu, BBM 12,16 liter untuk mesin parut, air sebanyak 1.982 m^3 dan yang terbuang adalah kulit tual sagu sebanyak 12,16 kg. Kulit tual sagu serta buangan hasil pemarut dan sebanyak 1.624,43 kg berupa campuran air dan repu (ampas sagu kasar). Data ini disajikan dalam Tabel 8. Inventori Pengolahan tual sagu menjadi sagu basah

Tabel 8. Inventory Pemanenan Sagu

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Pohon sagu	batang/unit	0,5753
Kebutuhan lahan	hektar	0,0038
BBM Chain Saw	Liter	1,5000
Oli Chain Saw	Liter	0,0250
Output		
Bobot tual sagu hasil panen	Ton	5,214

Tabel 9. Inventori Pengolahan tual sagu menjadi sagu basah

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Tual Sagu	Kg	5.214
BBM Mesin Pemarutan/Pemompaan Sagu (solar)	Liter	12,16
Air pemarutan, perendaman dan pencucian	M^3	1.982,88
Output		
Bobot sagu basah hasil pengolahan	Kg	1.000

Waste		
Kulit Tual Sagu	Kg	12,16
Limbah Pemarutan Sagu	Kg	1.624,43

Produksi 1 ton mie sagu membutuhkan sebanyak 775 kg sagu basah, 42 kg kayu bakar, 435 kg kulit sagu, air 1.553,49 m^3, plastik kemasan sebanyak 4,5 kg dan listrik sebesar 92,362 kWh untuk menggerakkan mesin pencetak mie (*noodle machine*) dan mesin sealer.

Tabel 10. Rangkuman analisis persediaan pengolahan sagu basah menjadi mie sagu

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Sagu basah	kg	775,24
Kayu bakar	kg	42,00
Kulit Sagu	kg	435,70
Air	M3	1.553,49
Plastik kemasan	kg	4,50
Listrik	kWh	92,36
Output		
Mie sagu dalam kemasan	kg	1.000,00

Produksi 1 ton sagu telur akan membutuhkan sagu basah sebanyak 1267,97 kg, Kayu bakar sebanyak 42 kg, kulit sagu sebanyak 435,70 Kg, air 1.533 m^3, plastik kemasan sebanyak 4,55 Kg dan listrik sebesar 92,36 kWh untuk sealer.

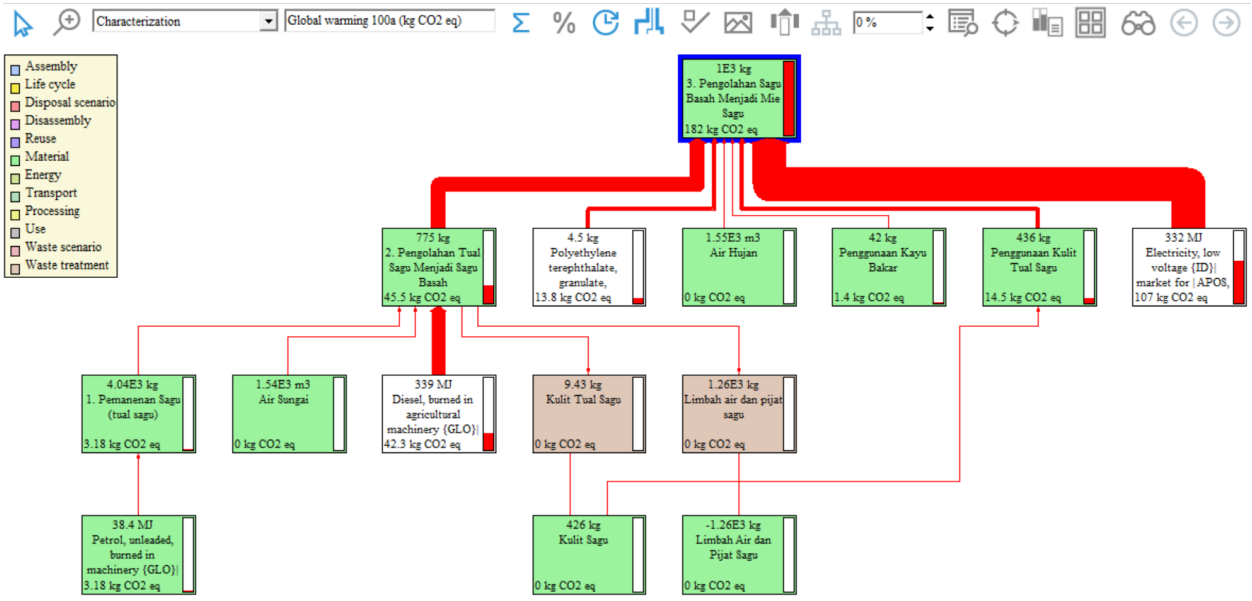
Tabel 11. Rangkuman analisis persediaan pengolahan sagu basah menjadi sagu telur

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Sagu basah	kg	1.267,97
Kayu bakar	kg	3.996,86
Kulit Sagu	kg	3.790,8
Air	m3	633,99
Plastik kemasan	kg	4,55
Listrik	kWh	0,47
Output		
Sagu Telur dalam kemasan	kg	1.000

3. Kajian Dampak Lingkungan

3.1. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Mie Sagu dan Sagu Telur

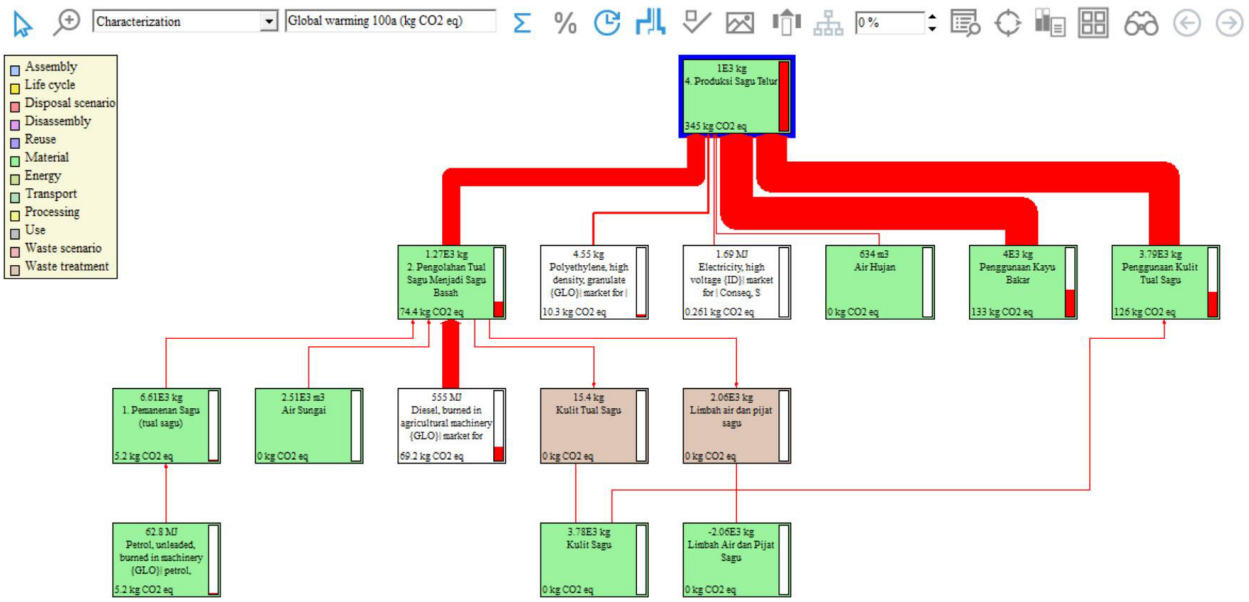
LCIA (*Life Cycyle Impact Assessment*) dilakukan dengan menganalisis neraca massa dan energi pada tahap analisis inventori daur hidup untuk mendapatkan nilai dan sumber dampak potensial dari setiap tahapan proses di seluruh daur hidup pati sagu. Menurut (Guidice *et al.* 2006), dalam fase ini ada tiga tahapan yang umum diadopsi. Pertama, penggolongan (*classification*) yang dimana menghimpun dan menetapkan hasil kajian LCI ke dalam kelompok *stressor* yang relatif seragam dan secara agregat berada di dalam kelompok dampak yang sangat besar. Tahap berikut ialah karakterisasi (*characterization*) yang melakukan analisis dan taksasi pengaruh terhadap kesehatan manusia, kesehatan ekologi dalam setiap kelompok stressor yang diturunkan dari penilaian dampak secara spesifik. Terakhir, pembobotan (*valuation*). Berdasarkan ISO 14040, tahapan ini berisi pembobotan hasil dari setiap tahap karakterisasi agar ditemukan kategori dampak lingkungan yang paling signifikan dibandingkan dengan dampak lingkungan lainnya. Kategori dampak yang dikaji dalam studi LCA sagu ini adalah Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Eutrofication Potensial (EP), Human EcoToxicity (HET). Pengolahan data dilakukan dengan mempergunakan software Simapro 9.0 dengan metode EDIP 2003 V1.07.



Gambar 11. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Global Warming)

Hasil pengolahan data dengan karakterisasi terhadap dampak lingkungan yang berpotensi ditimbulkan dari pengolahan sagu basah menjadi mie sagu ditunjukkan pada Gambar 10. Proses produksi 1 ton mie sagu berpotensi untuk menimbulkan dampak lingkungan pemanasan global (*global warming*) sebesar 182 kgCO_2eq yang berpotensi ditimbulkan sebagian besar adalah dari penggunaan listrik untuk mengoperasikan *noodle machine* sebesar 107 kgCO2eq, pengolahan tual

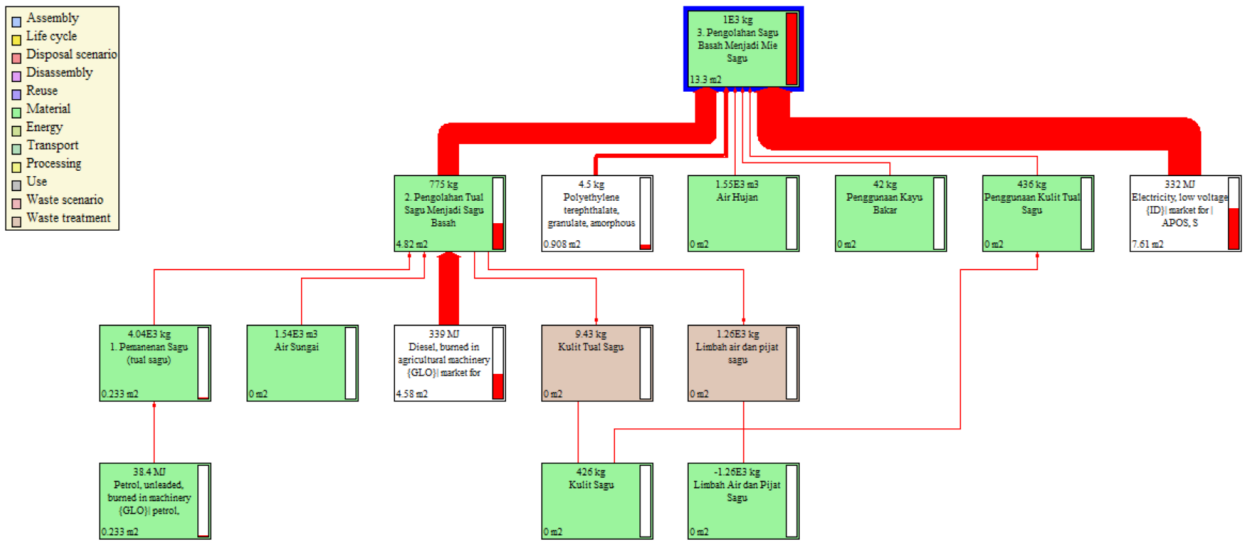
sagu menjadi sagu basah sebesar 45,5 kgCO2eq, penggunaan kemasan plastik berkontribusi sebesar 13,8 kgCO2eq. Dalam proses pemasakan mie sagu dengan adanya penggunaan kayu bakar berpotensi untuk menghasilkan 1,4 kgCO2eq dan penggunaan kulit sagu sebesar 14,5 kgCO2eq dimana massa kulit tual sagu yang dipergunakan memang jauh lebih banyak dibandingkan kayu bakar.



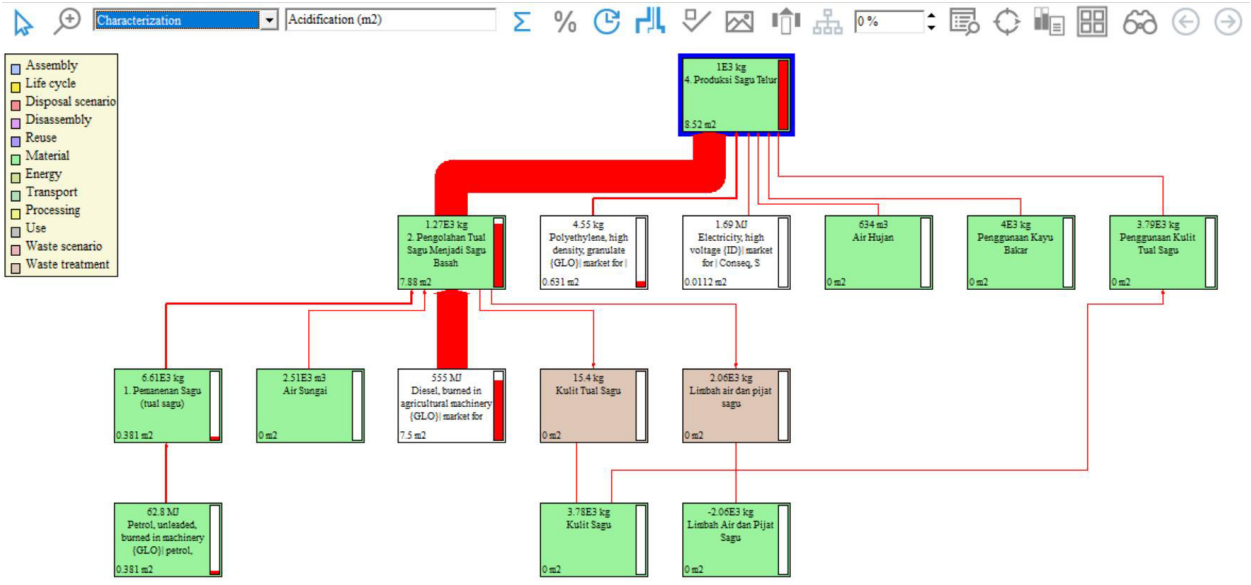
Gambar 12. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Global Warming)

Hasil pengolahan data dengan karakterisasi terhadap dampak lingkungan yang berpotensi ditimbulkan dari pengolahan sagu basah menjadi sagu telur ditunjukkan pada Gambar 11. Proses produksi 1 ton mie sagu berpotensi untuk menimbulkan dampak lingkungan pemanasan global (*global warming*) sebesar 345 kgCO_2eq yang berpotensi ditimbulkan sebagian besar adalah dari proses pemasakan dengan penggunaan kayu bakar berkontribusi sebesar 133 kgCO2eq dan penggunaan kulit sagu sebesar 126 kgCO2eq. Selain dari proses pemasakan kontribusi yang besar juga berasal dari pengolahan tual sagu menjadi sagu basah dengan kontribusi sebesar 74,4 kgCO2eq.

Dampak lingkungan asidifikasi yang ditimbulkan dari produksi mie sagu adalah sebesar 13,3 m^2 dengan kontribusi terbesar dari penggunaan listrik dalam mengoperasikan *noodle machine* sebesar 7,61 m^2, pengolahan tual sagu menjadi sagu basah sebesar 4,82 m^2, dan penggunaan kemasan plastik sebanyak 0,908 m^2. Sementara produksi sagu telur adalah sebesar 8,52 m^2 dengan kontribusi terbesar berasal dari pembuatan sagu basah sebagai bahan baku yang sama dengan mie sagu sebesar 7,88 m^2 dan berikutnya berasal dari penggunaan kemasan plastik 0,631 m^2.



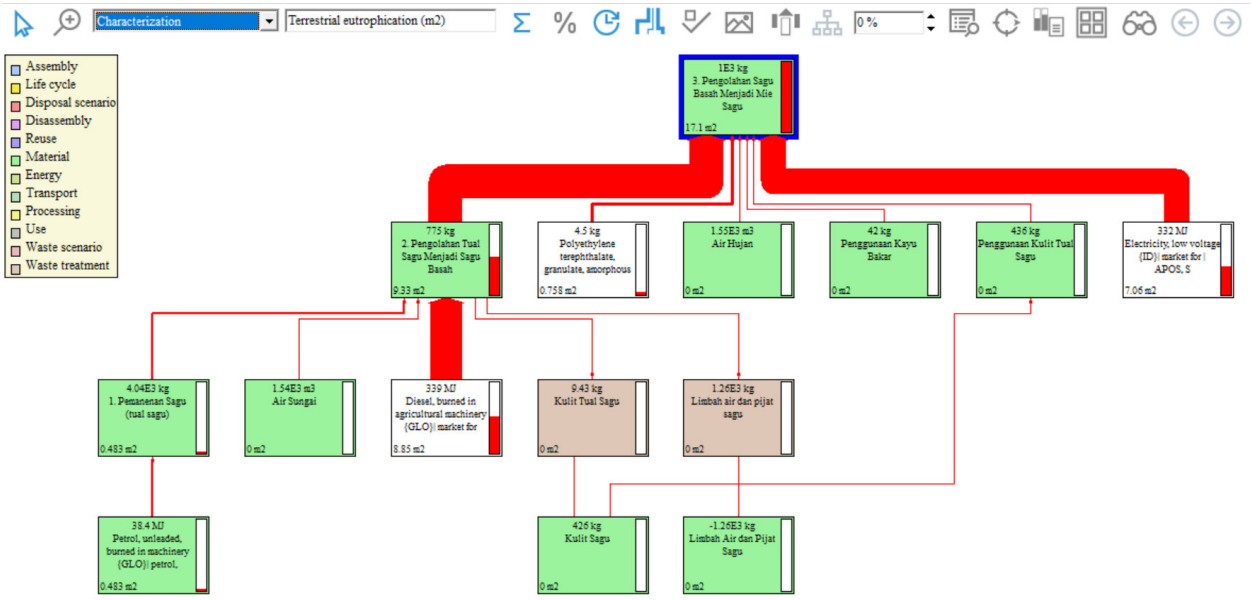
Gambar 13. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Acidification)



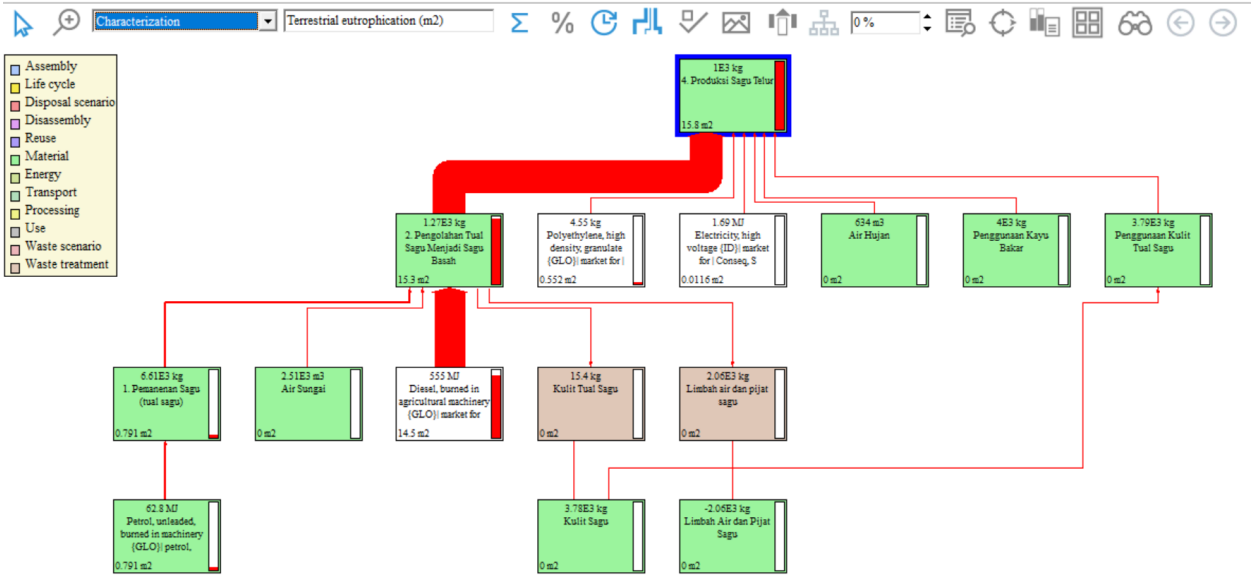
Gambar 14. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Acidification)

Dampak lingkungan euthrofikasi tanah (*Terresterial eutrophication*) pada pembuatan mie sagu adalah sebesar 17,1 m^2 dengan kontribusi terbesar dari pengolahan tual sagu menjadi sagu basah

sebesar 9,33 m^2 dan berikutya penggunaan energi listrik sebesar 7,06 m^2 dan penggunaan kemasan plastic kemasan plastik sebesar 0,758 m^2. Sementara produksi sagu telur memberikan dampak eutrifikasi tanah sebesar 15,8 m^2 dengan kontribusi terbesar dari kontribusi terbesar dari pengolahan tual sagu menjadi sagu basah sebesar 15,3 m2 sebagai bahan baku yang sama dengan mie sagu dengan kebutuhan sagu basah untuk pembuatan sagu telur lebih besar dibandingkan mie sagu.

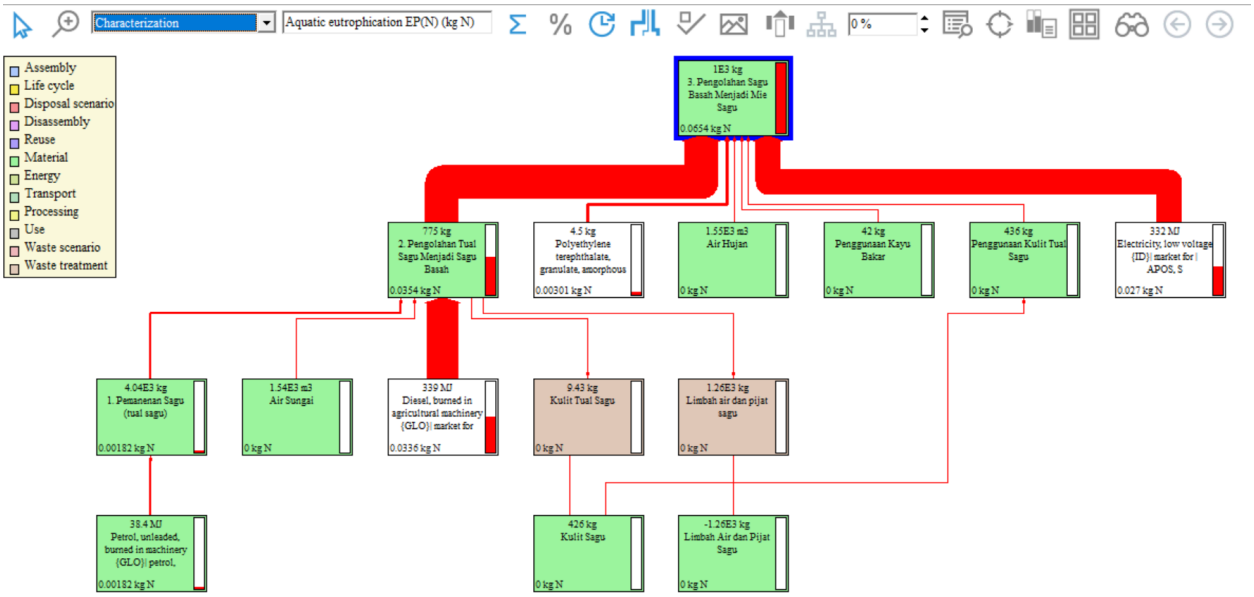


Gambar 15. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : Terresterial eutrophication)

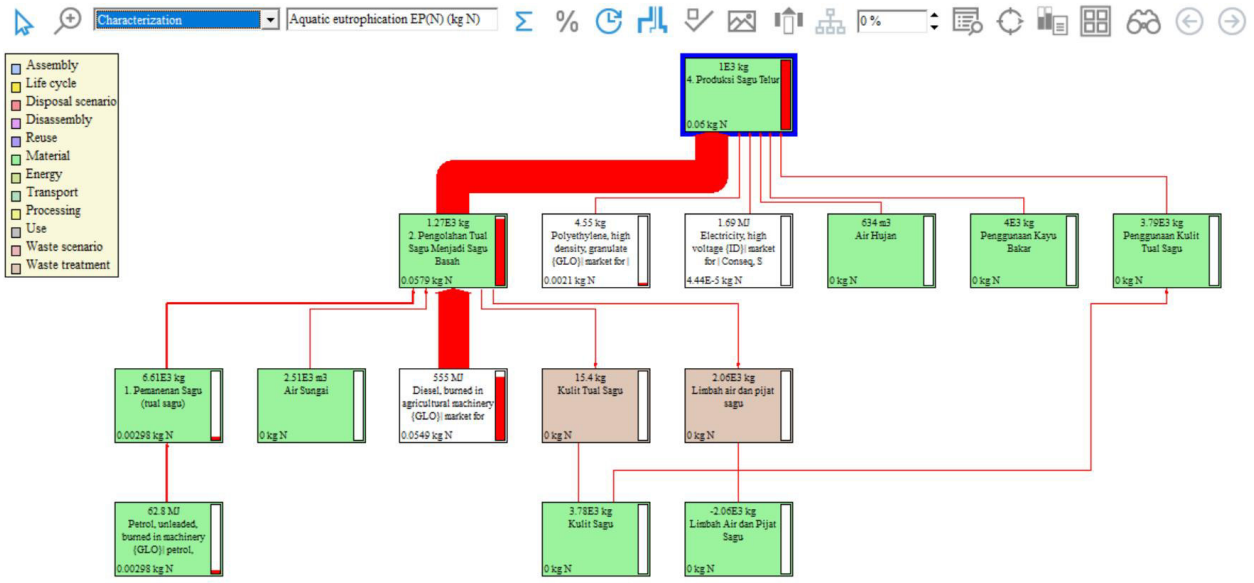


Gambar 16. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : Terresterial eutrophication)

Dampak lingkungan eutrofikasi air dengan kontribusi N pada produksi mie sagu adalah sebesar 0,0654 kgN dengan konstribusi terbesar berasal dari pengolahan tual sagu dalam pembuatan sagu basah dan penggunaan energi listrik. Proses pembuatan sagu basah berkontribusi besar terutama ditimbulkan proses pengolahan tual sagu menjadi sagu basah dimana mempergunakan mesin berbahan bakar solar. Proses produksi sagu telur berpotensi dampak lingkungan eutrofikasi air dengan kontribusi N sebesar 0,06 kg N yang sebagian besar juga dari pengolahan tual sagu dalam pembuatan sagu basah.



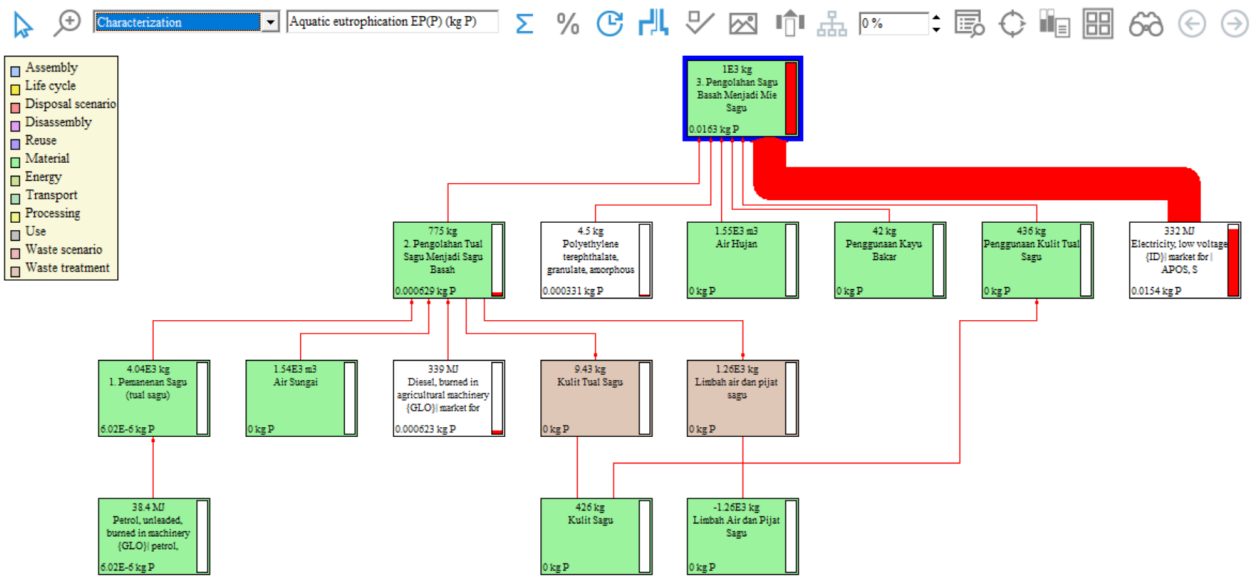
Gambar 17. Hasil analisis LCIA produksi 1ton mie sagu (kategori dampak: eutrophication EP (N))



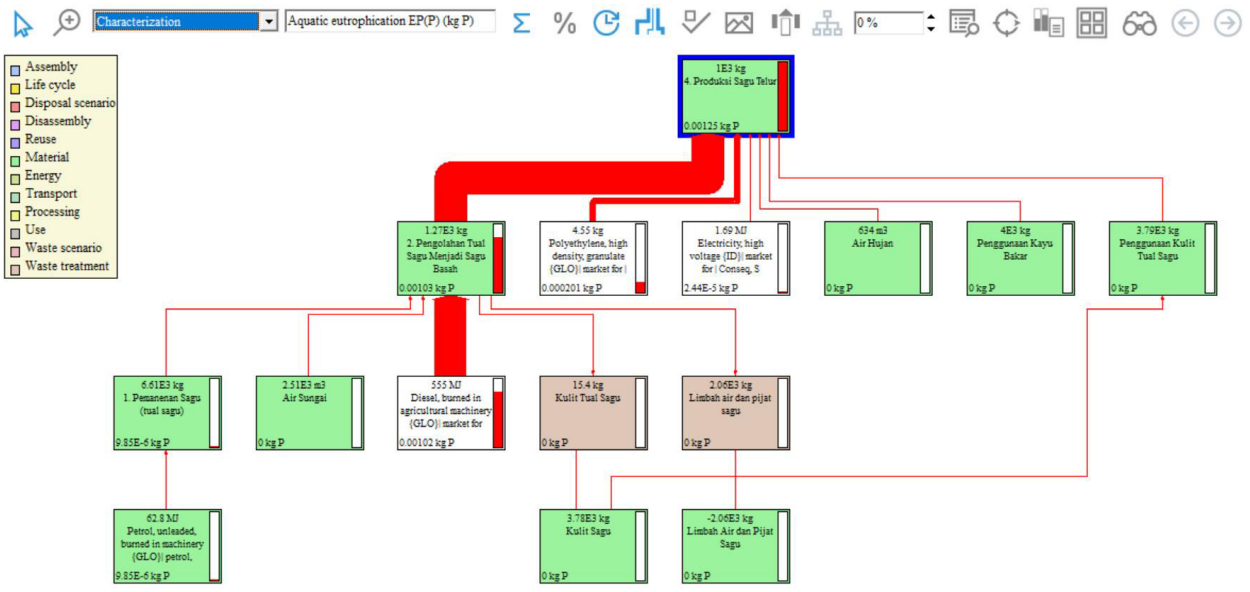
Gambar 18. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton sagu telur (kategori dampak : eutrophication EP (N))

Dampak lingkungan eutrofikasi air pada proses produksi 1ton mie sagu dengan kontribusi P adalah sebesar 0,0163 kg P dengan kontribusi terbesar berasal dari pemanfaatan energi listrik. Dampak

lingkungan eutrofikasi air dengan kontribusi P pada proses produksi sagu telur adalah sebesar 0,00125 P (Gambar 18 dan gambar 19).

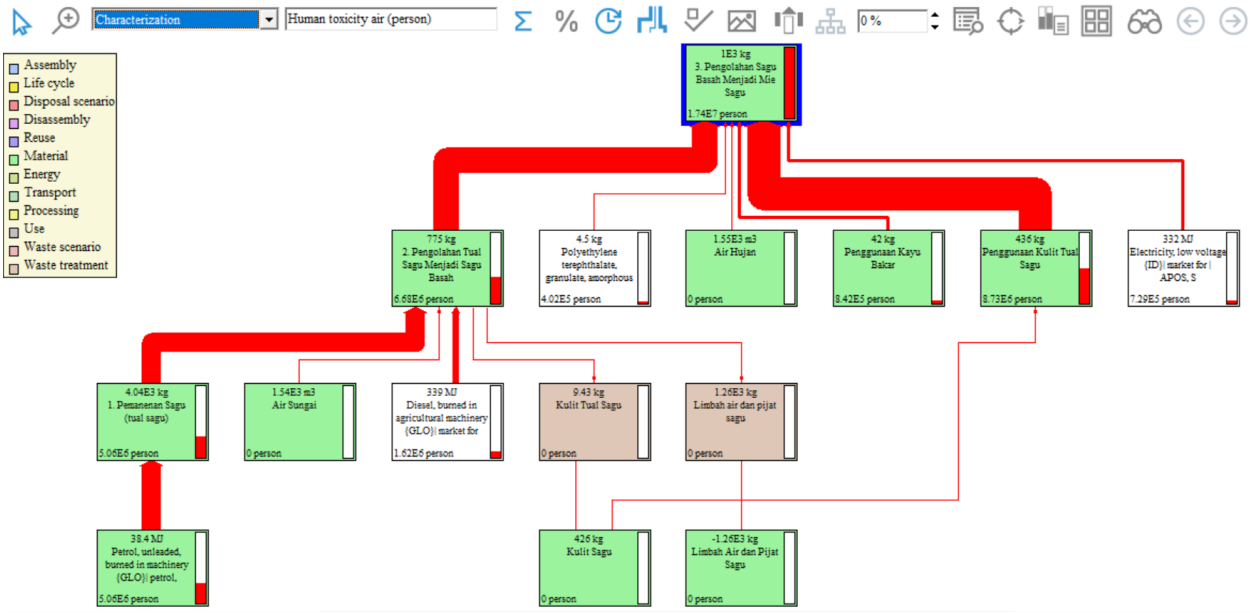


Gambar 19. Hasil analisis LCIA produksi 1ton mie sagu (kategori dampak: eutrophication EP (P))

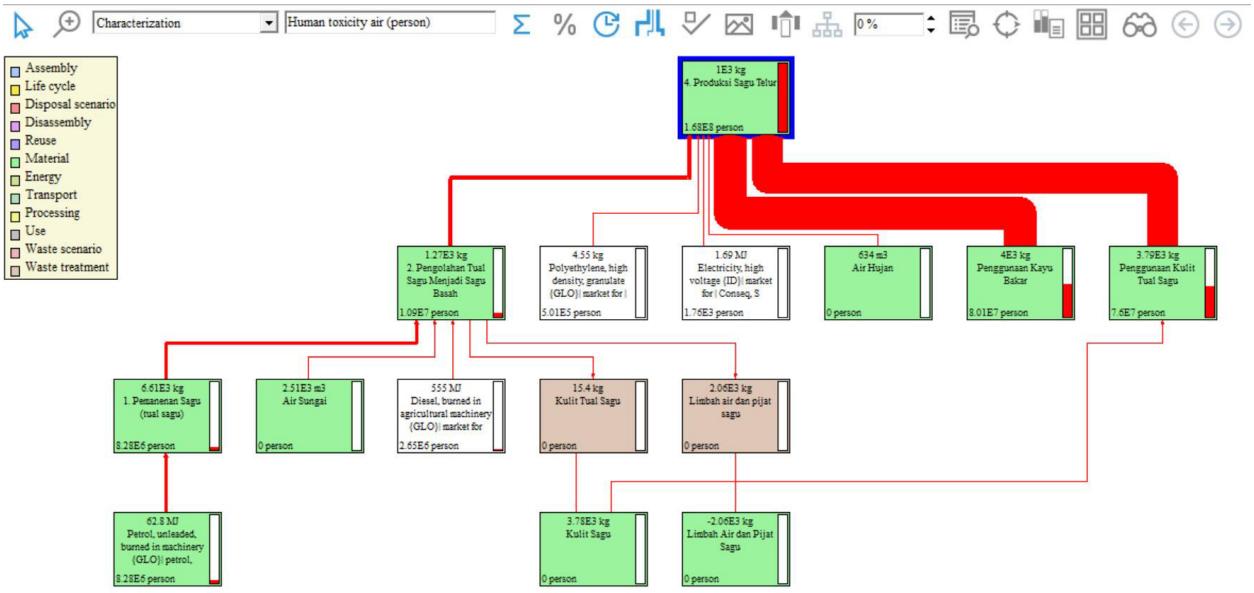


Gambar 20. Hasil analisis LCIA produksi 1ton sagu telur (kategori dampak: eutrophication EP (P))

Dari hasil analisis LCIA produksi 1ton mie sagu juga berpotensi memberikan dampak lingkungan toksisitas manusia melalui udara (*humantoxicity air*) sebesar 1,7 x 10^7 orang yang sebagian besar disebabkan oleh penggunaan kulit tual sagu sebagai bahan bakar pemasakan dan pengolahan tual sagu menjadi sagu basah sebagai akumulasi mulai dari proses pemanenan sagu. Pada bagian dampak ini kontribusi pada pemanenan sagu disebabkan oleh penggunaan bahan bakar pertalite dalam proses pemotongan batang sagu. Proses produksi 1 ton sagu telur berpotensi menimbulkan dampak sebesar 1,68 x 10^8 orang dengan kotribusi terbesar dari penggunaan kayu bakar sebesar 8x10^7 orang dan penggunaan kulit tual sagu sebesar 7,6x10^7 orang serta kontribusi dari pengolahan sagu basah sebagau bahan baku yang sama dengan mie sagu.

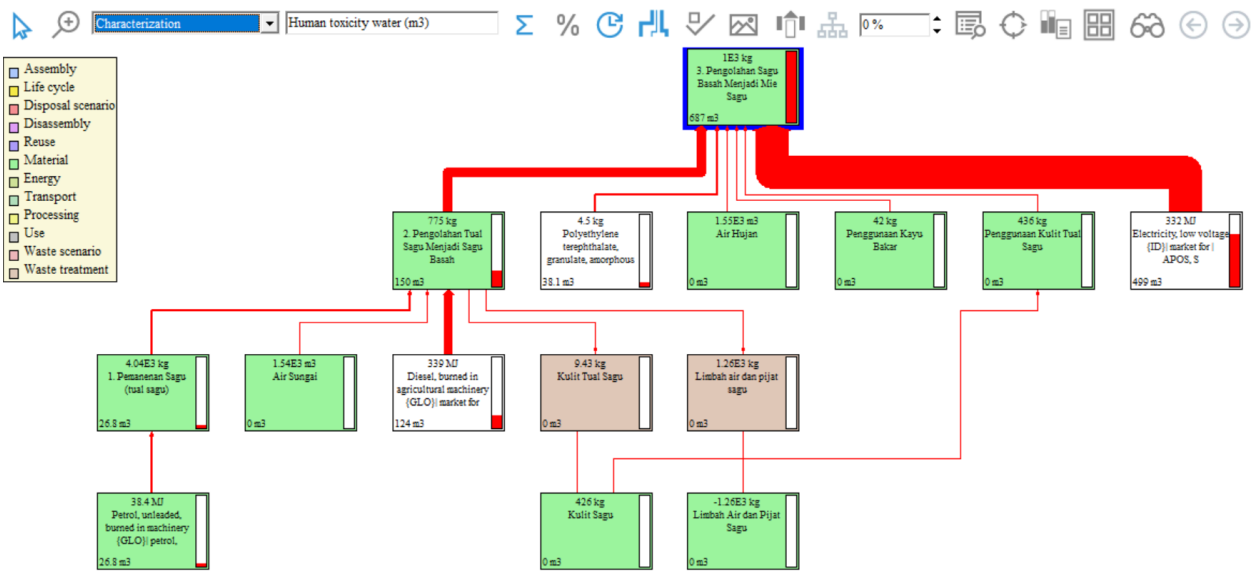


Gambar 21. Hasil analisis LCIA produksi 1ton mie sagu (kategori dampak: Humantoxicity Air)

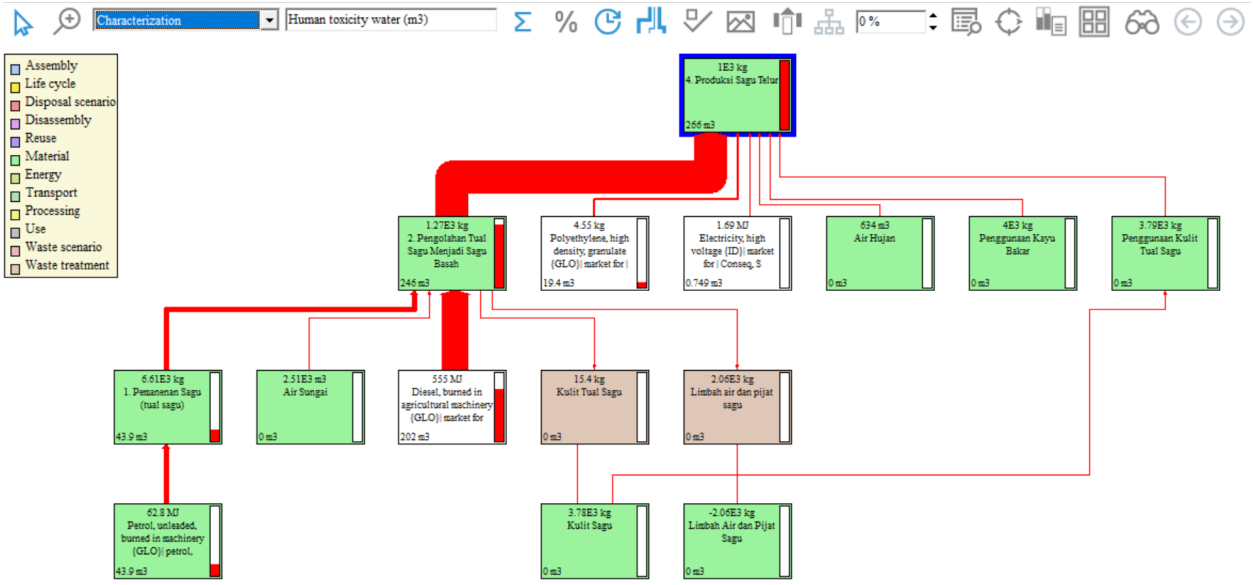


Gambar 22. Hasil analisis LCIA produksi 1ton sagu telur (kategori dampak: *Humantoxicity Air*)

Dampak lingkungan untuk kategori toksisitas terhadap manusia melalui air (*Humantoxicity water*) yang digambarkan dengan meter kubik, dari hasil kajian LCA diperoleh sebesar 687 m^3 dengan kontribusi terbesar adalah dari penggunaan kemasan plastik, sebagian dari penggunaan energi listrik dan pengolahan tual sagu terutama pada penggunaan mesin parut berbahan bakar solar. Proses produksi sagu telur berpotensi dampak lingkungan *humantoxicity water* sebesar 266 m^3 dengan kontribusi terbesar dari penggunaan kantong plastik dan pembuatan sagu basah sebagai bahan baku yang sama dengan pembuatan mie sagu.



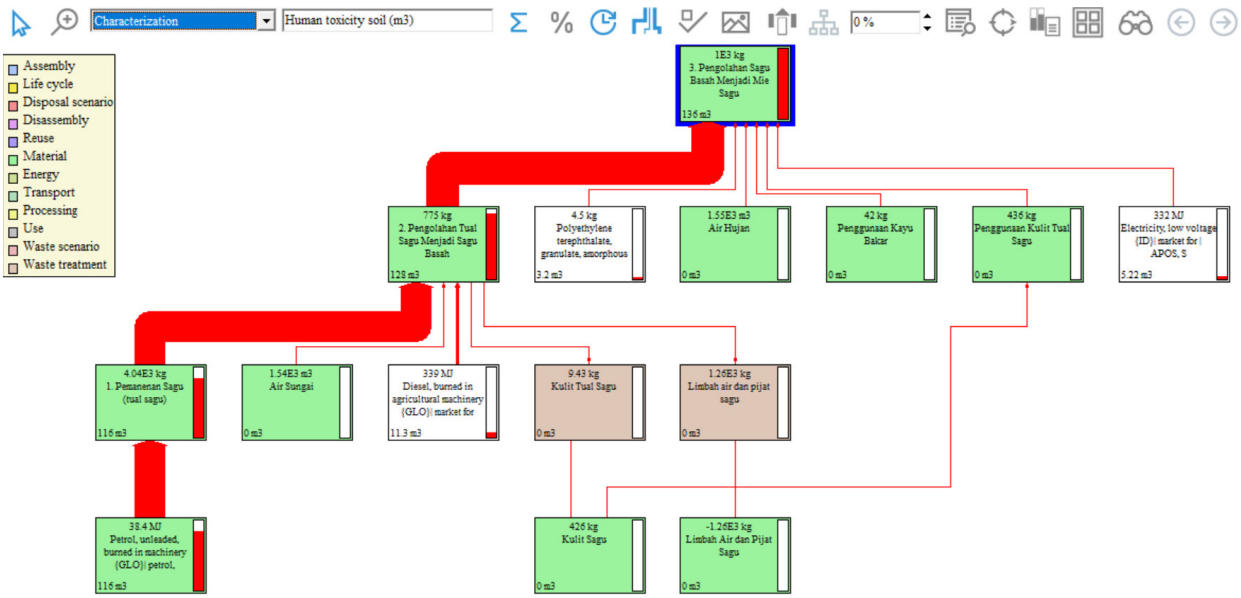
Gambar 23. Hasil analisis LCIA produksi 1ton mie sagu (kategori dampak: *Humantoxicity water*)



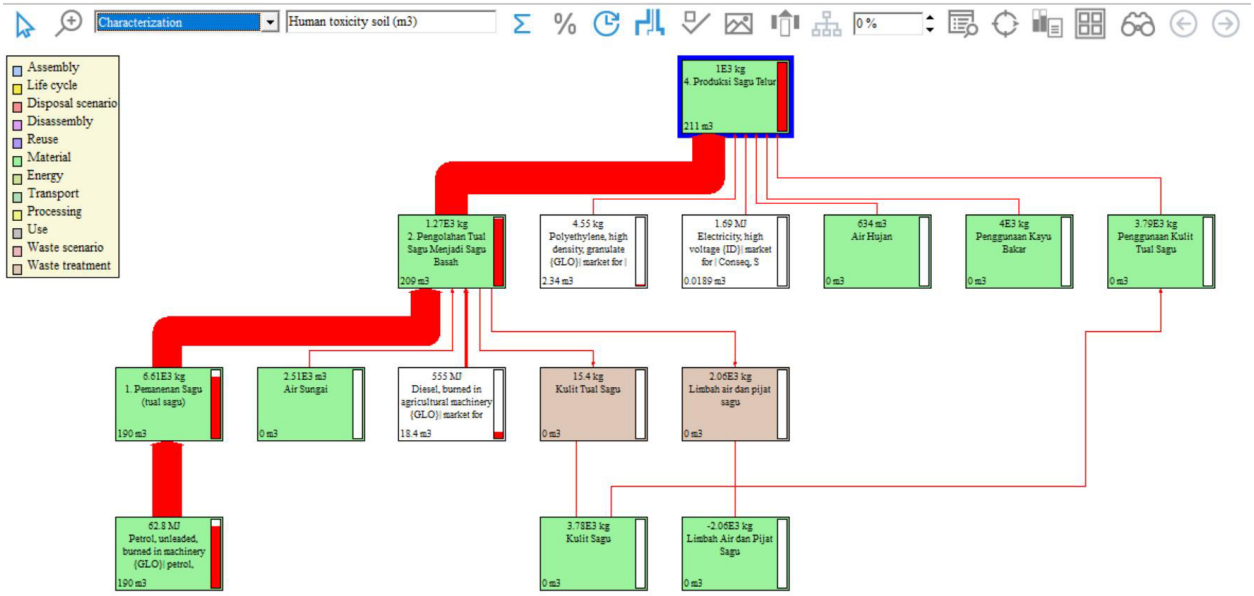
Gambar 24. Hasil analisis LCIA produksi 1ton sagu telur (kategori dampak: *Humantoxicity water*)

Dampak lingkungan toksisitas manusia melalui tanah didapatkan sebesar 133 m^2 dengan kontribusi terbesar adalah dari proses pengolahan tual sagu yang menjadi akumulasi dari pemanenan dimana penggunaan alat potong *chain saw* berbahan bakar premium berkontribusi sebanyak 116 m^3 dan penggunaan mesin parut berbahan bakar solar pada saat pemarutan. Kotribusi

besar dalam kategori dampak ini juga berasal dari penggunaan kemasan plastik sebesar 3,2 m^3. Proses produksi sagu telur berpotensi dampak lingkungan *humantoxicity soil* sebesar 211 m^3 dengan kontribusi terbesar adalah dari pembuatan sagu basah sebagai bahan baku yang sama dengan mie sagu dan penggunaan kemasan plastik.



Gambar 25. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton mie sagu (kategori dampak : *Humantoxicity soil*)



Gambar 26. Hasil analisis LCIA produksi 1ton sagu telur (kategori dampak: *Humantoxicity soil*)

Hasil analisis dampak lingkungan dari proses produksi mie sagu dapat dilihat pada Tabel 11 dan sagu telur pada Tabel 12.

Tabel 12. Export hasil analisis LCIA mie Sagu *(Characterization)*

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category

Standard | Group

Sel	Impact category	Unit	Total	3. Pengolahan Sagu Basah Menjadi Mie	2. Pengolahan Tual Sagu Menjadi Sagu	Polyethylene terephthalate,	Air Hujan	Penggunaan Kayu Bakar	Penggunaan Kulit Tual Sagu	Electricity, low voltage {ID}| market
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	182	x	45.5	13.8	x	1.4	14.5	107
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1.04E-5	x	6.33E-6	7.07E-7	x	x	x	3.38E-6
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	1.27E4	x	764	85.9	x	995	1.03E4	538
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	1.01	x	0.0525	0.00621	x	0.0801	0.831	0.0364
☑	Acidification	m2	13.3	x	4.82	0.908	x	x	x	7.61
☑	Terrestrial eutrophication	m2	17.1	x	9.33	0.758	x	x	x	7.06
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0.0654	x	0.0354	0.00301	x	x	x	0.027
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.0163	x	0.000629	0.000331	x	x	x	0.0154
☑	Human toxicity air	person	1.74E7	x	6.68E6	4.02E5	x	8.42E5	8.73E6	7.29E5
☑	Human toxicity water	m3	687	x	150	38.1	x	x	x	499
☑	Human toxicity soil	m3	136	x	128	3.2	x	x	x	5.22
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	2.77E4	x	2.29E3	1.46E3	x	x	x	2.4E4
☑	Ecotoxicity water acute	m3	6.11E3	x	2.1E3	641	x	x	x	3.37E3
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	911	x	330	128	x	x	x	452
☑	Hazardous waste	kg	0.00276	x	0.00177	0.000542	x	x	x	0.000447
☑	Slags/ashes	kg	0.429	x	0.112	0.0599	x	x	x	0.257
☑	Bulk waste	kg	10.5	x	6.51	1.35	x	x	x	2.65
☑	Radioactive waste	kg	0.00498	x	0.00352	0.000357	x	x	x	0.0011
☑	Resources (all)	PR2004	0.0194	x	0.013	0.00331	x	x	x	0.00309

Tabel 13. Export hasil analisis LCIA Sagu Telur (characterization)

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category

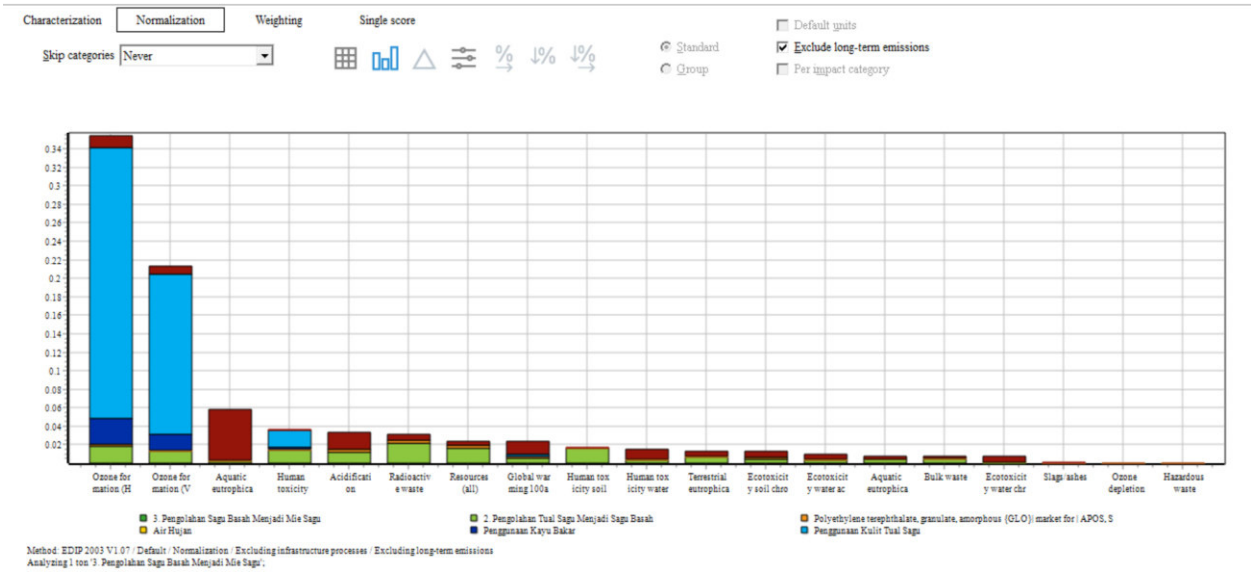
Standard | Group

Sel	Impact category	Unit	Total	4. Produksi Sagu Telur	2. Pengolahan Tual Sagu Menjadi Sagu	Polyethylene, high density, granulate	Electricity, high voltage {ID}| market	Air Hujan	Penggunaan Kayu Bakar	Penggunaan Kulit Tual Sagu
☑	Global warming 100a		0.0444	x	0.0096	0.00133	3.37E-5	x	0.0172	0.0163
☑	Ozone depletion		0.000519	x	0.000505	1.35E-5	6.8E-7	x	x	x
☑	Ozone formation (Vegetation)		3.12	x	0.021	0.00119	1.66E-5	x	1.59	1.51
☑	Ozone formation (Human)		5.26	x	0.0302	0.00182	2.41E-5	x	2.68	2.54
☑	Acidification		0.0216	x	0.02	0.0016	2.84E-5	x	x	x
☑	Terrestrial eutrophication		0.0116	x	0.0111	0.000403	8.5E-6	x	x	x
☑	Aquatic eutrophication EP(N)		0.0072	x	0.00695	0.000252	5.32E-6	x	x	x
☑	Aquatic eutrophication EP(P)		0.00445	x	0.00365	0.000714	8.66E-5	x	x	x
☑	Human toxicity air		0.354	x	0.0231	0.00106	3.71E-6	x	0.169	0.16
☑	Human toxicity water		0.00564	x	0.00521	0.000411	1.59E-5	x	x	x
☑	Human toxicity soil		0.0262	x	0.0259	0.00029	2.35E-6	x	x	x
☑	Ecotoxicity water chronic		0.00122	x	0.00102	0.000171	2.56E-5	x	x	x
☑	Ecotoxicity water acute		0.00557	x	0.00515	0.000403	1.46E-5	x	x	x
☑	Ecotoxicity soil chronic		0.00833	x	0.0074	0.000927	3.77E-7	x	x	x
☑	Hazardous waste		0.000143	x	0.00014	2.54E-6	1.08E-7	x	x	x
☑	Slags/ashes		0.000581	x	0.000522	5.78E-5	1.21E-6	x	x	x
☑	Bulk waste		0.00846	x	0.00788	0.000571	5.56E-6	x	x	x
☑	Radioactive waste		0.037	x	0.036	0.000986	4E-5	x	x	x
☑	Resources (all)		0.0274	x	0.0259	0.00153	8.76E-6	x	x	x

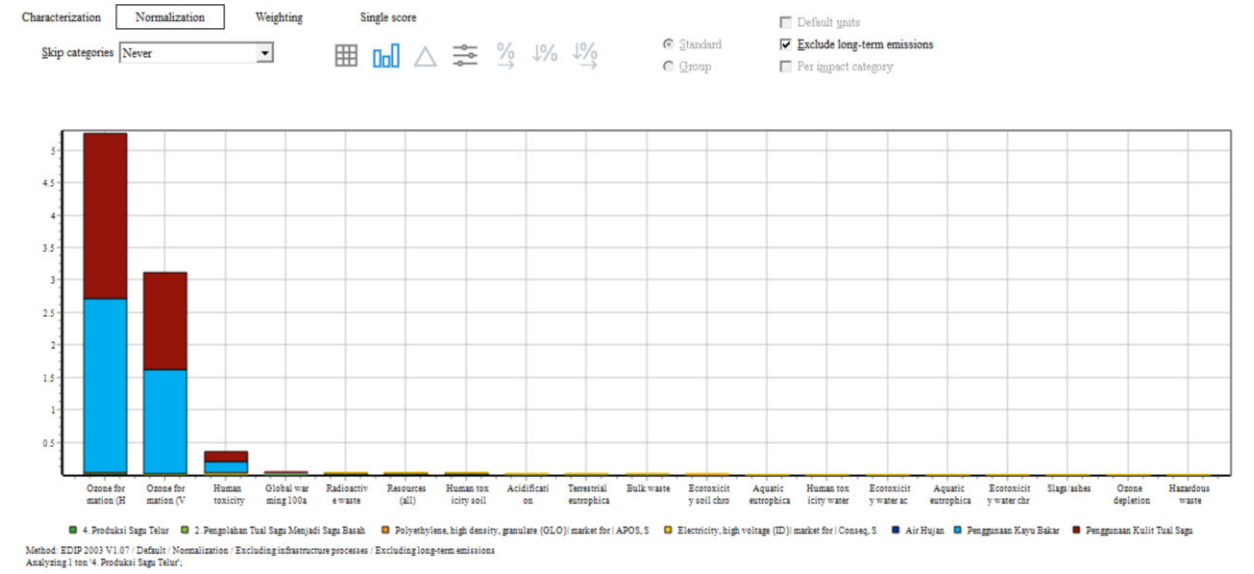
Analyzing 1 ton '4. Produksi Sagu Telur';Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Normalization / Excluding infrastructure processes / Excluding long-term emissions

Pada Gambar 26 menunjukkan hasil analisis dampak lingkungan 1ton mie sagu, dimana dampak dengan bobot tertinggi adalah *Ozone Formation (Human)* dan *Ozon Formation (Vegetation)* yang sebagian besar ditimbulkan dari penggunaan kulit sagu sebagai bahan bakar pemasakan ditambah

dengan kontribusi dari proses pengolahan tual sagu menjadi sagu basah, penggunaan kayu bakar dan penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan *noodle machine*. Selain dampak lingkungan tersebut produksi sagu juga berpotensi memberikan dampak Eutrofikasi perairan yang sebagian besar ditimbulkan oleh penggunaan energi listrik, dampak *human toxicity air* yang sebagian besar adalah kontribusi dari pengolahan tual sagu menjadi sagu basah serta penggunaan kulit tual sagu.



Gambar 27. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1ton mie sagu (Normalization)



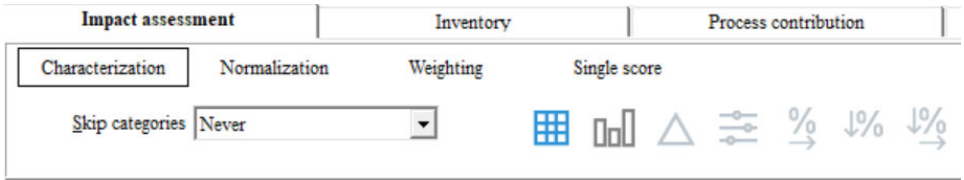
Gambar 27. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1ton sagu telur (Normalization)

Pada gambar 27 menunjukkan potensi dampak yang ditimbulkan dalam proses produksi sagu telur adalah *Ozone Formation (Human)* dan *Ozon Formation (Vegetation)* yang secara signifikan dibandingkan kategori dampak lainnya selain dampak lingkungan tersebut potensi dampak lainnya adalah *human toxicity air* yang berpotensi ditimbulkan dari penggunaan kayu bakar dan energi listrik.

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Sagu

Berdasarkan analisis *Impact Assesment* LCA, kategori dampak yang penting menjadi perhatian pada proses produksi mie sagu dan sagu telur adalah *Ozone Formation (Human)* dan *Ozon Formation (Vegetation)* karena merupakan kategori dampak yang berpotensi terbesar ditimbulkan.

Tabel 14. Perbandingan Nilai Setiap Kategori Dampak Produksi Mie Sagu dan Sagu Telur

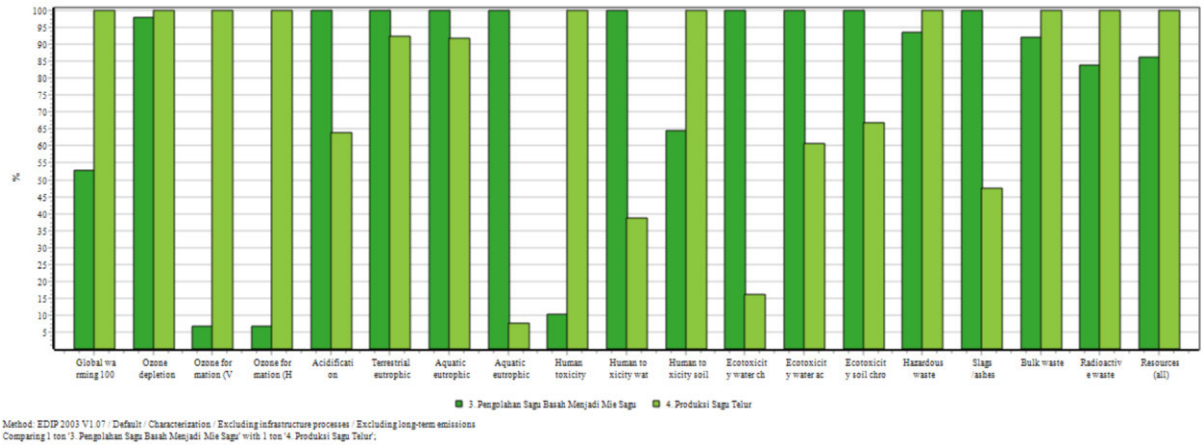


Sel	Impact category	Unit	3. Pengolahan Sagu Basah Menjadi Mie	4. Produksi Sagu Telur
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	182	345
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1.04E-5	1.06E-5
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	1.27E4	1.86E5
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	1.01	14.9
☑	Acidification	m2	13.3	8.52
☑	Terrestrial eutrophication	m2	17.1	15.8
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0.0654	0.06
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.0163	0.00125
☑	Human toxicity air	person	1.74E7	1.68E8
☑	Human toxicity water	m3	687	266
☑	Human toxicity soil	m3	136	211
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	2.77E4	4.47E3
☑	Ecotoxicity water acute	m3	6.11E3	3.71E3
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	911	608
☑	Hazardous waste	kg	0.00276	0.00296
☑	Slags/ashes	kg	0.429	0.203
☑	Bulk waste	kg	10.5	11.4
☑	Radioactive waste	kg	0.00498	0.00593
☑	Resources (all)	PR2004	0.0194	0.0225

Dalam kajian ini untuk produksi 1 ton mie sagu berpotensi menimbulkan dampak *Ozon Formation* (*Vegetation*) sebesar $1{,}27 \times 10^4$ m^2.ppm.h sementara produksi sagu telur sebesar $1{,}27 \times 10^4$ m^2.ppm.h. Kategori dampak *Ozone Formation (Human)* produksi 1 ton mie sagu berpotensi sebesar 1,01 person.ppm.h sementara produksi 1 ton sagu telur berpotensi sebesar 14,9 person.ppm.h. Perbandingan nilai setiap kategori dampak produksi mie sagu dan sagu telur dapat dilihat pada tabel 13. Kedua kategori dampak *Ozone Formation (H dan V)* berpotensi ditimbukan dari penggunaan bahan bakar pada proses pemasakan berupa kayu bakar dan kulit sagu, selain itu

juga pada saat produksi sagu basah dengan adanya penggunaan bahan bakar solar dan kontribusi dari penggunaan energi listrik.

Pada kategori dampak pemanasan global (*global warming*) 1ton mie sagu dapat menimbulkan dampak sebesar 182 kgCO2eq sementara pada produksi sagu telur adalah sebesar 345 kgCO2eq. Pada proses produksi mie sagu proses yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global adalah penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan *noodle machine* sebesar 107 kg, berikutnya kontribusi dari pengolahan tual sagu menjadi sagu basah sebesar 45,5 kg dan selanjutnya adalah tambahan dari penggunaan kemasan plastic serta bahan bakar kayu dan kulit sagu. Sementara pada proses produksi sagu telur kontribusi terbesar berpotensi ditimbulkan dari proses pemasakan yang mempergunakan kayu bakar dan kulit tual sagu serta kontribusi dari pengolahan tual sagu menjadi sagu basah. Untuk mempermudah melihat perbandingan setiap kategori dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh produksi 1 ton mie sagu dan 1 ton sagu telur dapat dilihat pada grafik gambar 29.



Gambar 28. Perbandingan kategori dampak pada proses produksi 1 ton mie sagu dan produksi 1 ton sagu telur

Kategori dampak yang signifikan berupa Ozone Formation (H dan V) pada produksi 1 ton mie sagu dan 1 ton sagu telur merupakan potensi dampak yang ditimbulkan dari polutan Nitrogen Dioksida (NO_2) yang merupakan penyebab hujan asam yang akan berakibat pada kerusakan bangunan, keasaman tanah dan lain-lain. Pada manusia gas NO_2 dalam konsentrasi tertentu dapat menyebabkan infeksi paru-paru dan saluran pernafasan. Pencegahan dan penanggulangan polutan NO_2 dapat dilakukan dengan modifikasi proses pemasakan dari penggunaan kayu bakar dan kulit sagu dengan bahan bakar lain yang lebih ramah terhadap kesehatan produsen dan lingkungan. Sebagai alternatif untuk menjaga kesehatan produsen pada saat produksi apabila tetap mempergunakan kayu bakar dan kulit sagu serta dalam produksi sagu basah dari tual sagu dengan penggunaan mesin berbahan bakar solar adalah dengan memastikan tidak pada ruangan tertutup atau mempergunakan *exhaust fan*.

Penggunaan kemasan plastik pada proses produksi baik mie sagu dan sagu telur memberikan kontribusi dalam berbagai dampak lingkungan, sehingga perlu dipertimbangkan untuk studi lebih mendalam terkait penggunaan kemasan plastik tersebut serta alternatif lain kemasan yang lebih ramah lingkungan selain mempergunakan kemasan berbahan plastik.

Penggunaan energi listrik pada pembuatan mie sagu turut memberikan potensi dampak lingkungan yang lebih besar yang terlihat juga bila dibandingkan dengan penggunaan listrik pada produksi sagu telur. Penggunaan listrik yang besar pada pembuatan mie sagu adalah untuk menggerakkan mesin pencetak mie(*noodle machine*) dan sebagian ditambah dari penggunaan listrik untuk menutup kemasan dengan *sealer* meskipun dengan kontribusi yang relatif kecil. Dibutuhkan kajian lebih lanjut terkait dengan penggunaan energi listrik, dalam produksi mie sagu misalnya dengan mempergunakan *noodle machine* yang lebih hemat energi dan mengandalkan sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

Pengolahan tual sagu menjadi sagu basah memberikan kontribusi besar terhadap dampak lingkungan dikarenakan penggunaan mesin parut dengan BBM Solar, yang dapat dipertimbangkan untuk mempergunakan mesin yang lebih hemat energi ataupun dengan BBM dengan dampak lingkungan lebih rendah. Selain pada penggunaan BBM solar pada pemarutan, proses pemanenan juga memberikan kontribusi terhadap dampak lingkungan pada penggunaan mesin potong *chainsaw* yang membutuhkan konsumsi BBM premium. Apabila masyarakat tradisional masih mengandalkan tenaga manusia dengan peralatan potong konvensional tanpa mempergunakan BBM dalam proses pemanenan akan berpotensi memberikan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan mempergunakan *chainsaw*.

C. Hasil Studi LCA Garam

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil garam yang memanfaatkan air laut sebagai sumber bahan baku. Lautan yang luas serta Panjang garis pantainya yang mencapai 99.000 km sebagai salah satu faktor yang menjadikan banyak daerah di Indonesia berpotensi besar untuk menghasilkan garam.

Garam menjadi kebutuhan penting di dunia. Berdasarkan jenisnya, garam dikategorikan ke dalam dua kelompok, yakni garam konsumsi dan garam industri. Sedangkan bila didasarkan pada kandungan NaCl, garam dibagi dalam empat kelompok, yakni menjadi garam pengawetan ikan, garam konsumsi, garam industri, serta garam farmasi (untuk keperluan infus, shampo, dan cairan dialisat) (Mustofa 2015).

Garam sebagai komoditas strategis, selain sebagai kebutuhan konsumsi juga merupakan bahan baku industry kimia seperti soda api, soda abu sodium sulfat dan lain-lain. Garam menjadi salah satu kebutuhan utama manusia, karena garam bertindak sebagai pengatur aliran makanan dalam tubuh, kontraksi hati dan jaringan-jaringan dalam tubuh. Dalam tubuh orang dewasa, mengandung sekita 250 gram garam. (Departemen Kelautan dan Perikanan 2006)

Garam krosok atau disebut "*Crude Solar Salt*" merupakan garam yang dihasilkan melalui proses evaporasi dan kristalisasi air laut. Beberapa garam krosok yang dihasilkan khususnya di Jawa Timur mempunyai kualitas yang berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh kualitas air laut sebagai bahan baku, fasilitas produksi yang tersedia dan penanganan pasca panen. Empat contoh garam krosok yang diperoleh dari berbagai sentra garam di Jawa Timur mempunyai kadar natrium klorida yang berbeda-beda yaitu : 89.25% ; 82.32% ; 83.65% dan 88,34 % (dry base), sisanya adalah bahan pengotor seperti ion magnesium (Mg), kalsium (Ca), sulfat (SO4) dan lainnya. (Sumada 2016)

Jenis Garam krosok/garam kristal yang diproduksi di Rembang adalah garam kasar yang sangat sederhana dan tidak bercampur iodium atau mineral lainnya. Proses pembuatan garam ini yaitu dengan cara ditumbuk lebih dahulu sebelum digunakan. Kebutuhan akan garam krosok bukan hanya sebagai bahan baku utama untuk memproduksi garam dapur tapi juga sudah marak digunakan untuk keperluan kesehatan dan kecantikan. Garam krosok mengandung ion dan mineral seperti ion natrium (Na+), kalium (K+), magnesium (Mg++), kalsium (Ca++), karbonat – bikarbonat (CO3 2- dan HCO3 2-), dan klorida (Cl-) yang sangat berperan penting dalam menjaga keseimbangan metabolisme tubuh.

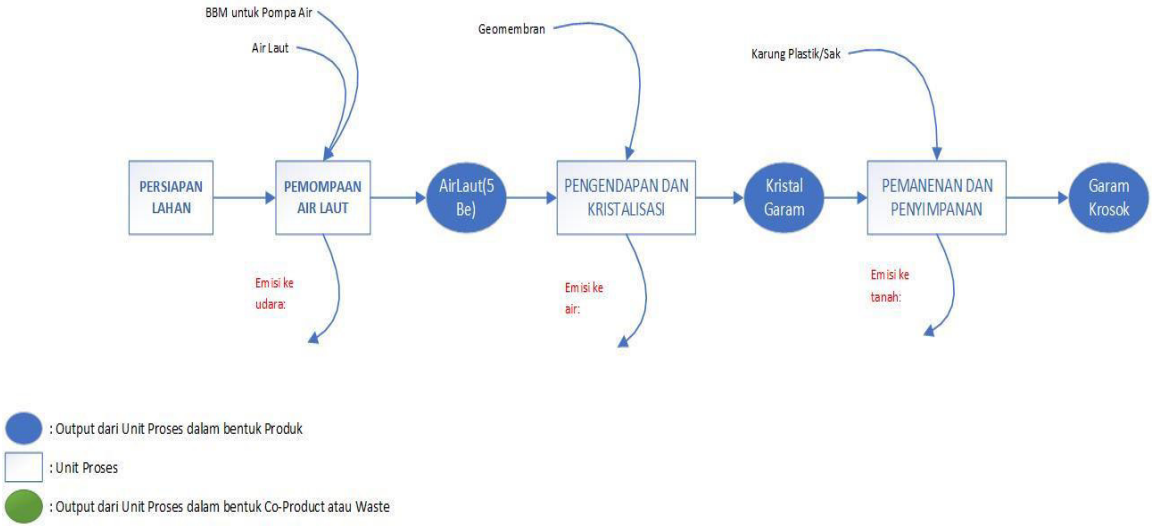
Terdapat 5 kecamatan di Rembang penghasil garam krosok yaitu kecamatan Kaliori, kecamatan Rembang, kecamata Lasem, kecamatan Sluke, dan kecamatan Sarang dengan melibatkan 4.120 orang petani garam. Program local harvest ini dilakukan di Kecamatan Kaliori oleh Koperasi Tani "Sari Makmur" dengan jumlah anggota 126 orang di 4 desa. Produksi garam krosok dihasilkan setiap tahun pada musim kemarau. Pada musim hujan tambak garam krosok menjadi lahan tambak udang/bandeng. Terdapat dua Jenis garam krosok berdasarkan cara pembuatannya yaitu dengan menggunakan geo isolator/geo membran dengan hasil warna lebih putih dan tanpa geo isolator (hanya tanah) dengan hasil warna agak kecoklatan. Garam krosok dikemas oleh petani kemudian

dijual kepada tengkulak untuk selanjutnya diolah di pabrik. Kemasan yang digunakan berupa karung sederhana dengan 50 kg per kemasan.

1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Garam

Goal dari studi ini adalah untuk menganalisis dampak lingkungan selama daur hidup Garam krosok proses persiapan lahan sampai dengan proses pemanenan garam hingga dikemas dalam proses penjualannya. Dalam tahapan analisis tersebut dilakukan identifikasi input (*resource*) dan output yang dihasilkan baik dalam bentuk *emission* maupun *human toxixity* yang kemungkinan akan muncul dari proses pengemasan garam. *Scope* atau ruang lingkup dari studi ini meliputi persiapan lahan, pemompaan air laut, pengendapan/kristalisasi, pemanenan dan penyimpanan. Dalam hal penentuan ruang lingkup studi LCA garam, *functional unit* (FU) yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 ton garam yang dihasilkan dalam sistem proses produksi.

Hal kedua yang dilakukan dalam pembuatan ruang lingkup adalah penentuan batasan sistem produksigaram krosok. Pembatasan sistem pada penelitian ini mempergunakan *cradle to gate* dari proses persiapan lahan sampai dengan air laut yang menjadi bahan baku akan menghasilkan produksi garam. Batasan ruang lingkup studi LCA untuk garam dilustrasikan di dalam Gambar 30.



Gambar 29. Model dan ruang lingkup studi LCA Garam

Studi LCA ini akan membandingkan produksi garam krosok yang dilakukan dengan 2 metode yaitu metode dengan mempergunakan geomembrane dan tradisional (tanpa geomembran). Produksi garam krosok dengan geomembrane dan tradisional (tanpa geomembrane) juga akan dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan BBM mesin pompa air yang digunakan berupa solar dan pertalite.

2. Analisis Data Persediaan Garam

Rangkuman hasil analisis persediaan terhadap tahapan produksi yang masuk dalam ruang lingkup study LCA Garam ini adalah sebagai berikut:

1) Persiapan lahan/pembuatan tambak

Para petani garam di Rembang mulai menguras, mengeringkan dan membersihkan tambak-tambak mereka guna mempersiapkan lahan untuk proses pembuatan garam. Tahapan aktivitas produksi dalam kegiatan pembuatan garam diawali dengan persiapan diperlukannya alat bantu untuk pembuatan lahan garam dan perbaikan lahan garam karena sebagian besar lahan garam ketika musim hujan difungsikan sebagai tambak ikan bandeng. Adapaun alat yang digunakan petani pada umumnya adalah berupa cangkul, sekop, kincir, pipa-pipa untuk saluran air, slander untuk meratakan kontur meja kritalisasi, pagrak.

2) Pemompaan air laut.

Pembuatan garam rakyat umumnya tidak menggunakan peralatan atau teknologi yang tinggi, petani garam membutuhkan bantuan sinar matahari dan proses pembuatan garam ini masih menggunakan cara tradisional. Sektor usaha pengolahan garam di Penambangan tergolong tradisional, hal tersebut dapat dilihat dari model yang digunakan dengan menggunakan kincir sederhana untuk mengangkat air laut yang akan dijadikan garam dengan menggunakan tenaga angin untuk menggerakkan kincir (Mustofa 2015). Tidak jauh berbeda dengan apa yang dilakukan oleh petani garam di Rembang. Para petani memompa air laut umumnya menggunakan mesin dompeng 16 PK dengan solar sebagai bahan bakarnya dan ada juga mempergunakan mesin honda berbahan bakar pertalite. Lama pemompaan tergantung dengan jarak dari lokasi tambak dengan sumber air laut, durasi air pasang laut, kekuatan pompa serta volume bosem yang dipakai sebagai penampung air laut.

3) Pengendapan dan Kristalisasi

Kristalisasi adalah suatu proses pembentukan kristal dari larutannya dan kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik (Brown 1978). Petani garam di Rembang melakukan pengendapan dan kristalisasi secara manual dengan bantuan sinar matahari. Proses ini berlangsung di meja kristalisasi yang telah diberikan geomembran. Kebutuhan para petani terhadap geomembran sangat bervariasi. Seperti Pak Agung yang telah melakukan aktivitas sebagai petani garam sejak tahun 2010 menggunakan 1 gulungan geomembran untuk 8 petak meja kritalisasi yang berukuran 4 x 40 m. Berbeda dengan Pak Sugeng yang menggunakan 5 gulung geomembran 0.5 cm untuk 6 ha luas tambaknya.

4) Pemanenan dan Penyimpanan

Hasil pembuatan garam yang dihasilkan oleh petani garam penambangan setiap hasil pemanenan yang terjadi 4 hari sekali, namun hal ini tergantung pada intensitas cahaya matahari. Selanjutnya hasil panen dimasukkan ke dalam gudang penyimpanan tapi sebagian

besar yang dijual langsung kepada tengkulak dimasukkan ke dalam kantong sak untuk langsung dijual. Bagi petani garam yang memiliki lahan yang luas biasanya tidak menjual secara langsung akan tetapi menyimpan garam terlebih dahulu baru menjualnya ketika harga jualnya mengalami kenaikan, karena umumnya ketika panen raya pada musim kemarau harga garam jatuh pada titik termurah. Ada juga petani yang menjual sebagian dan menyimpan sebagian karena terbentur kebutuhan untuk menutupi biaya operasional selama kegiatan produksi garam.

Rangkuman informasi yang ditemukan dari hasil pengumpulan data melalui survei untuk studi LCA Garam adalah sebagai berikut:

- Persiapan lahan tambak garam dilakukan dengan meratakan lahan tambak dengan menggunakan slander kayu, massa slander yang dipergunakan oleh masyarakat dengan uji coba dilapangan adalah 30 kg. Slander terbuat dari kayu keras yang mampu bertahan selama 5 tahun pemakaian
- Pemompaan air laut dilakukan oleh masyarakat untuk mengisi bosem, bagian penampungan awal air laut untuk dialirkan ke petakan kristalisasi dan dikeringkan untuk menghasilkan garam. Perhitungan volume air dalam studi LCA ini didasarkan pada volume bosem yang dimiliki oleh responden. Air laut menjadi input pengolahan atau bahan baku pembuatan garam, yang dipompa mempergunakan mesin yang berbahan bakar solar.
- Tambak garam masyarakat yang dilakukan kajian LCA nya terdapat 2 jenis, yang memiliki geomembrane atau tanpa geomembrane (langsung beralaskan tanah lahan tambak)
- Pemanenan dan penyimpanan garam dilakukan oleh responden secara tradisional dengan tenaga manusia untuk pengangkutan dan disimpan di gudang masing-masing yang berada di area tambak
- Pengemasan dilakukan pada saat garam diangkut dari gudang oleh pembeli. Kemasan yang dipergunakan umumnya adalah karung plastik berukuran 50 kg.

Produksi garam akan mebutuhkan lahan tambak sebagai tempat produksi. Dalam kajian LCA Garam ini terdapat 2 jenis tambak yang dikaji, tambak garam geomembran dan tambak garam tradisional. Tahapan proses produksi pada kedua jenis tambak ini pada prinsipnya sama, petambak garam pun dapat mempergunakan lahan tambak untuk kedua metode produksi tersebut. Perbedaan mendasar pada tambak garam geomembrane dan tradisional adalah penggunaan geomembrane pada alas meja kristalisasi pada saat memproduksi garam, sementara tambak garam tradisional tidak mempergunakan geomembran. Berdasarkan temuan di lapangan pada saat wawancara dan isian kuesioner survey menunjukkan bahwa tambak garam geomembrane dan tradisional juga akan memiliki perbedaan terhadap luas lahan, air laut yang dibutuhkan untuk produksi garam tersebut.

Hasil inventori data yang dilakukan dengan merata-ratakan nilai yang diutarakan oleh petambak garam, baik petambak garam dengan mempergunakan geomembrane dan secara tradisional (tanpa geomembrane) disiajikan dalam Tabel 14.

Tabel 15. Data inventori LCA Garam Krosok

Input/Output	Satuan	Tambak Garam Geomembran	Tambak Garam Tradisional (Tanpa Geomembran)
Input			
1. Persiapan Lahan/Pembuatan tambak			
Lahan	hektar	0,04	0,02
Massa Slander	kg	0,19	0,09
2. Pemompaan Air Laut			
BBM Mesin Pompa Air (Solar)	liter	0,065	0,065
Air laut	liter	27739,25	27739,25
3. Pengendapan dan Kristalisasi			
Geomembran	kg	1,96	tidak ada
4. Pemanenan			
		Tidak ada input material atau energi	Tidak ada input material atau energi
5. Pengemasan			
Karung Plastik	kg	4	4

Persiapan lahan dengan tambak geomembran, untuk memproduksi lahan sebanyak 1 ton akan membutuhkan 0.04 hektar lahan dan membutuhkan *slander* sebagai alat untuk meratakan/merapikan lahan sebanayk 0.19 kg pada setiap 1 ton garam. Lahan diperhitungkan dengan mendapatkan informasi produksi setiap panen dengan musim panen adalah selama 3 bulan dengan frekuesni panen 2 kali dalam seminggu sehingga diketahui bahwa frekuensi panen petambak garam dapat dilakukan sebanyak 24 kali setiap musimnya. Perhitungan selanjutnya dilakukan terhadap jumlah produksi setiap panen yang diutarakan oleh responden dan sebagian

dengan melihat catatan produksi. Massa slander untuk 1 ton garam diperhitungkan dengan daya tahan slander yang mampu dipergunakan selama 5 tahun (5 kali musim panen).

Bahan baku pembuatan garam adalah air laut yang dipompa oleh petambak garam kedalam bosem, sebagai wadah pertama penampungan air sebelum dialirkan ke ulir dan meja kristalisasi. Perhitungan volume air untuk produksi garam dilakukan dengan memperhitungkan luasan bosem dan perhitungan kebutuhan BBM berdasarkan lama pengisian air kedalam bosem serta jumlah BBM yang dibutuhkan. Petambak garam mengisi bosem dengan mempergunakan mesin pompa air, dalam kajian ini yang diperhitungkan adalah konsumsi BBM mesin pompa air berbahan bakar solar.

Pengendapan dan kristalisasi merupakan tahapan setelah air laut dialirkan dari bosem dan melalui ulir-ulir berupa saluran dan petakan tambak. Pada aliran bosem air muda akan ditampung sementara dan selanjutnya dialirkan ke ulir. Ulir merupakan tampungan air laut agar terkena panas matahari dan memiliki kadar garam yang semakin tinggi, selanjutnya akan dialirkan pada meja kristalisasi yang juga merupakan petakan tambak. Meja kristalisasi ini merupakan tempat terakhir air tua diendapkan dan dikeringkan hingga menghasilkan garam dan dilakukan pemanenan. Petambak garam akan memaksimalkan pengendapan dan pengeringan pada meja kristalisasi, dan salah satunya adalah dengan membuat geomembrane sebagai alas untuk memaksimalkan pengeringan. Kebutuhan geomembrane diperhitungkan untuk setiap 1 ton garam krosok yang diproduksi sebanyak 1,96 kg geomembran, yang diperhitungkan berdasarkan rataan kebutuhan yang disampaikan responden dan daya tahan geomembrane yang umumnya adalah 3-4 tahun. Sementara untuk tambak garam tradisional tidak mempergunakan geomembran.

Petambak garam yang menjadi responden dalam studi LCA ini menyampaikan bahwa penggunaan geomembran dapat meningkatkan kapasitas produksi garam yang dihasilkan. Berdasarkan studi sebelumnya (Yasin 2019) petambak garam mempergunakan geomembran dapat meningkatkan kapasitas produksi garam hingga 30-40% bila dibandingkan dengan sistem produksi garam tradisional. Garam yang dihasilkan juga merupakan garam dengan kualitas yang lebih baik, yaitu garam yang bersih dengan kristal berlapis (besar dan keras) dan kandungan NaCl mencapai (90 - 94)% serta mempunya nilai ekonomi tinggi.

Geomembrane merupakan lapisan lembar HDPE yang dihamparkan pada lahan garam dan berfungsi sebagai pembatas yang *waterproof* antara tanah dan bagian lainnya. Penggunaan geomembran ini adalah proses improvisasi dari proses produksi sederhana/konvensional yang telah dilakukan oleh petambak garam secara turun temurun. Perkembangan penggunaan geomembran dapat mempengaruhi nilai ekonomis garam sehingga banyak masyarakat yang beralih dari konvensional menjadi mempergunakan geomembran. Pengalaman repsonden menyatakan bahwa hasil produksi garam menggunakan geomembran lebih cepat mengalami penyusutan dari pada garam hasil produksi konvensional. Namun di lain sisi produksi garam petani menggunakan cara tradisional tidak dapat bersaing di pasar dan harga jualnya sangat murah.

Pemanenan tambak garam dilakukan oleh petambak umumnya hanya mengandalkan tenaga manusia untuk mengambil garam dan selanjutnya dilakukan penyimpanan pada gudang yang

berada di lokasi tambak. Dalam studi LCA ini tidak diperhitungkan material atau energi sebagai input yang berpotensi berdampak pada lingkungan dalam tahap pemanenan. Proses pemanenan pada tambak geomembran dan tambak garam tradisional adalah sama.

Garam yang telah diproduksi oleh petambak akan dijual kepada pengumpul, baik dijemput ataupun dihantarkan. Responden mempergunakan karung plastik berukuran 50 kg, setiap karung memiliki massa 200 gram. Untuk 1ton garam akan dibutuhkan 4 kg karung plastik.

3. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Garam

Kajian dampak lingkungan dalam studi LCA Garam ini dilakukan mempergunakan software Simapro. Analisis dampak pada study ini menggunakan metode EDIP 2003. EDIP 2003 merupakan pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan industrial product. Metode ini dipilih karena berfokus pada kegiatan industri dan impact category yang berkaitan terhadap dampak lingkungan sesuai dengan kebutuhan study. Pada metode EDIP 2003 terdapat 7 impact category yang tersedia yaitu AP, AE, GWP, TE, IHHM (yang berdampak pada kesehatan manusia) photochemical ozone formation (yang berdampak pada tumbuhan), penipisan ozon (stratospheric ozone depletion). Ditentukan 3 kategori dampak yang dipilih akan dilakukan analisis pada study LCA masing-masing komoditi dalam studi LCA ini, yaitu Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), EutrificationPotensial (EP) dan Human Eco Toxicity (HET).

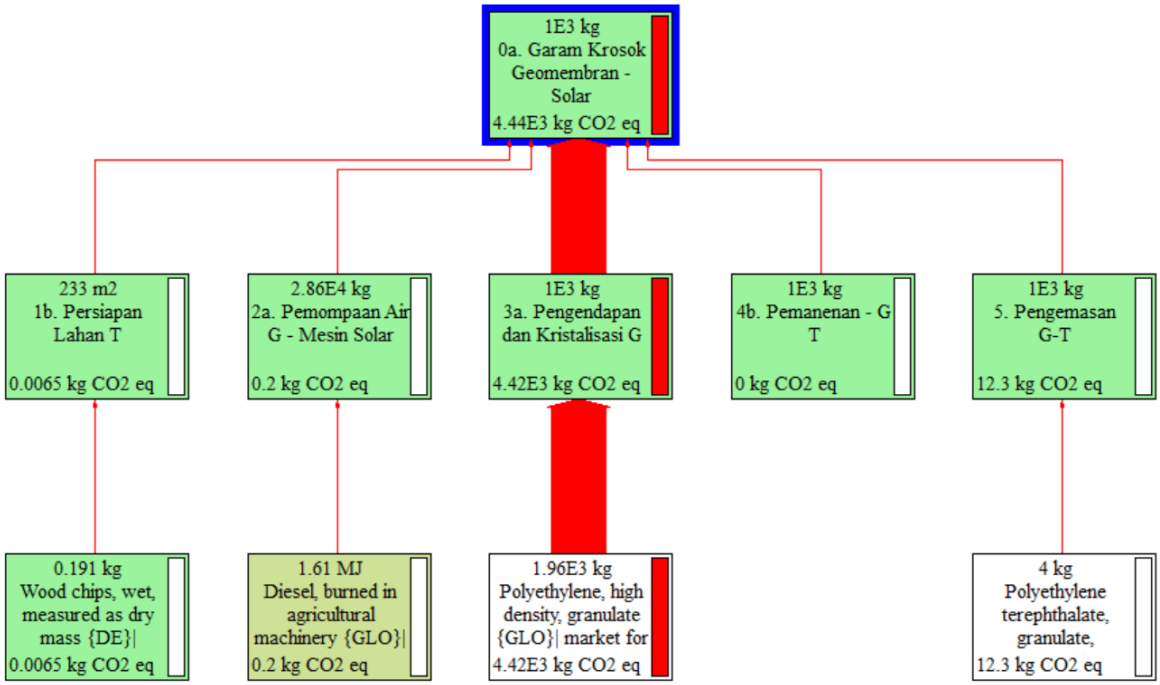
Pada saat melakukan analisis dilakukan karakterisasi dan normalisasi dan fitur ini tersedia pada saat menggunakan software *Simapro*. Karakterisasi merupakan perhitungan besarnya hasil indikator (karakterisasi) dengan konversi hasil LCI ke unit umum dan pengelompokan terhadap kategori dampak yang sama. Normalisasi adalah perhitungan besarnya hasil indikator kategori relative terhadap beberapa informasi acuan. Tujuan dari normalisasi adalah untuk memahami dengan lebih baik besaran relative setiap hasil indikator dari sistem produk yang dikaji.

LCIA mengelompokkan hasil inventori data kedalam kategori dampak. Untuk setiap kategori dampak dapat diolah untuk memberikan informasi tentang isu lingkungan yang terkait dengan masukan dan keluaran dari sistem produk. Kategori dampak merupakan pengelompokan yang mewakili isu lingkungan yang menjadi perhatian dan bisa dihubungkan dengan hasil analisis inventori daur hidup.

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada komoditas garam, diperoleh hasil analisis dampak lingkungan produksi garam di Rembang, dampak lingkungan pemanasan global pada tambak dengan geomembran adalah paling banyak dikontribusi oleh unit proses pengendapan dan kristalisasi. Penyebab utama tingginya emisi karbondioksida adalah penggunaan geomembran sebaga alas pada tambak di meja kristalisasi.

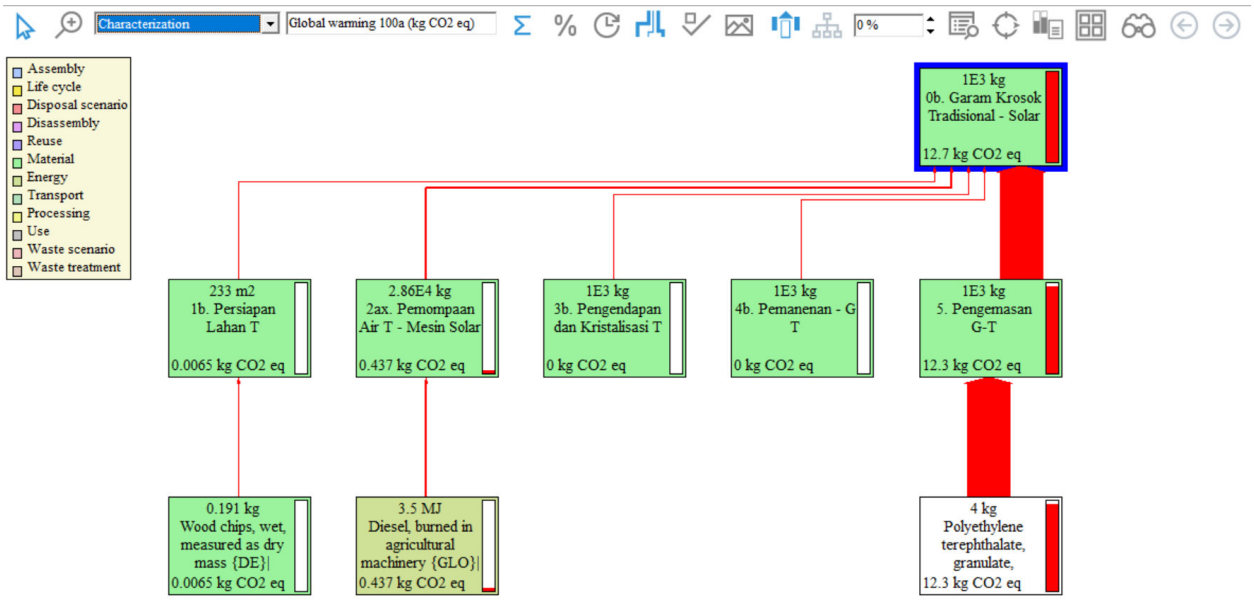
Produksi 1ton garam dengan geomembran akan memberikan dampak *global warming* sebesar 4,44 x 10^3 kgCO_2eq yang paling besar adalah konribusi dari proses pengendapan dan kristalisasi. Proses pengendapan dan kristalisai memberikan dampak *global warming* yang besar disebabkan penggunaan geomembran, dan dalam analisis LCI ini adalah juga memperhitungkan mulai dari

proses pembuatan geomembran tersebut. Kontribusi terbesar kedua adalah dari penggunaan karung plastik dalam pengemasan dengan kontribusi sebesar 12.3 kgCO_2eq (Gambar 31)

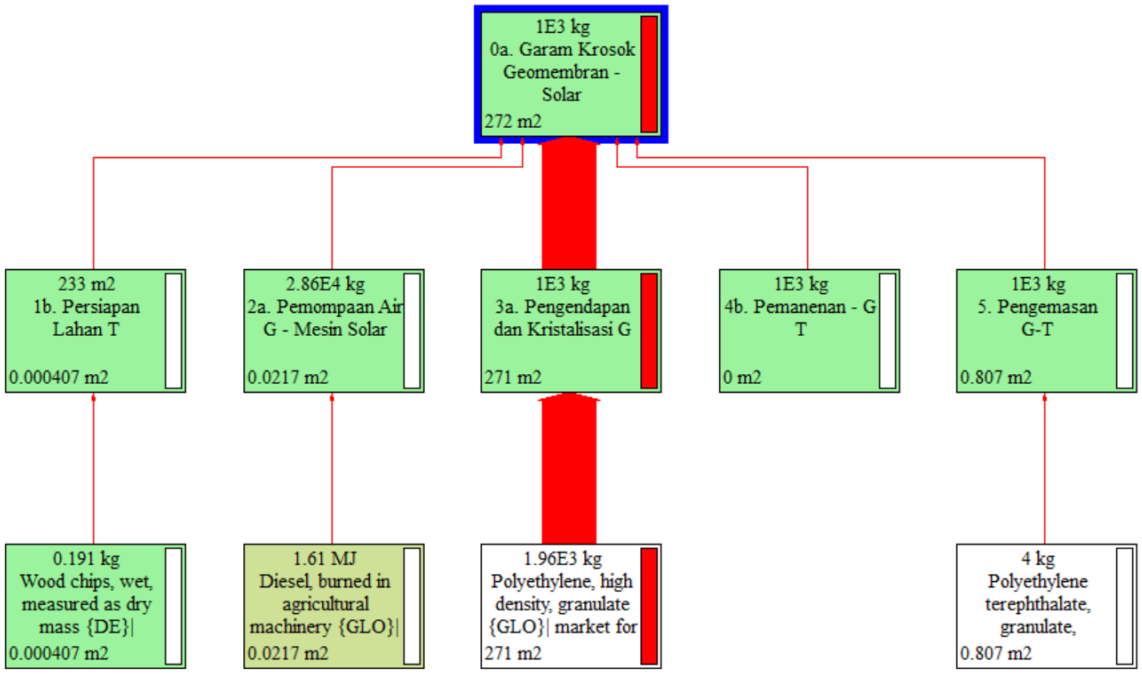


Gambar 29. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembran dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Global Warming*)

Sementara proses produksi tambak garam tradisional akan menimbulkan dampak pemanasan global sebesar 12.7 kgCO2eq yang sebagian besar adalah kontribusi dari penggunaan karung plastik pada pengemasan. Kontribusi penggunaan karung plastik dalam kemasan ini sama dengan yang terjadi pada tambak garam geomembran dikarenakan data yang dipergunakan juga sama yaitu kebutuhan karung plastik sebanyak 4 kg untuk 1 ton produksi garam krosok.

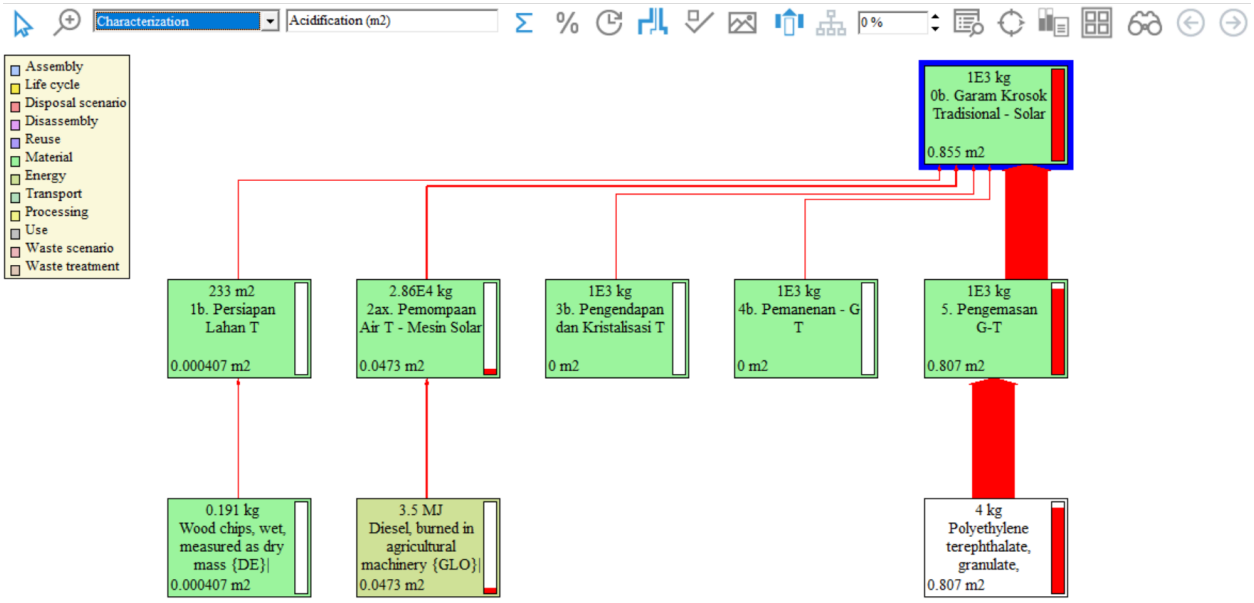


Gambar 30. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Global Warming*)

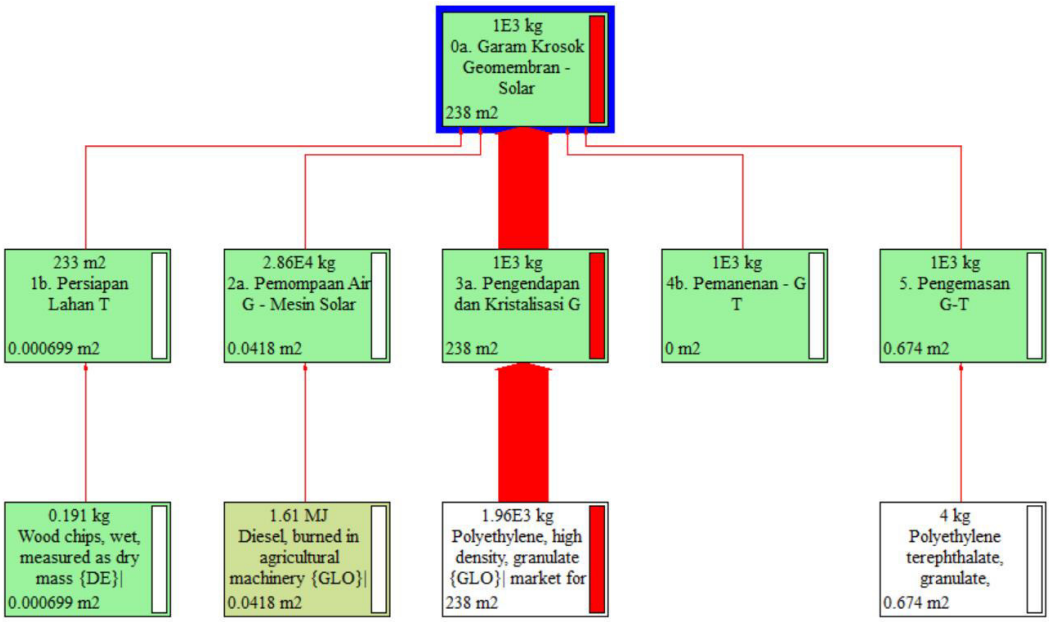


Gambar 31. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Acidification*)

Untuk dampak asidifikasi pada tambak garam geomembran ditemukan potensi dampak sebesar 272 m^2 kontribusi terbesar adalah dari penggunaan geomembran dengan nilai 271 m^2. Sementara tambak garam tradisional memiliki potensi dampak lingkungan asidifikasi sebesar 0.855 m^2.

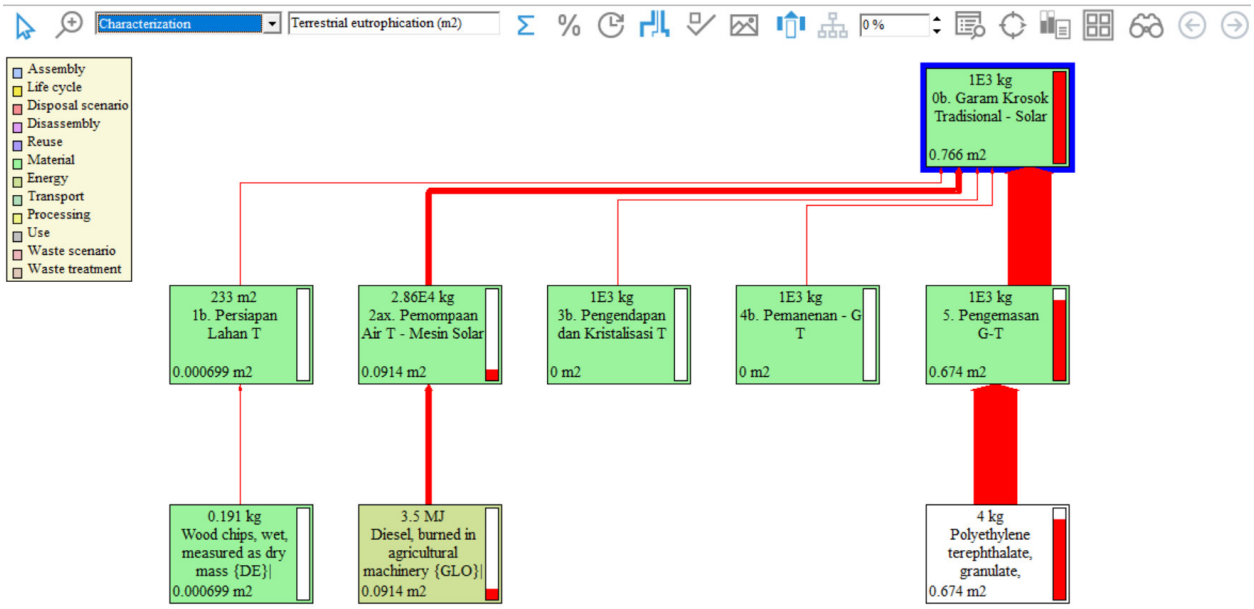


Gambar 32. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak: *Acidification*)

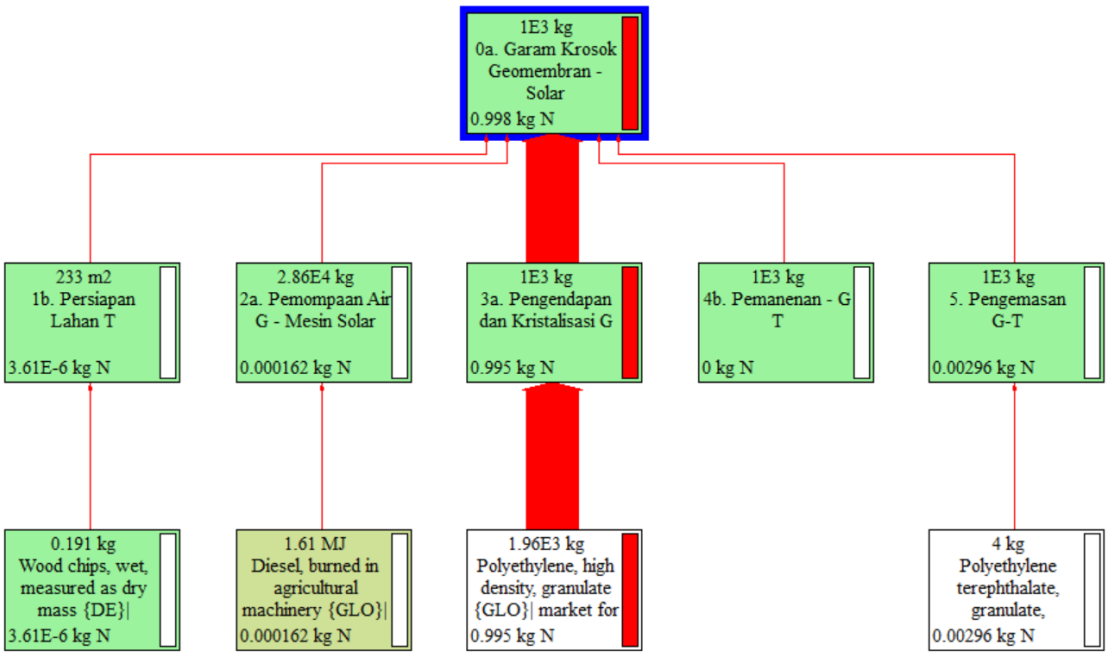


Gambar 33. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak: *Terresterial eutrophication*)

LCA produksi garam juga dilakukan analisis untuk dampak lingkungan eutrifikasi tanah pada tambak geomembran sebesar 238 $m^{2,}$ dengan jumlah terbesar adalah kontribusi dari penggunaan geomembran. Sementara tambak garam tradisional ditemukan potensi dampak sebesar 0,766 m^2 (Gambar 35).

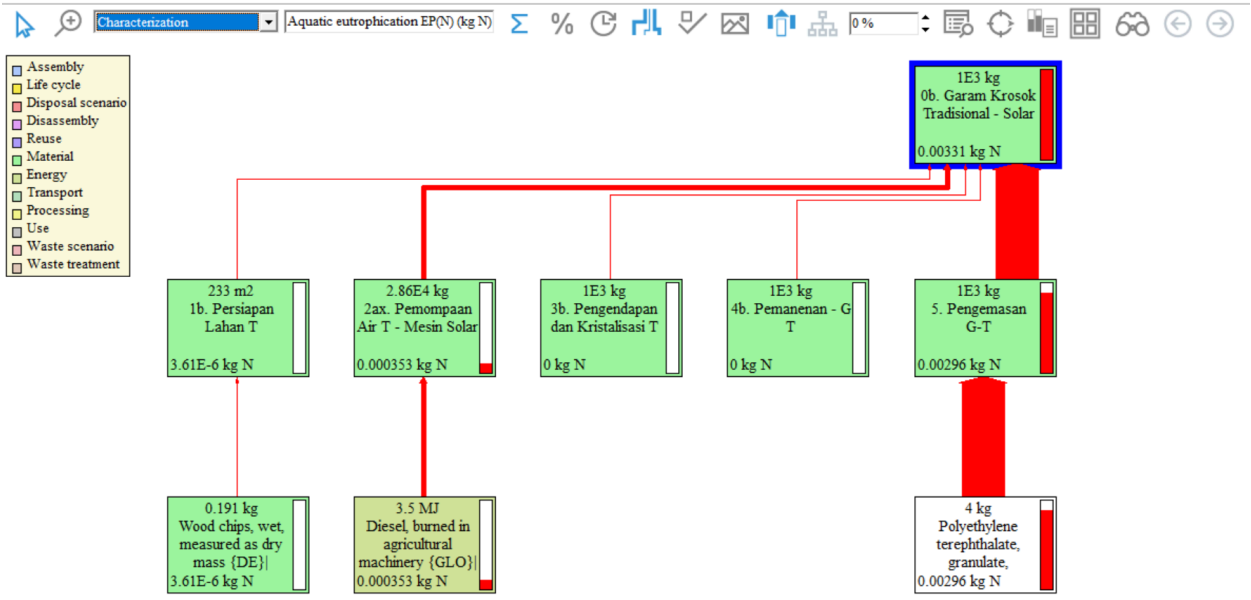


Gambar 34. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak *: Terresterial eutrophication*)

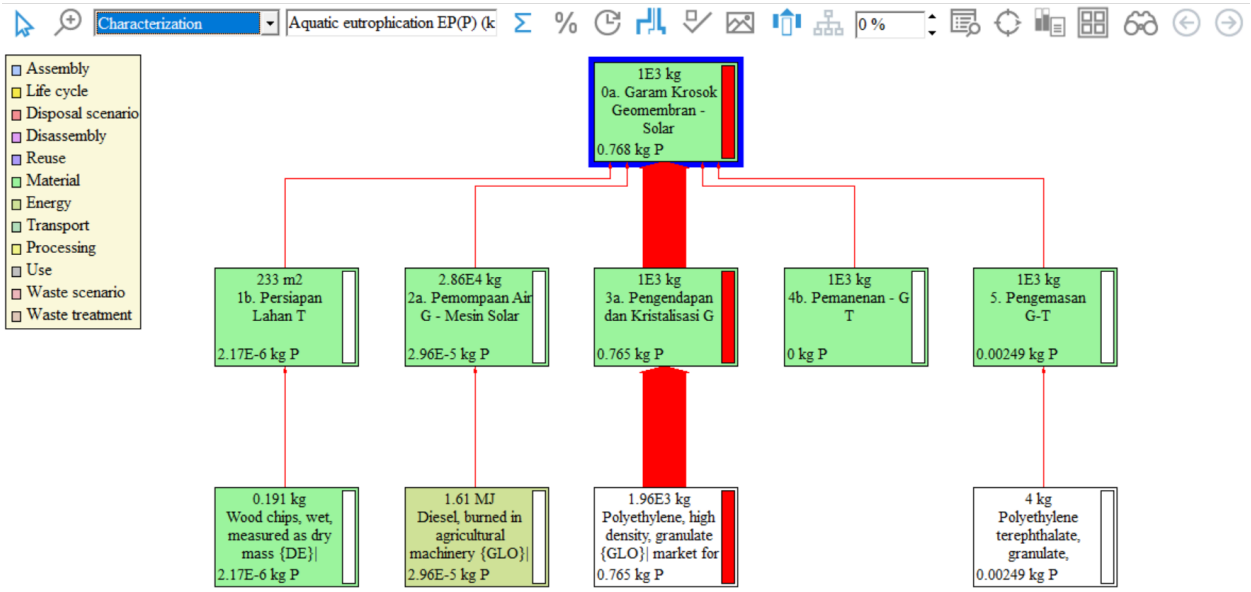


Gambar 35. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Aquatic eutrophication* EP (N))

LCIA produksi garam juga untuk dampak lingkungan eutrofikasi air pada tambak garam gemembran yang disebabkan oleh unsur N banyak disebabkan oleh unit proses pengendapan dan kristalisasi (Gambar 37). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi garam melainkan disebabkan oleh proses pembuatan geomembran. Produksi garam dengan geomembran menyebabkan terjadinya eutrofikasi air dengan jumlah jumlah kontribusi unsur Ntirogen ke lingkungan sebanyak 0,0998 kg N. Sementara tambak garam tradisional berpotensi menimbulkan dampak sebesar 0,00331 kg N.

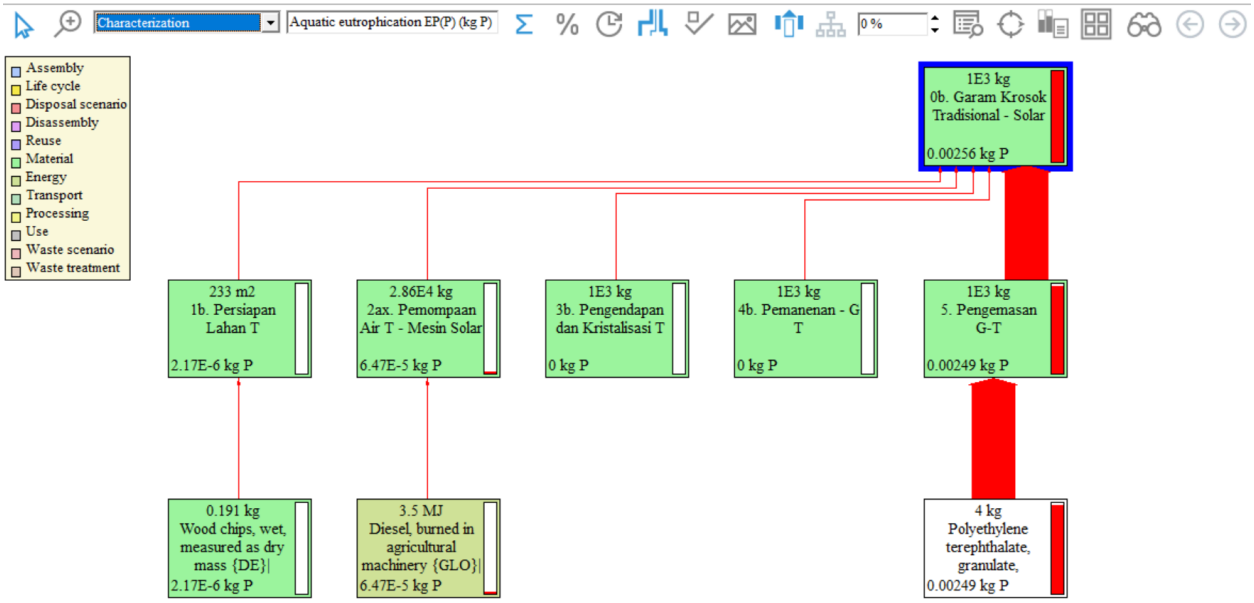


Gambar 36. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Aquatic eutrophication* EP (N))



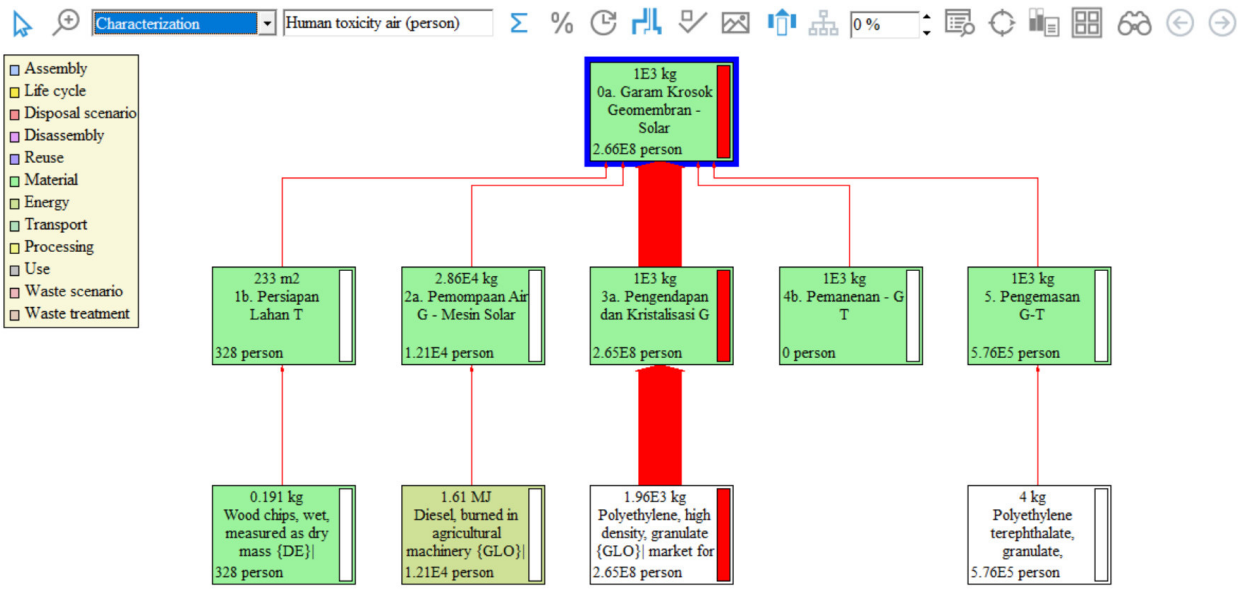
Gambar 37. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Aquatic eutrophication* EP (P))

LCIA produksi garam juga untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur P banyak disebabkan oleh unit proses pengendapan dan kristalisasi (Gambar 38, Gambar 39). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi garam melainkan disebabkan oleh proses pembuatan geomembran. Produksi garam dengan geomembran menyebabkan terjadinya eutrofikasi air dengan jumlah kontribusi unsur Phospor ke lingkungan sebanyak 0,768 kg P. Sementara produksi garam pada tambak tradisional berpotensi menimbulkan dampak eutrofikasi air dengan jumlah kontribusi unsur Phospor ke lingkungan sebanyak 0,00256 kg P.

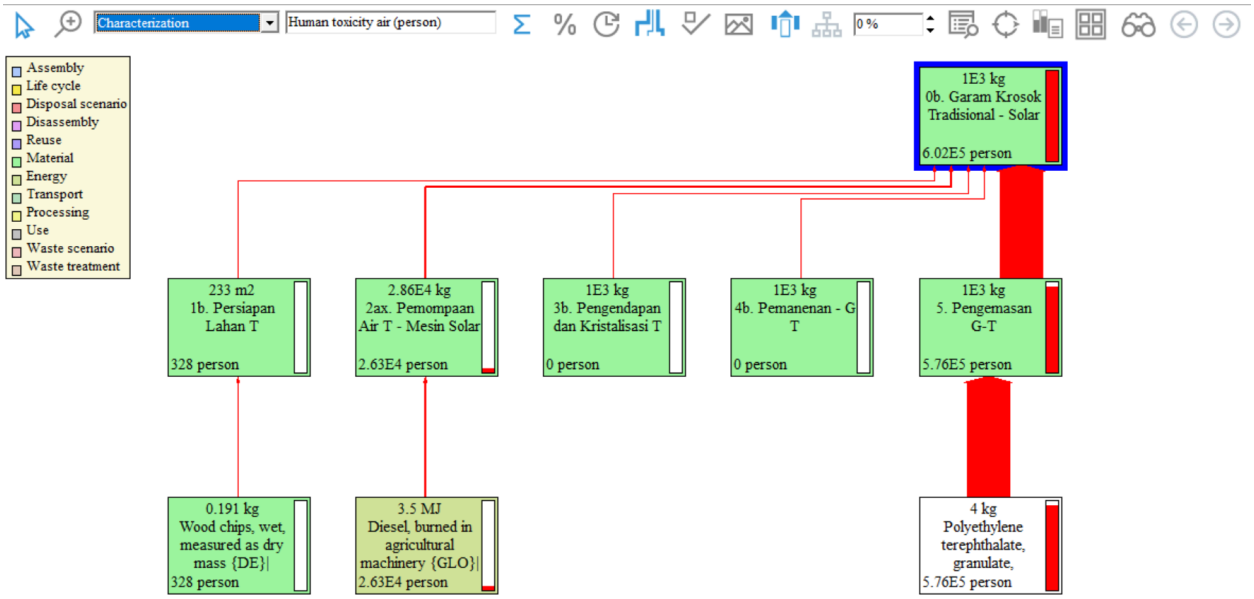


Gambar 38. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Aquatic eutrophication* EP (P))

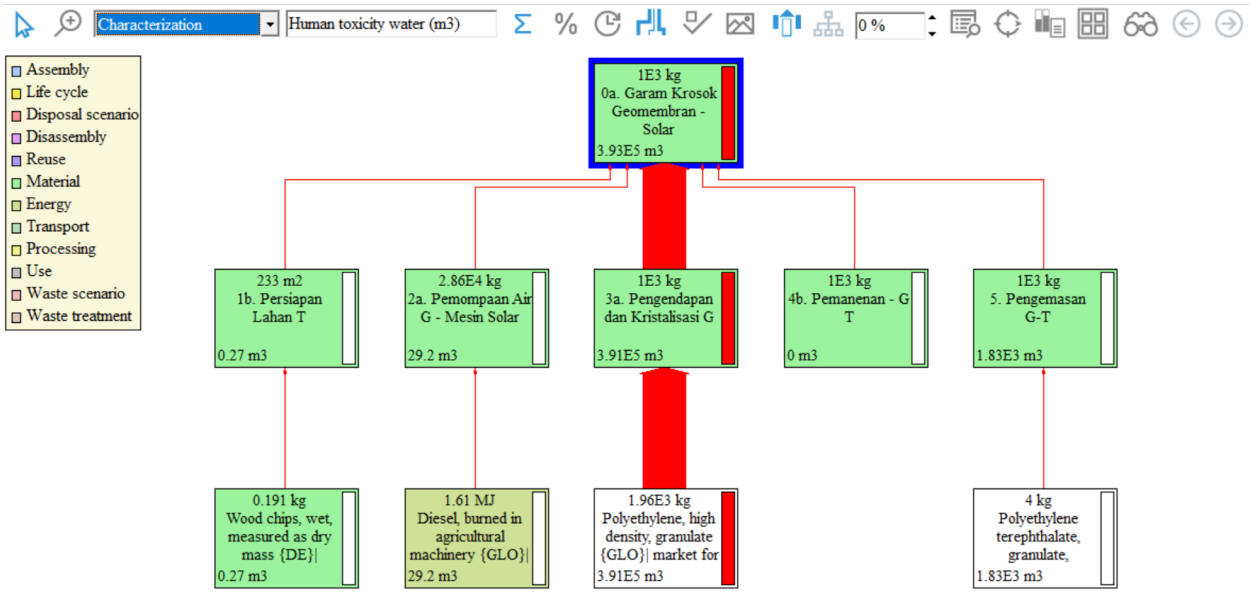
Dampak lingkungan *Humantoxicity* pada tambak garam geomembran paling besar disebabkan oleh proses pengendapan dan kristalisasi. Penyebab tingginya dampak lingkungan tersebut dikarenakan oleh penggunaan geomembran berbahan plastik. Dampak lingkungan human toxicity udara digambarkan dengan jumlah orang yang terdampak dengan satuannya person/orang sedangkan dampak lingkungan human toxicity lainnya digambarkan dengan satuan m^3 yang menggambarkan volume air atau tanah yang tercemar. Dampak *human toxicity air* pada tambak geomembran adalah sebesar 2,66E8 orang sementara pada tambak garam tradisional adalah sebesar 6.02E5 orang (Gambar 41 dan Gambar 42)



Gambar 39. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Solar (kategori dampak: *Humantoxicity Air*)

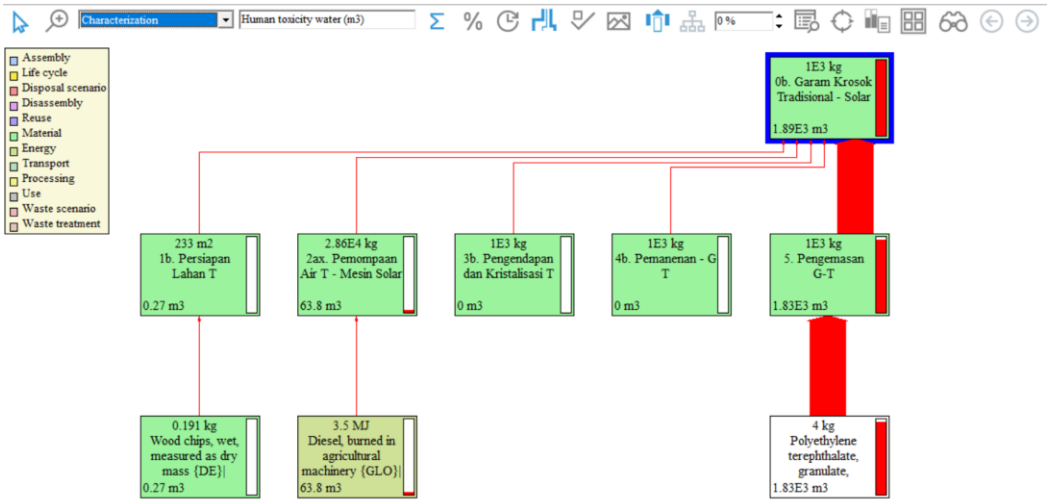


Gambar 40. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Solar (kategori dampak : *Humantoxicity Air*)



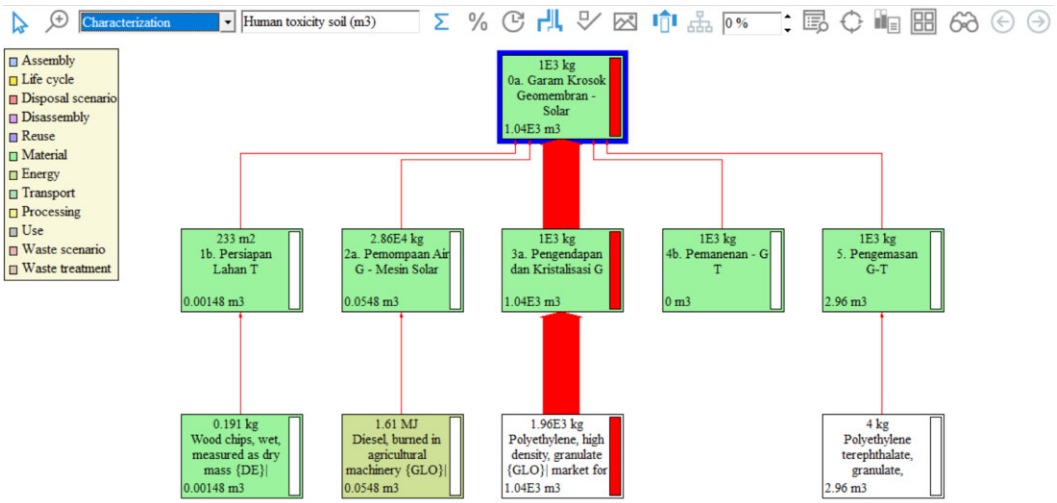
Gambar 41. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Humantoxicity water*)

Produksi garam dengan tambak geomembran dapat menimbulkan dampak human toxicity water sebesar 3.93E5 m^3 dengan kontibusi hampir keseluruhannya adalah dari penggunaan geomembran pada proses pengendapan dan kristalisasi (Gambar 43). Tambak garam tradisional berpotensi menimbulkan dampak human toxicity water sebesar 1,89E3 m^3 dengan kontribusi terbesar adalah berasal dari penggunaan karung plastik dalam pengemasan akhir garam saat akan diangkut.



Gambar 42. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Humantoxicity water*)

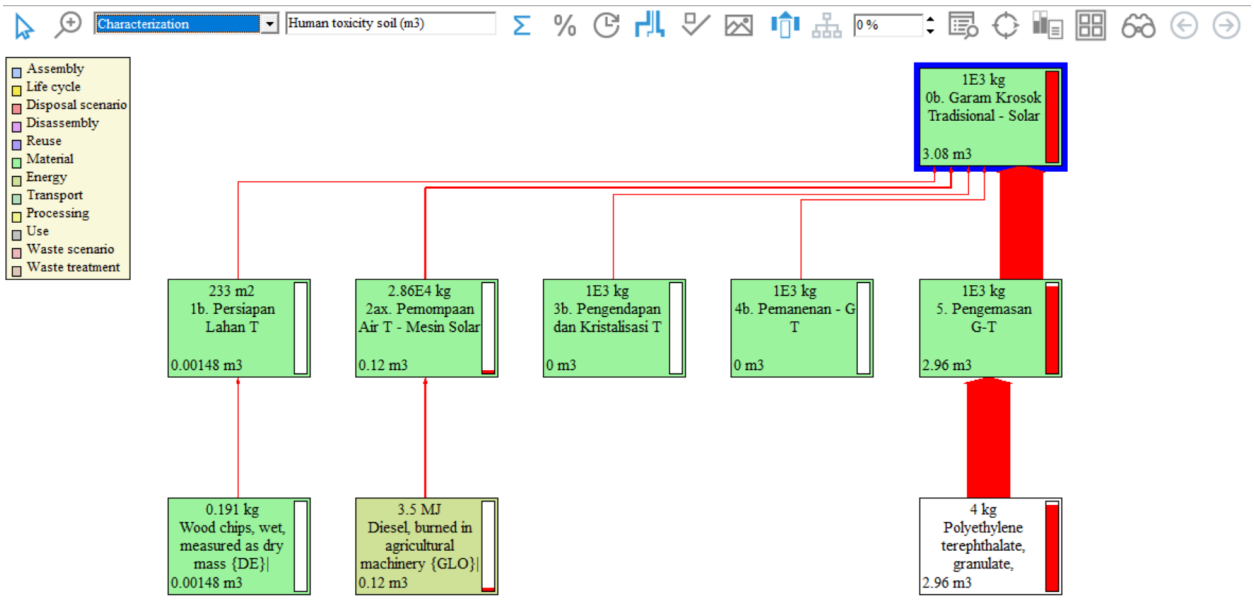
Produksi garam dengan tambak geomembran dapat menimbulkan dampak human toxicity soil sebesar 1.04 x 10^3 m^3 dengan kontibusi hamper keseluruhannya adalah dari penggunaan geomembran pada proses pengendapan dan kristalisasi. (Gambar 44)



Gambar 43. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : *Humantoxicity soil*)

Dampak lingkungan *human toxicity* soil pada tambak garam tradisional adalah sebesar 3,08 m^3 yang sebagian besar adalah kontribusi dari penggunaan karung plastik pada pengemasan garam saat akan diangkut (Gambar 45).

Dampak lingkungan yang berpotensi terbesar dari proses produksi garam dengan tambak geomembran adalah *Human toxicity water* dengan prediksi jumlah total sesuai hasil analisis adalah sebesar 2.16E8 ? orang yang sebaian besar merupakan kontribusi dari penggunaan geomembran dalam proses pengendapan dan kristalisasi. Selain itu kontribusi besar juga berasal dari penggunaan karung plastik pada pengemasan, serta penggunaan BBM Solar pada saat pemompaan air laut. (Tabel 15).



Gambar 44. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (kategori dampak : Humantoxicity soil)

Tabel 16. Export hasil analisis LCIA garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (*Characterization*)

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Standard / Group | Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category

Se	Impact category	Unit	Total	0a. Garam Krosok Geomembran -	1b. Persiapan Lahan T	2a. Pemompaan Air G - Mesin Solar	3a. Pengendapan dan Kristalisasi	4b. Pemanenan - G T	5. Pengemasan G-T
☑	Human toxicity air	person	2.16E8	x	273	7.67E3	2.15E8	x	3.58E5
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	2.72E5	x	0.549	10.1	2.7E5	x	1.3E3
☑	Ecotoxicity water acute	m3	1.16E5	x	0.111	9.86	1.15E5	x	570
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	3.05E4	x	0.108	3.26	3.04E4	x	76.3
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	2.92E4	x	0.851	1.51	2.91E4	x	114
☑	Human toxicity water	m3	8.37E3	x	0.0154	0.584	8.34E3	x	33.9
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	4.44E3	x	0.0065	0.2	4.42E3	x	12.3
☑	Human toxicity soil	m3	1.01E3	x	0.00146	0.0533	1.01E3	x	2.84
☑	Bulk waste	kg	333	x	0.001	0.0307	332	x	1.2
☑	Acidification	m2	272	x	0.000406	0.0217	271	x	0.807
☑	Terrestrial eutrophication	m2	238	x	0.000696	0.0418	238	x	0.674
☑	Slags/ashes	kg	8.75	x	4.01E-5	0.000524	8.69	x	0.0532
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	2.23	x	7.78E-6	0.000222	2.23	x	0.00552
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0.906	x	3.53E-6	0.000159	0.903	x	0.00268
☑	Resources (all)	PR2004	0.544	x	7.84E-7	6.09E-5	0.541	x	0.00294
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.0869	x	1.53E-6	2.95E-6	0.0866	x	0.000294
☑	Radioactive waste	kg	0.0682	x	6.06E-7	1.52E-5	0.0678	x	0.000317
☑	Hazardous waste	kg	0.0231	x	5.14E-7	7.35E-6	0.0226	x	0.000482
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000119	x	1.07E-9	2.73E-8	0.000119	x	6.28E-7

Analyzing 1 ton '0a. Garam Krosok Geomembran - Solar';Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Characterization / Excluding long-term emissions

Dampak lingkungan yang berpotensi muncul dari proses produksi garam dengan tambak tradisional adalah *Human toxicity air* dengan prediksi jumlah total sesuai hasil analisis adalah

sebesar 3,7 x 10^5orang yang sebagian besar merupakan kontribusi dari penggunaan geomembran dalam proses pengendapan dan kristalisasi. Selain itu kontribusi besar juga berasal dari penggunaan karung plastik pada pengemasan, serta penggunaan BBM Solar pada saat pemompaan air laut. (Tabel 16).

Tabel 17. Export hasil analisis LCIA garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (*Characterization*)

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

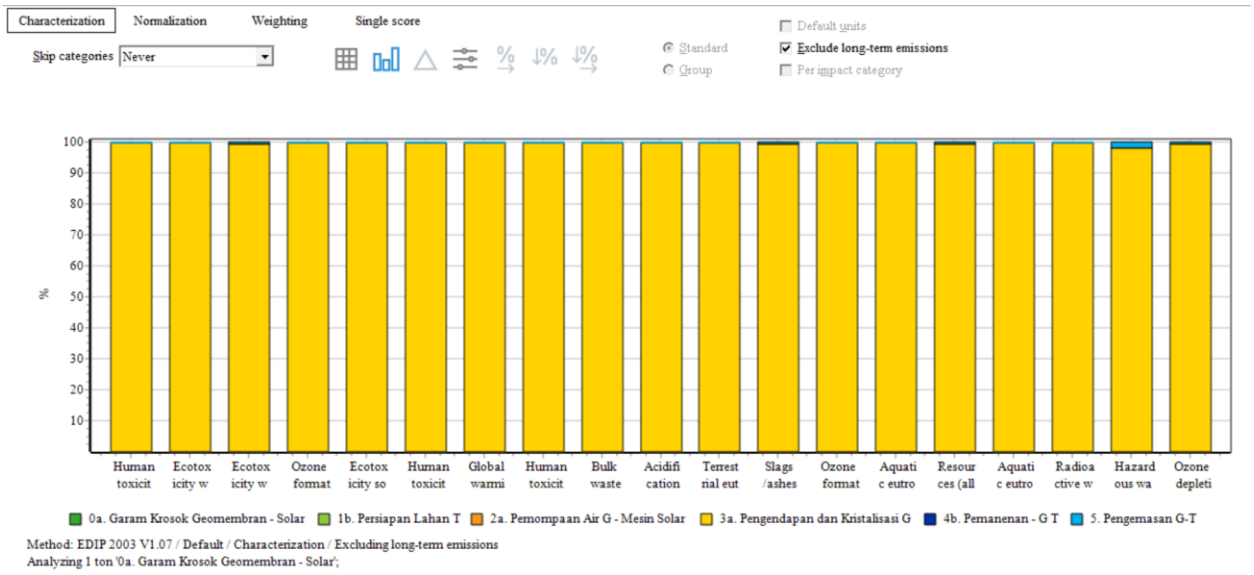
Skip categories: Never

Standard / Group | Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category

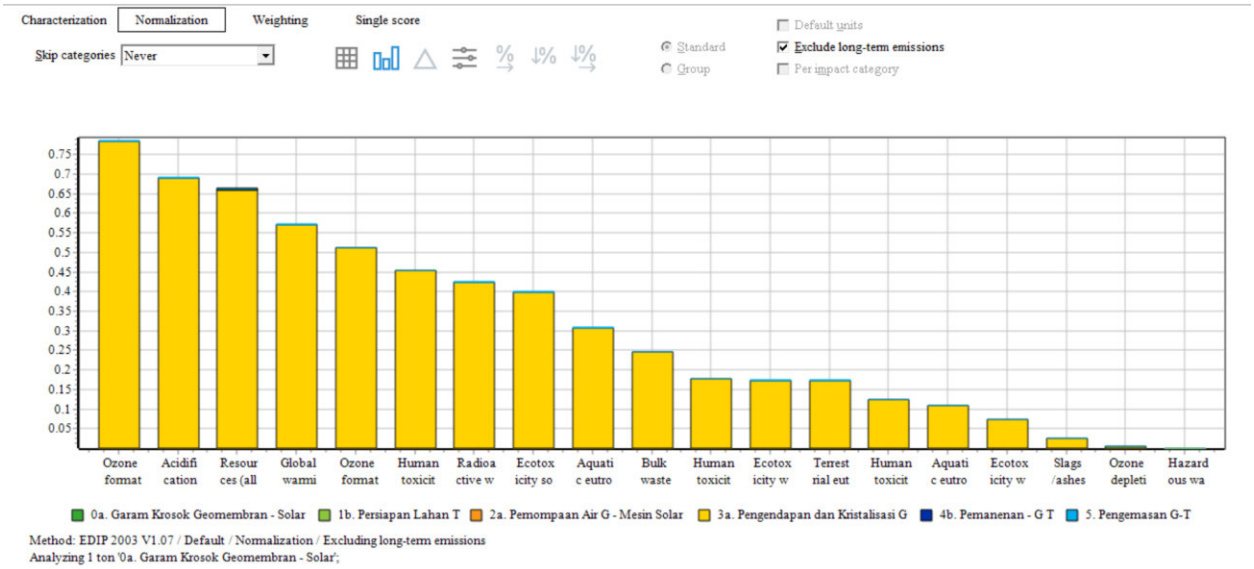
Se	Impact category	Unit	Total	0b. Garam Krosok	1b. Persiapan Lahan T	2ax. Pemompaan Air	3b. Pengendapan	4b. Pemanenan - G T	5. Pengemasan G-T
☑	Human toxicity air	person	3.75E5	x	273	1.67E4	x	x	3.58E5
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	1.32E3	x	0.549	21.9	x	x	1.3E3
☑	Ecotoxicity water acute	m3	592	x	0.111	21.5	x	x	570
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	118	x	0.851	3.3	x	x	114
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	83.5	x	0.108	7.11	x	x	76.3
☑	Human toxicity water	m3	35.2	x	0.0154	1.28	x	x	33.9
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	12.7	x	0.0065	0.437	x	x	12.3
☑	Human toxicity soil	m3	2.96	x	0.00146	0.116	x	x	2.84
☑	Bulk waste	kg	1.27	x	0.001	0.0669	x	x	1.2
☑	Acidification	m2	0.855	x	0.000406	0.0473	x	x	0.807
☑	Terrestrial eutrophication	m2	0.766	x	0.000696	0.0914	x	x	0.674
☑	Slags/ashes	kg	0.0544	x	4.01E-5	0.00114	x	x	0.0532
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0.00601	x	7.78E-6	0.000484	x	x	0.00552
☑	Resources (all)	PR2004	0.00307	x	7.84E-7	0.000133	x	x	0.00294
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0.00303	x	3.53E-6	0.000347	x	x	0.00268
☑	Hazardous waste	kg	0.000499	x	5.14E-7	1.61E-5	x	x	0.000482
☑	Radioactive waste	kg	0.000351	x	6.06E-7	3.32E-5	x	x	0.000317
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.000302	x	1.53E-6	6.44E-6	x	x	0.000294
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	6.89E-7	x	1.07E-9	5.96E-8	x	x	6.28E-7

Analyzing 1 ton '0b. Garam Krosok Tradisional - Solar';Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Characterization / Excluding long-term emissions

Dampak lingkungan yang berpotensi terjadi dalam proses produksi garam krosok dengan tambak geomembran, sebagian besar adalah kontribusi dari proses pengendapan dan kristalisasi dimana mempergunakan geomembran sebagai alas tambak untuk produksi. (Gambar 47). Sementara itu, dengan normalisasi data, dampak lingkungan yang berpotensi terbesar dalam proses produksi garam di tambak geomembran adalah *ozone formation* (*human*) dengan nilai sebesar 0.784. (Gambar 48)

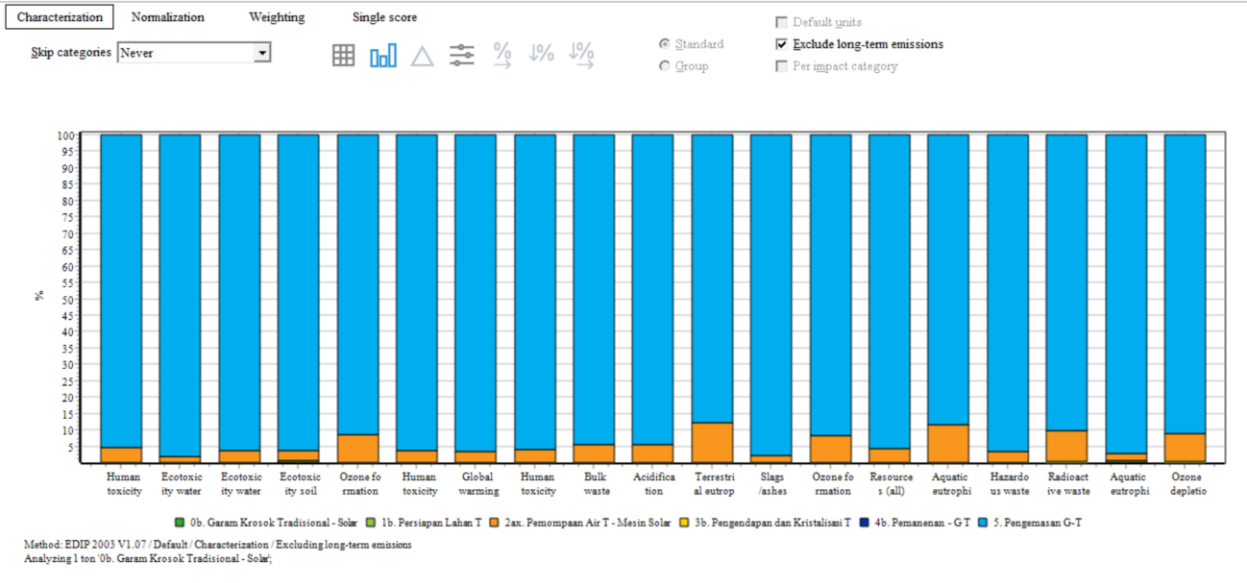


Gambar 45. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (*Characterization*)



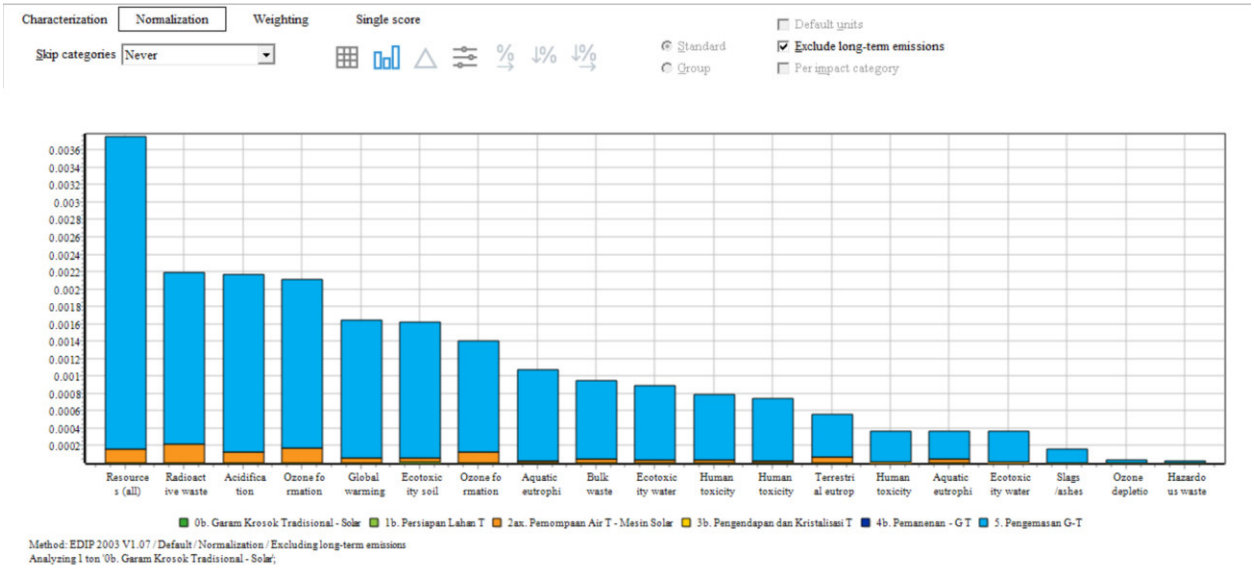
Gambar 46. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak geomembrane dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (*Normalization*)

Dampak lingkungan yang berpotensi ditimbulkan pada proses produksi garam krosok pada tambak geomembrane disebabkan oleh penggunaan karung plastik pada kemasan akhir, pengangkutan garam dan selain itu yang terlihat cukup besar adalah kontribusi dari proses pemompaan air laut dimana terdapat konsumsi BBM solar (Gambar 47).



Gambar 47. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (Characterization)

Namun berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, proses pengolahan garam dengan tambak tradisional menunjukkan dampak terhadap *human toxicity, ecotoxicity*, asidifikasi, eutrfikasi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan geomembrane (Gambar 49). Dengan metode normalisasi, dampak lingkungan yang tertinggi pada proses produksi garam krosok pada tambak garam tradisional adalah dampak lingkungan Resources (all) dengan nilai 0,00359 (Gambar 50). Dalam hal ini, *Resources (all)* merupakan dampak yang timbul dari penggunaan sumber daya dalam pembuatan garam dimana air sebagai input terbesar.



Gambar 48. Grafik hasil analisis LCIA produksi 1 ton garam pada tambak tradisional (tanpa geomembrane) dengan BBM Mesin Pompa Air Solar (*Normalization*)

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Garam

Studi LCA Garam dilakukan untuk mengetahui potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan pada produksi 1 ton garam krosok dengan membandingkan tambak garam geomembran dan tambak garam tradisional (tanpa geomembran). Tabel berikut ini merupakan perbandingan dampak lingkungan yang berpotensi ditimbulkan pada produksi garam dengan tambak garam geomembran dan tambak garam tradisional.

Dampak lingkungan terbesar yang berpotensi ditimbulkan dari produksi garam dengan tambak garam geomembran adalah human toxicity udara yang mencapai 2,16 x 10^8 orang sementara dengan tambak garam tradisional adalah lebih rendah dengan nilai 3,74 x 10^5 orang. Toksisitas manusia berkaitan dengan efek zat beracun terhadap manusia berupa gangguan pernafasan yang disebabkan oleh zat anorganik yang terlepas ke udara.

Kontribusi terbesar dari dampak human toxicity pada studi LCA Garam udara ini disebabkan penggunaan geomembran dan penggunaan karung plastik sebagai kemasan pengangkutan. Dalam proses produksi garam krosok menunjukkan bahwa penggunaan geomembran berpotensi memberikan dampak lingkungan lebih besar dibandingkan dengan secara tradisional.

Selain menghasilkan garam sebagai hasil produksi dari tambak garam, ouput lain yang dihasilkan dari proses produksi garam adalah emisi yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak lingkungan pemanasan global (*global warming 100a*) yang berpotensi ditimbulkan pada produksi garam krosok dengan tambak garam geomembran adalah sebesar 4,44 x 10^3 $kgCO_2eq$ sementara pada tambak garam tradisional hanya berpotensi memberikan dampak lingkungan pemanasan global sebesar 12,7 $kgCO_2eq$.

Tabel 18. Export hasil analisis LCIA perbandingan garam pada tambak geomembrane dan garam tambak tradisional (Characterization)

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Se	Impact category	Unit	0a. Garam Krosok	0b. Garam Krosok Tradisional - Solar
☑	Human toxicity air	person	2.16E8	3.74E5
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	2.72E5	1.32E3
☑	Ecotoxicity water acute	m3	1.16E5	592
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	3.05E4	83.4
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	2.92E4	117
☑	Human toxicity water	m3	8.37E3	35.1
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	4.44E3	12.7
☑	Human toxicity soil	m3	1.01E3	2.96
☑	Bulk waste	kg	333	1.27
☑	Acidification	m2	272	0.854
☑	Terrestrial eutrophication	m2	238	0.765
☑	Slags/ashes	kg	8.75	0.0544
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	2.23	0.006
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0.906	0.00302
☑	Resources (all)	PR2004	0.544	0.00307
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.0869	0.000301
☑	Radioactive waste	kg	0.0682	0.00035
☑	Hazardous waste	kg	0.0231	0.000498
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000119	6.88E-7

Tabel 19. Export hasil analisis LCIA perbandingan garam pada tambak geomembrane dan garam tambak tradisional (Normalization)

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

Se	Impact category	Unit	0a. Garam Krosok	0b. Garam Krosok Tradisional - Solar
☑	Ozone formation (Human)		0.786	0.00211
☑	Acidification		0.692	0.00217
☑	Resources (all)		0.664	0.00375
☑	Global warming 100a		0.572	0.00164
☑	Ozone formation (Vegetation)		0.513	0.0014
☑	Human toxicity air		0.455	0.00079
☑	Radioactive waste		0.426	0.00219
☑	Ecotoxicity soil chronic		0.4	0.0016
☑	Aquatic eutrophication EP(P)		0.308	0.00107
☑	Bulk waste		0.247	0.00094
☑	Human toxicity water		0.177	0.000745
☑	Ecotoxicity water acute		0.174	0.000887
☑	Terrestrial eutrophication		0.174	0.000559
☑	Human toxicity soil		0.125	0.000367
☑	Aquatic eutrophication EP(N)		0.109	0.000363
☑	Ecotoxicity water chronic		0.0741	0.00036
☑	Slags/ashes		0.025	0.000155
☑	Ozone depletion		0.00583	3.36E-5
☑	Hazardous waste		0.00112	2.41E-5

Dampak lingkungan yang diprediksi dari studi ini tidaklah hanya dampak secara langsung, tetapi *software* Simapro memperhitungkan mulai dari pengolahan bahan geomembran dan karung plastik. Untuk dampak pemanasan global secara langsung dari penggunaan geomembran dan karung plastik berpotensi ditimbulkan ketika sudah tidak digunakan dan dilakukan pembakaran secara terbuka yang dapat memberikan emisi dan berkontribusi terhadap degradasi lingkungan.

Dampak lingkungan asidifikasi yang berpotensi ditimbulkan dalam produksi garam dengan tambak garam geomembran adalah sebesar 272 m^2 sementara pada tambak garam tradisional hanya sebesar 0,854 m^2. Parameter utama yang berkontribusi terhadap asidifikasi adalah SO2 dan NOx (Silalertruksa, et al., 2016). Asidifikasi pada tambak garam geomembran sebaian besar ditimbulkan oleh penggunaan geomembran dan selanjutnya diikuti dengan penggunaan karung

plalstik. Penggunaan karung plastik juga yang memberikan kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan asidifikasi pada proses produksi garam krosok secara tradisional.

Dampak lingkungan eutrofikasi, baik eutrifikasi tanah (*terrestrial eutrophication*) dan eurifikasi air (*aquatic euthropication*) dengan kontribusi N dan P terhadap air secara keseluruhan potensi dampaknya lebih besar pada tambak geomembran.

Pada tambak garam geomembran analisis dengan metode normalisasi diketahui dampak tertinggi yang berpotensi muncul adalah Ozone Formation. Ozone formation adalah salah satu dampak pembentukan ozon yang dimulai dengan emisi NO_x di udara atau NMVOCs yang mengalami transformasi dari udara ke ozon. Selanjutnya ozone troposfer dapat dihirup oleh manusia atau diambil oleh tumbuhan yang menyebabkan peningkatan kematian dan gangguan pada kesehatan manusia, serta lenyapnya spesies tumbuhan dan kerusakan akhir pada ekosistem darat.

D. Hasil Studi LCA Madu Hutan (revisi penjelasan madu hutan tikung)

Madu Indonesia terdiri dari dua jenis berdasarkan proses produksinya, yaitu madu hutan dan madu ternak. Biasanya madu hutan dihasilkan oleh spesies lebah hutan (*Apis dorsata*), sedangkan madu ternak dihasilkan oleh lebah seperti *Apis cerana* dan *Apis melifera*. Di Danau Sentarum para periau (pemanen madu) melakukan cara untuk merangsang produksi madu yang dihasilkan lebah agar semakin meningkatkan kualitas dan kuantitasnya. Cara itu dikenal dengan membuat sarang lebah atau dikenal dengan tikung. Pembuatan tikung adalah kunci untuk mendapatkan madu yang baik. Sebab lebah akan tikung adalah atraksi buatan agar lebah dapat singgah. Umumnya masyarakat di Selain daripada itu secara alami lebah mampu membuat sarangnya baik itu dalam dimensi yang besar di pohon dengan kayu yang besar atau disebut dengan lalau maupun sarang lebah yang berada di sembarang tempat (repak).

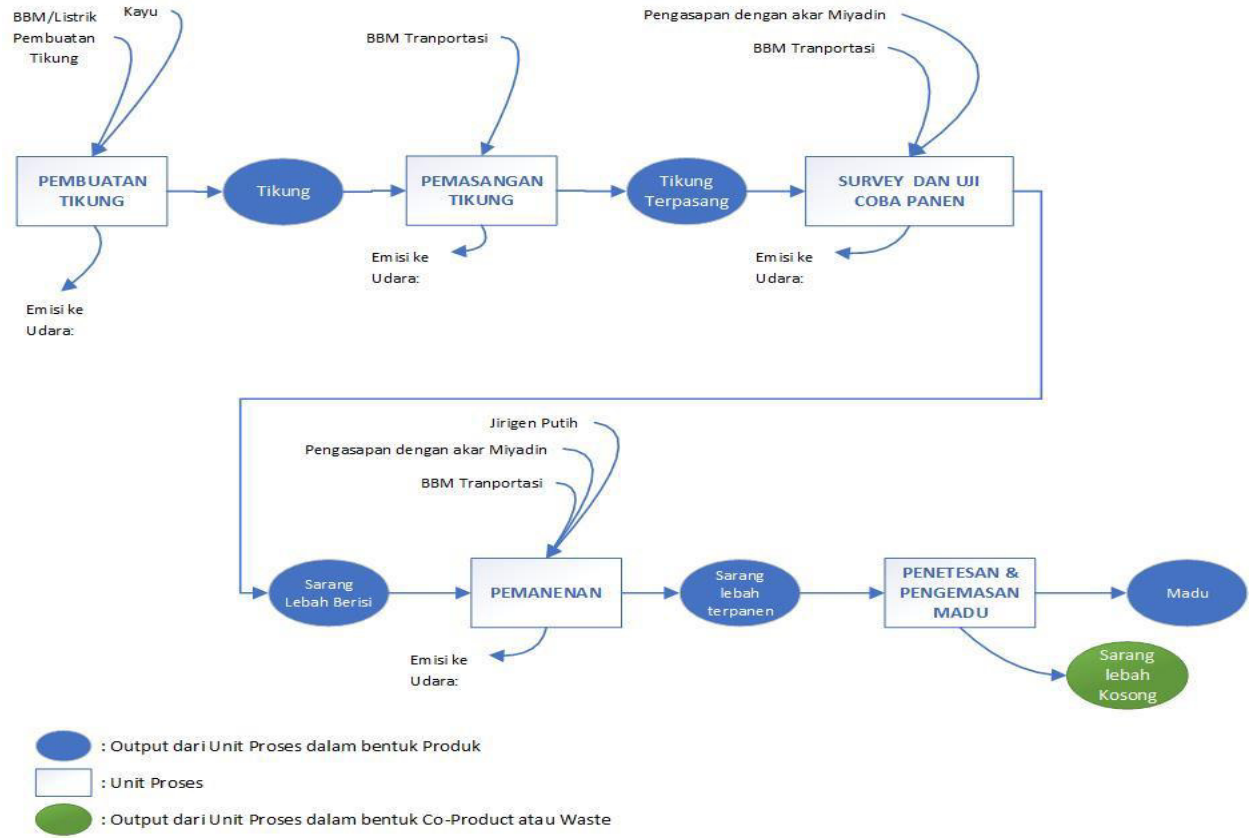
Produksi madu hutan (*Apis dorsata*) di kabupaten Kapuas Hulu merupakan salah satu sumber mata pencaharian (*community livelihood*) dan menjadi sumber penghidupan bagi masyarakat, terutama yang berada di dalam dan sekitar kawasan Danau Sentarum. Pengelolaan madu huta di kawasan ini dilakukan berbasis kearifan lokal khususnya dalam merawat pohon – pohon tempat lebah bersarang. Bentuk kearifan lokal yang masih diadopsi oleh masyarakat periau sepeti melakukan doa bersama ketika mengalami gagal panen dan membersihkan pohon sarang tikung. Disamping itu, nilai leluhur yang masih dipertahankan ialah penggunaan timang lalau, sebagai doa atau nyanyian saat panen berlangsung. Aturan normatif yang diakui masyarakat setempat salah satunya ialah tidak menebang pohon sarang lebah. Jika terdapat masyarakat yang hendak membuka lahan maka haruslah lahan yang dibuka jauh dari pohon dimana terdapat sarang lebah. Selain itu juga, penentuan kepemilikan pohon sarang lebah dengan melakukan pembagian pohon berdasarkan batas kampung dan pembagian dikelompok periau serta pemberian kode dimasing-masing sarang lebah.Tikung ini menggunakan kayu lokal yang telah rubuh karena usia. Pembuatan tikung menggunakan alat-alat sederhana seperti kapak, parang, ketam, pahat dan palu. Dalam satu hari, periau bisa membuat 5 hingga 9 tikung.

1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Madu Hutan

Goal dari studi ini adalah untuk menganalisis daur hidup madu hutan mulai dari proses pembuatan tikung sampai dengan proses pengemasan madu. Dalam tahapan analisis tersebut dilakukan identifikasi input (*resource*) dan output yang dihasilkan baik dalam bentuk *emission* maupun human toxicity yang kemungkian akan muncul dari proses pengemasan madu hutan. Data inventori praktis menjadi acuan dalam proses identifikasi ini. *Scope* atau disebut dengan ruang lingkup dari studi penilaian daur hidup produk ini meliputi pembuatan tikung, pemanenan madu, penurunan kadar air madu hingga ke proses pengemasan madu. Dalam hal penentuan ruang lingkup studi LCA madu hutan, FU yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 1 ton madu hutan yang dihasilkan dalam sistem proses produksi.

Hal kedua yang dilakukan dalam pembuatan ruang lingkup adalah penentuan batasan sistem produksi madu hutan. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan pembatasan *cradle to*

gate dari proses pembuatan tikung sampai dengan proses pengemasan madu hutan (*cradle to gate*). Batasan ruang lingkup studi LCA untuk diilustrasikan di dalam Gambar 51.



Gambar 49. Model dan ruang lingkup studi LCA madu hutan

2. Analisis Data Persediaan Madu Hutan

Rangkuman hasil analisis persediaan terhadap tahapan produksi yang masuk dalam ruang lingkup study LCA Madu Hutan ini adalah sebagai berikut:

1) Pembuatan Tikung

- Tikung merupakan dahan buatan tempat alas atau landas menempelnya sarang lebah, yang terbuat dari kayu hutan (kayu tembesu, medang, kawi, mangeris, emang, renggas). Pembuatan tikung dilakukan dengan cara memotong kayu, menyerut dan dibelah menjadi bilah-bilah papan ukuran tikung umumnya memiliki panjang 1,75 m, lebar 0,25 m dan ketebalan 0,04 m. Pemotongan kayu menggunakan peralatan konvensional berupa kapak dan perlatan potong lainnya.

2) Pemasangan Tikung

Pemasangan tikung dilakukan dengan membawa tikung yang telah dibuat dipemukiman warga dengan transportasi air ke lokasi pemasangan tikung. Transportasi air yang umumnya digunakan oleh periau (pemanen madu) adalah speedboad dengan menggunakan mesin tempel *outboard engine*. Bahan bakar yang dipergunakan untuk menggerakkan mesin adalah pertalite.

Tikung ditempatkan di antara 2 cabang pohon dengan posisi miring pada pohon yang dipilih oleh periau yang potensial untuk menjadi sarang madu. Tikung terbuat dari kayu tembessu dapat tahan hingga 20 tahun semetara tikung dari kayu medang dapat bertahan hingga 5 tahun, selanjutnya akan dilakukan penggantian tikung yang sudah usang/lapuk.

3) Pra Pemanenan (Survey dan Uji Coba Panen)

Survey dan uji coba panen dilakukan setiap akan melakukan pemanenan, survey dilakukan sebanyak 1 kali sebelum panen. Pada survey pertama dilakukan pembersihan tikung, survey kedua mengoleskan madu dan survey ketiga melihat berapa banyak tikung yang dihinggapi sarang lebah dan menentukan waktu panen yang tepat. Sebelum panen dilakukan pengecekan kondisi/kehadiran lebah (inspeksi oleh inspektor). Dilakukan pengecekan terkait jumlah tikung yang sudah terisi lebah.

4) Pemanenan dan Penyimpanan

Pemanenan dalam setahun terdapat 3 kali musim panen dengan 8 kali aktivitas pemanenan dalam setiap musim panennya. Pemanenan diawali dengan penyalaan api dengan cara membakar akar jabai hingga menimbulkan asap. Asap akan diarahkan ke sarang madu dengan meletakkan 30 cm di bawah lebah/tikung. Kemudian setelah lebah terbang lalu dilakukan pengambilan madu dengan cara mengiris sarang madu menggunakan pisau, pemanenan yang dilakukan akan menyisakan madu kira-kira 2 cm dari pangkalnya. Pola panen yang dipraktekkan oleh periau adalah pola panen lestari dengan tidak memotong seluruh sarang madu, meninggalkan 25% dari kepala dari kepala maduagar kembali dihinggapi oleh lebah dan menghasilkan madu kembali. Pengangkutan hasil panen dilakukan periau dengan transportasi air speedboad sama halnya dalam melakukan pemasangan tikung dan survey.

5) Penirisan Madu

Penirisan madu dilakukan oleh periau di rumah masing-masing. Madu yang telah dipanen diiris tipis-tipis dengan menggunakan pisau yang sudah steril sehingga air madu menetes keluar dengan cara diletakkan langsung diatas saringan madu lalu dimasukkan ke dalam jerigen. Penirisan madu akan memsisahkan madu, lilin madu dan sarang madu. Produksi yang diperhitungkan dalam study ini adalah 1 ton madu, sementara lilin madu dan sarang madu adalah bagian yang dipisahkan dari perhitungan.

6) Pengemasan Madu

Madu yang dihasilkan dengan penirisan akan dikemas kedalam jerigen kapasitas 25 kg berbahan plastik dan selanjutnya dimasukkan kedalam karung goni.

Rangkuman informasi yang ditemukan dari hasil pengumpulan data melalui survei untuk studi LCA Sagu adalah sebagai berikut :

- Pembuatan tikung dengan berbahan kayu dan diolah menjadi bentuk lembaran papan dengan ukuran panjang 1,75 m, lebar 0,25 m dan ketebalan 0,04 m. Peralatan pemotongan yang dipergunakan adalah peralatan potong konvensional.

- Pemasangan tikung, Pra Pemanenan (survey kondisi tikung) pengangkutan hasil panen untuk membawa tikung yang dipasang akan mempergunakan transportasi *speedboad* yang membutuhkan pertalite sebagai bahan bakar mesin (BBM).
- Pra Pemanenan (survey kondisi tikung) dan pemanenan mempergunakan akar jabai dengan dibakar untuk mengusir lebah.
- Pra pemanenan dilakukan sebanyak 1 kali sebelum panen
- Pemanenan dilakukan rata-rata 8 kali dalam setiap panen pada 3 kali musim panen dalam setahun.

Pembuatan tikung untuk menghasilkan 1 ton madu hutan membutuhkan sebanyak 642 buah tikung dengan kayu yang dibutuhkan sebanyak 13.482,11 kg kayu hutan dan akan menghasilkan buangan berupa serbuk kayu sebanyak 3370,53 m^3 serbuk kayu. Tabel berikut merupakan nilai rata-rata inventori dari seluruh responden survey. Pemasangan 642 tikung membutuhkan BBM transportasi sebanyak 394,49 liter BBM pertalite.

Tabel 20. Inventori Pembuatan Tikung Madu Hutan

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Kayu	kg	13482,11
Output		
Tikung	unit	642
Waste		
Serbuk Kayu	m3	3370,53

Tabel 21. Inventori Pemasangan Tikung Madu Hutan

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Tikung	unit	642
BBM Transportasi (pertalite)	liter	393,49
Output		
Tikung terpasang	unit	642

Pra Pemanenan (Survey dan Uji Coba Panen) dilakukan pada tikung yang sudah terpasang, dengan asumsi perhitungan dalam studi ini sebanyak 642 tikung yang terpasang dilakukan survey. BBM yang dibutuhkan dalam pra pemanenan adalah 26,1 liter dan akar jabai yang dibakar adalah

sebanyak 0,2 kg. Pada pra pemanenan dilakukan uji coba panen terhadap sampel sebanyak 1-2 sarang madu.

Tabel 22. Inventori Pra Pemanenan Madu Hutan

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Tikung yang terpasang	unit	642
BBM Transportasi	liter	26,1
Pengasapan dengan akar Jabai	kg	0,2
Output		
Tikung yang sudah disurvei	unit	642

Proses pemanenan hampir sama dengan pra pemanenan dalam hal transportasi perjalanan dan pengangkutan mempergunakan speedboat dan pembakaran akar jabai untuk mengusir lebah. Estimasi perhitungan untuk menghasilkan 1 ton madu hutan adalah dengan memanen 188,13 tikung dengan asumsi berat sarang yang di panen 1 tikung adalah 10 kg. Kebutuhan BBM untuk pemanenan adalah 124,34 liter pertalite dan dibutuhkan sebanyak 37,63 kg akar jabai untuk pengasapan.

Tabel 23. Inventori Pemanenan Madu Hutan

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Tikung yang dipanen	unit	188,13
BBM Transportasi	liter	124,34
Pengasapan dengan akar Jabai	kg	37,63
Output		
Sarang Madu	kg	1100

Penetesan dan penyaringan madu dilakukan dengan mengiris sarang madu tipis-tipis dan disaring untuk memisahkan sarang madu dengan lilin madu dan ampas sarang madu. Sarang madu yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 ton madu hutan adalah sebanyak 1,1 ton dengan ampas sarang madu yang tersisa adalah sebanyak 0,05 ton dan lilin madu sebanyak 0,05 ton.

Tabel 24. Inventori Penetesan dan Penyaringan Madu Madu Hutan

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Sarang Madu	ton	1,1

Output		
Madu	ton	1
Lilin Sarang Madu	ton	0,05
Waste		
Ampas sarang madu	ton	0,05

Pengemasan madu dilakukan dengan menggunakan terenung berbahan plastik, dibutuhkan sebanyak 40 kg jerigen plastik dan madu hutan dalam kemasan jerigen plastik adalah sebanyak 1,04 ton.

Tabel 25. Inventori Pengemasan Madu Hutan

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Madu	ton	1000
Jerigen	kg	40
Output		
Madu dalam Kemasan	ton	1,04

3. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Madu Hutan

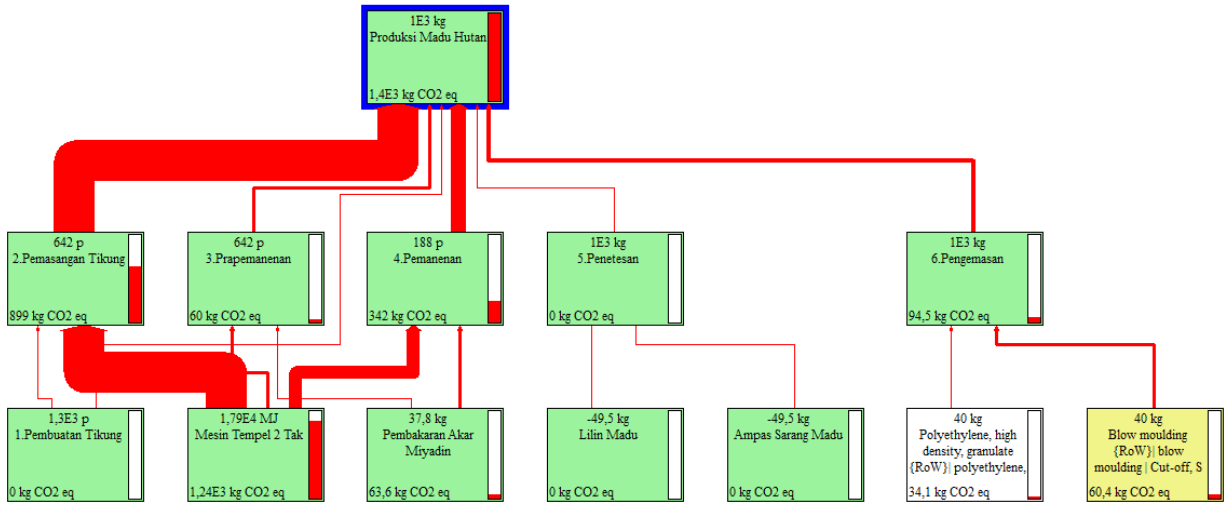
Perkiraan dampak lingkungan akan digunakan sesuai dengan *Goal and Scope Definition* madu hutan. Berbagai dampak yang dihasilkan dalam suatu kegiatan yang berasar dari analisis inventori nantinya akan di masukan dalam indikator kategorik. Perhitungan yang dilakukan menggunakan rumus dari IPCC. Pengelompokkan dampak lingkungan akibat kegiatan mulai dari pembuatan tikung sampai dengan pengemasan madu hutan ditinjau lebih dalam terhadap beberapa aspek, seperti gas rumah kaca (pemanasan global), eutrofikasi dan asidifikasi.

Setelah itu dilakukan pengkarakterisasian dan pembobotan untuk menentukan dampak lingkungan yang memberikan pengaruh paling besar perlu lebih diperhatikan dibandingkan dengan dampak yang lain. Pada elemen *mandatory* akan dilakukan pemilihan kategori dampak, kategori indikator dan model karakterisasi dampak yang ada. Kategori dampak merupakan dampak yang terjadi pada lingkungan karena output yang dikeluarkan seperti pemanasan global, penipisan ozon, serta menganggu kesehatan manusia.

Kategori indikator merupakan unit satuan yang dapat berdampak sehingga dapat dimasukan dalam kategori dampak seperti kg CO_2 yang merupakan penyebab pemanasan global. Sedangkan model karakterisasi merupakan landasan dalam penentuan dampak lingkungan yang ada. Setelah ketiga hal tersebut ditentukan, selanjutnya akan dilakukan klasifikasi dan karakterisasi dampak yang ada.

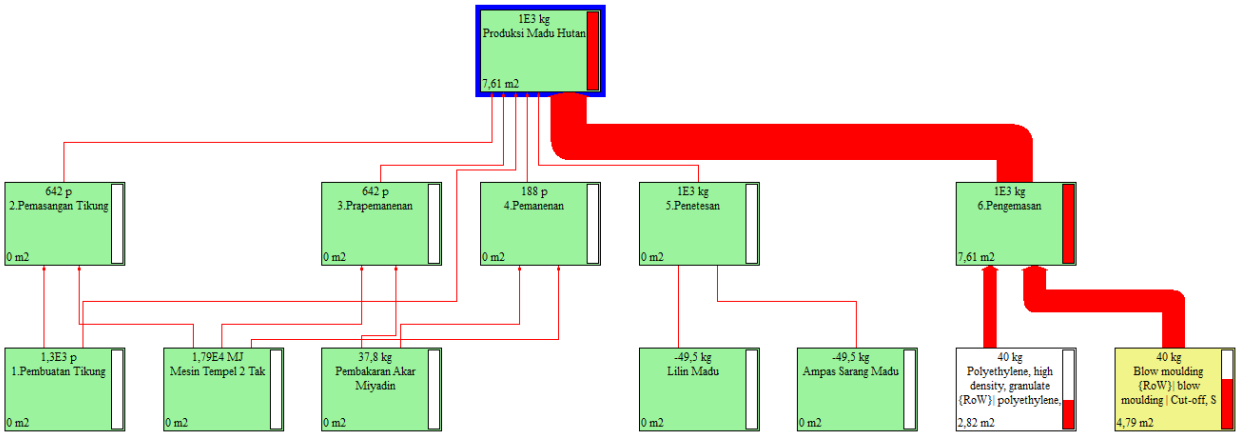
Klasifikasi merupakan proses yang menghubungkan hasil inventori dengan kategori dampak. Sedangkan karakterisasi proses yang menghubungkan hasil inventori dengan kategori indikator.

Sehingga nantinya akan diperoleh hasil dari indikator kategori. Pada elemen pilihan terdiri dari normalisasi, pengelompokan dan pembobotan. Normalisasi merupakan proses perhitungan besarnya kategori indikator terhadap referensi yang ada. Pengelompokan merupakan proses pengurutan atau pemberian hirarki pada dampak yang ada. Sedangkan pembobotan merupakan yang didasarkan proses konversi hasil yang terdapat pada kategori indikator yang terdapat pada berbagai kategori dampak yang sudah ada. Setelah elemen mandatory dan elemen pilihan dilakukan akan disajikan dalam tabel dampak agar lebih mudah untuk dipahami. Selanjutnya akan dilakukan evaluasi dampak dari limbah-limbah yang telah dihasilkan. Secara umum metode evaluasi dampak yang sering digunakan adalah metode tumpang tindih, metode daftar uji, metode matriks interaksi, metode bagan alir dan metode *ad hoc* (Purnama dan Sofiyah 2010).



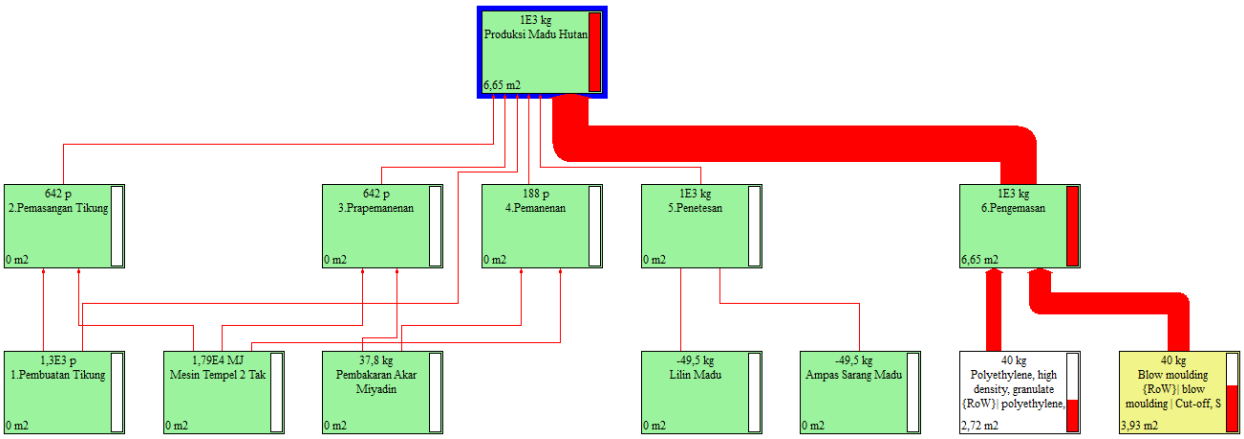
Gambar 50. Hasil Analisis LCIA Produksi 1 Ton Madu Hutan (Kategori Dampak : Global Warming)

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada komoditas madu hutan, diperoleh hasil analisis dampak lingkungan produksi madu hutan di Muara Belitung, Danau Sentarum menunjukkan bahwa dampak lingkungan potensial pemanasan global paling banyak dikontribusi oleh unit proses pemasangan tikung dengan jumlah kontribusi yaitu 899 kg CO_2 eq (Gambar 52). Penyebab utama dari tingginya emisi karbondioksida adalah penggunaan bahan bakar bensin untuk menggerakkan mesin tempel.



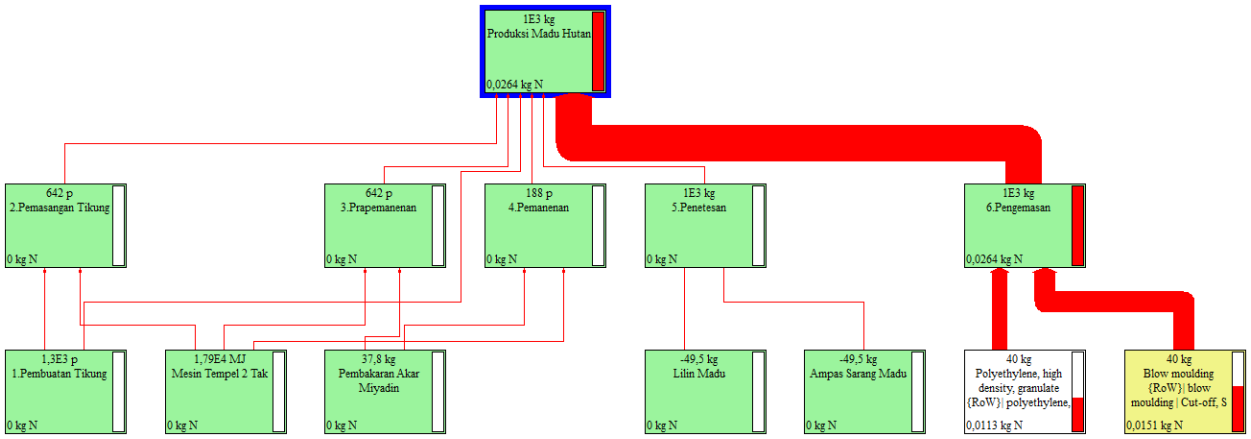
Gambar 51. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Acidification)

Untuk dampak lingkungan Asidifikasi, banyak disebabkan oleh unit proses pengemasan (Gambar 53). Namun, dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi madu hutan melainkan disebabkan oleh proses pembuatan jerigen plastik. Produksi madu hutan ini menyebabkan terjadinya asidifikasi lingkungan seluas 7,61 m^2.



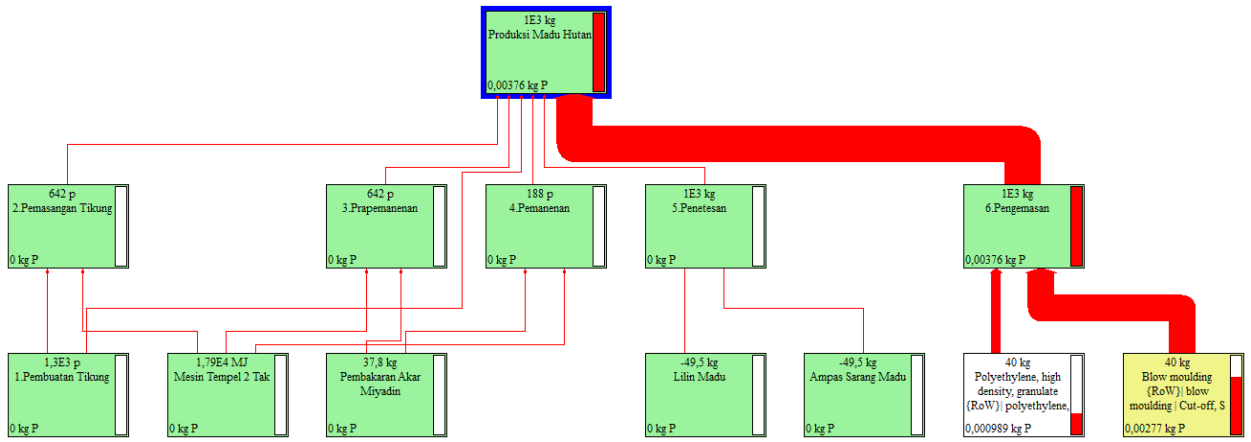
Gambar 52. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Terresterial eutrophication)

LCIA produksi madu hutan juga menunjukkan bahwa dampak lingkungan eutrofikasi tanah banyak disebabkan oleh unit proses pengemasan (Gambar 54). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi madu hutan melainkan disebabkan oleh proses pembuatan jerigen plastik. Produksi madu hutan ini menyebabkan terjadinya eutrofikasi tanah seluas 6,65 m^2.



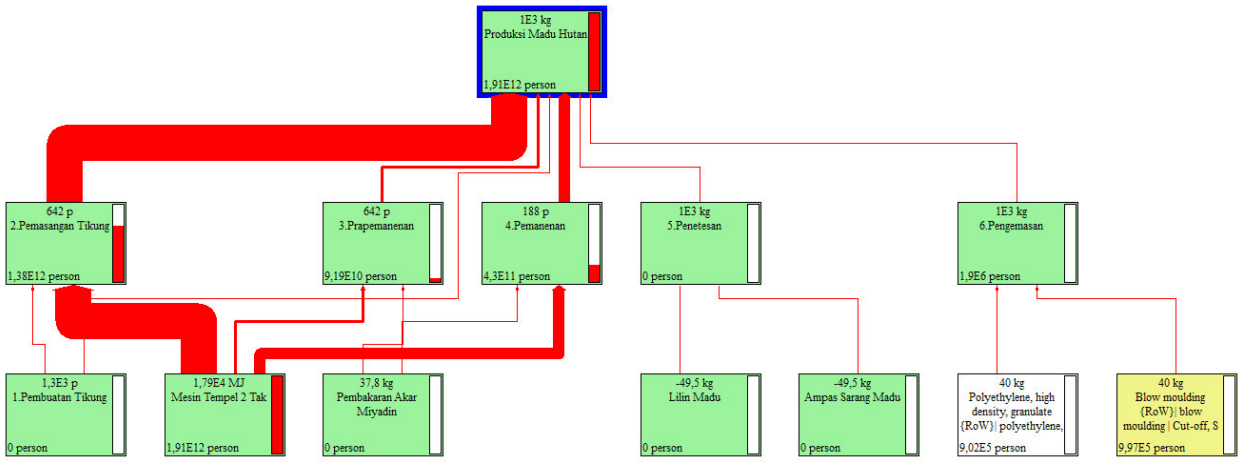
Gambar 53. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : eutrophication EP (N))

LCIA produksi madu hutan juga untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur N banyak disebabkan oleh unit proses pengemasan (Gambar 55). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi madu hutan melainkan disebabkan oleh proses pembuatan jerigen plastik. Produksi madu hutan ini menyebabkan terjadinya eurofikasi pada air dengan jumlah kontribusi unsur Nitrogen ke lingkungan sebanyak 0,0264 kg.

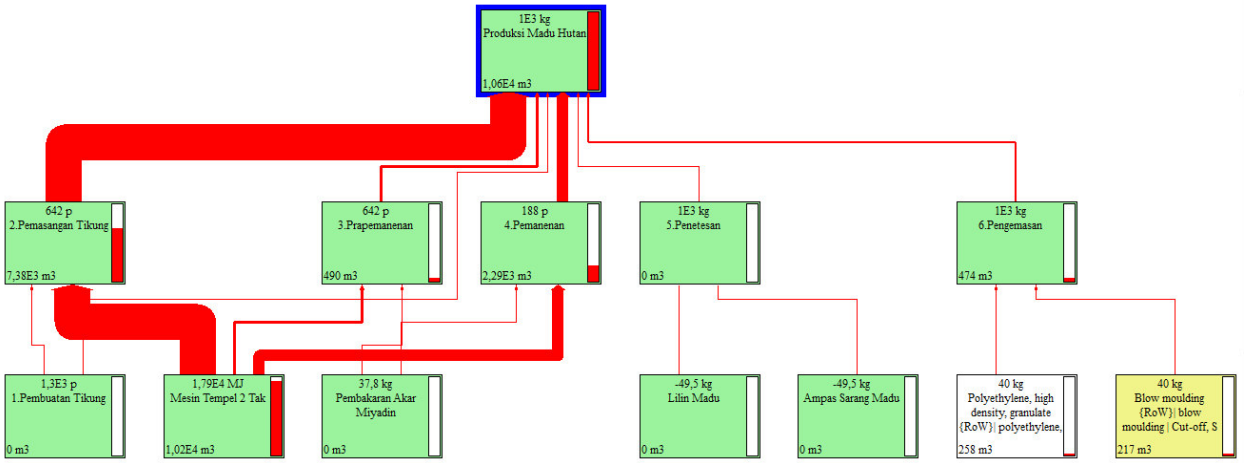


Gambar 54. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : eutrophication EP (P))

LCIA produksi madu hutan juga untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur P banyak disebabkan oleh unit proses pengemasan (Gambar 56). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi madu hutan melainkan disebabkan oleh proses pembuatan jerigen plastik. Produksi madu hutan ini menyebabkan terjadinya eurofikasi pada air dengan jumlah kontribusi unsur Phospor ke lingkungan sebanyak 0,00376 kg.



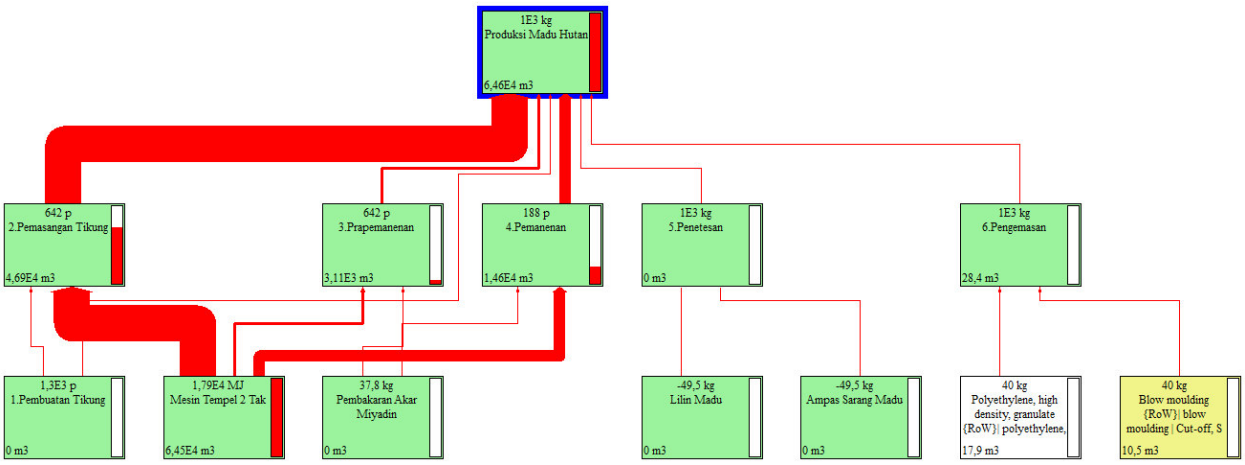
Gambar 55. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : *Humantoxicity Air*)



Gambar 56. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : *Humantoxicity water*)

Human toxicity water paling besar disebabkan oleh proses pemasangan tikung (Gambar 58). Penyebab tingginya dampak lingkungan tersebut dikarenakan oleh emisi pembakaran mesin tempel perahu atau boat *outboard engine* atau mesin tempel ke lingkungan Danau Sentarum (1,02 x 10^4 m^3). Dampak lingkungan pada *human toxicity air* digambarkan dengan jumlah orang yang terdampak dengan satuannya *person*/orang sedangkan dampak lingkungan *human toxicity* lainnya (*water*, *soil*) memiliki satuan m^3 yang menggambarkan volume air atau tanah yang tercemar oleh emisi pembakaran mesin perahu danau. Emisi ke udara pembakaran bahan bakar bensin pada mesin tempel ini memberikan dampak *human toxicity* kepada 1.910.000.000.000 orang. Selain itu, emisi bahan bakar bensin mesin tempel perahu ini berpotensi menyebabkan *human toxicity* melalui air dan tanah. Pada hasil LCA menunjukkan, potensi dampak lingkungan dapat

menghasilkan degradasi kualitas air sebanyak1060 m^3 (Gambar 58) dan 64.600 m^3 pada tanah (Gambar 59).



Gambar 57. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton madu hutan (kategori dampak : Humantoxicity soil)

Tabel 25 menjukan export hasil analisis LCIA Madu Hutan (dampak). Dampak lingkungan dalam produksi 1 ton madu hutan berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dampak *Human Toxicity Air* dengan nilai total sebesar 1.91 x 10^{12} orang yang dihasilkan sebagian besar dari pemasangan tikung, pemanenan, pra pemanenan, dan pengemasan. *Human Toxicity Soil* dengan nilai total 6.46 E^6 m^3 yang terbesar dikontribusikan dari pemasangan tikung (4.69 x 10^4), *Human Toxicity Water* dengan nilai total 1.06 E^4 m^3 yang utamanya dihasilkan dari pemasangan tikung, *Global Warming* 100a dengan nilai terbesar disumbangkan masih pada pemasagan tikung (899 Kg CO_2 eq), disusul dari proses pemanenan (342 Kg CO_2 eq). Kategori dampak berikutnya adalah *Acidification* dengan nilai total 7.61 m^2, *Terrestrial Eutrophication* dengan nilai total 6.65 m^2, *Aquatic Eutrophication EP* (N) sebesar 0.0264 Kg N, dan terakhir adalah *Aquatic Eutrophication EP* (P) sebanyak 0.00376 Kg P.

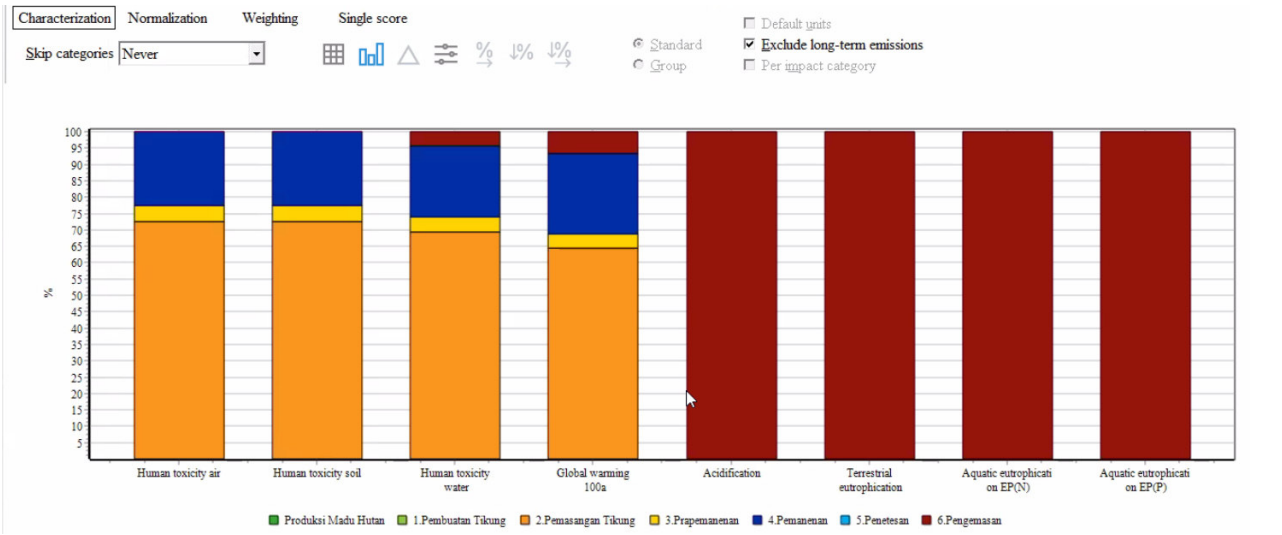
Tabel 26. Export hasil analisis LCIA Madu Hutan (dampak)

Characterization | Normalization | Weighting | Single score

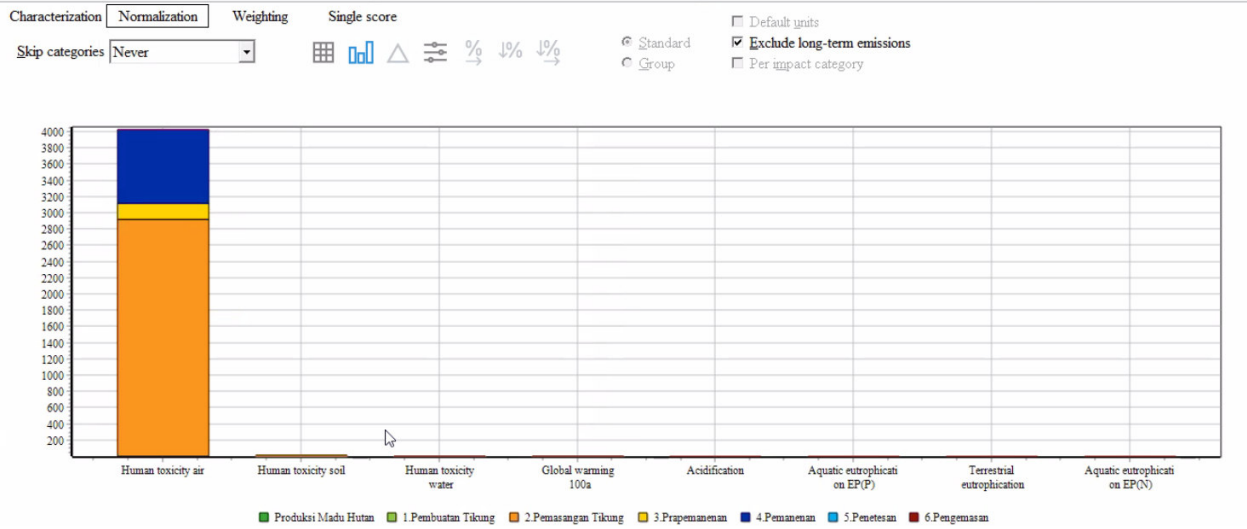
Skip categories: Never

Default units | Exclude long-term emissions | Per impact category | Standard | Group

Se	Impact category	Unit	Total	Produksi Madu Hutan	1.Pembuatan Tikung	2.Pemasangan Tikung	3.Prapemanen	4.Pemanenan	5.Penetesan	6.Pengemasan
☑	Human toxicity air	person	1,91E12	x	x	1,38E12	9,19E10	4,3E11	x	1,9E6
☐	Ecotoxicity water chronic	m3	1,13E6	x	x	8,1E5	5,38E4	2,52E5	x	1,13E4
☐	Ecotoxicity water acute	m3	6,43E5	x	x	4,65E5	3,09E4	1,44E5	x	2,23E3
☑	Human toxicity soil	m3	6,46E4	x	x	4,69E4	3,11E3	1,46E4	x	28,4
☑	Human toxicity water	m3	1,06E4	x	x	7,38E3	490	2,29E3	x	474
☐	Ecotoxicity soil chronic	m3	9,65E3	x	x	6,96E3	461	2,16E3	x	74,8
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	1,4E3	x	x	899	60	342	x	94,5
☐	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	612	x	x	x	x	x	x	612
☐	Bulk waste	kg	18,4	x	x	x	x	x	x	18,4
☑	Acidification	m2	7,61	x	x	x	x	x	x	7,61
☑	Terrestrial eutrophication	m2	6,65	x	x	x	x	x	x	6,65
☐	Slags/ashes	kg	0,397	x	x	x	x	x	x	0,397
☐	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,0431	x	x	x	x	x	x	0,0431
☑	Aquatic eutrophication EP(N	kg N	0,0264	x	x	x	x	x	x	0,0264
☐	Resources (all)	PR2004	0,00827	x	x	x	x	x	x	0,00827
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,00376	x	x	x	x	x	x	0,00376
☐	Radioactive waste	kg	0,00291	x	x	x	x	x	x	0,00291
☐	Hazardous waste	kg	0,000824	x	x	x	x	x	x	0,000824
☐	Ozone depletion	kg CFC11 eq	4,51E-6	x	x	x	x	x	x	4,51E-6



Gambar 58. Grafik hasil analisis LCIA (Characterization)



Gambar 59. Grafik hasil analisis LCIA (Normalization)

Normalisasi LCA menunjukkan bahwa dampak lingkungan terbesar produksi madu hutan adalah *Human Toxicity* melalui udara (Gambar 60, Gambar 61). Dampak lingkungan ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar bensin pada unit proses pemasangan tikung, pra pemanenan dan pemanenan.

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Madu Hutan

Berdasarkan analisis kontribusi, kontributor terbesar untuk dampak lingkungan potensi pemanasan global dan *human toxicity* adalah unit proses pemasangan tikung dan pemanenan madu disebabkan oleh penggunaan BBM pada mesin tempel perahu danau yang bertipe mesin 2 tak. Mesin 2 tak memang terkategori mesin yang memiliki emisi besar. Hal itu disebabkan proses pembakaran pada mesin 2 tak membakar juga pelumas mesinnya. Kontributor terbesar untuk dampak lingkungan eutrofikasi dan asidifikasi adalah penggunaan jerigen sebagai wadah madu yang dihasilkan. Namun, dampak ini bukan dampak langsung dari penggunaan jerigen sebagai wadah pengemas melainkan dampak yang ditimbulkan dari proses produksi jerigen. Perbaikan dalam proses produksi madu hutan harus dilakukan

Proses produksi madu hutan danau sentarum sangat tidak efisien karena penggunaan BBM sangat berlebihan untuk pemasangan tikung. Produsen perlu mempertimbangkan kembali ke pemanenan madu dari sarang-sarang yang timbul secara alami tanpa intervensi manusia melalui pemasangan tikung. Salah satu kearifan lokal yaitu *lalau* perlu dikedepankan. Dengan *lalau,* proses pemanenan madu hutan dari sarang alami dapat menurunkan jumlah pemakaian BBM. Selain itu juga langkah yang dapat ditempuh adalah menggunakan perahu yang lebih besar dan mesin yang lebih hemat BBM.

Perbaikan dari sisi pengemasan produk madu hanya perlu meningkatkan daya tahan jerigen sehingga pemakaian jerigen tidak hanya satu kali proses produksi. Selain itu, produsen juga bisa

mempertimbangkan membuat model penjualan dengan sistem yang membuat pembeli harus memiliki jerigen yang dipakai berulang untuk menyimpan madunya. Hal ini bisa diadopsi dari model yang diterapkan salah satu *franchise* gerai kopi terbesar di dunia Starbucks yaitu menawarkan pembeli membeli gelas kopi yang bisa dipakai berulang sehingga pembeli akan mengunakan gelas yang sama untuk kembali membeli kopi di Starbucks.

E. Hasil Studi LCA Kopi Enrekang

Tanaman kopi telah dikenal oleh penduduk Sulawesi Selatan sejak abad ke 17 dari pedagang Arab yang melakukan perdagangan dengan kerajaan Gowa. Dalam periode ini masyarakat Sulawesi Selatan mulai mengembangkan tanam kopi di gunung Lompobattang dan Toraja. Hal ini diperkirakan diprakarsai oleh Raja Gowa dan pedagang Arab, sehingga pengembangannya di Toraja berlangsung bersamaan dengan di Gowa (Gunung Lompobattang). Namun, komersialisasi komoditi kopi baru dilakukan pada tahun 1830 seiring dengan pengembangan tanaman kopi yang dilakukan oleh Pemerintah Hindia Belanda (Polinggomang 2005: 19).

Kopi toraja memiliki kualitas dan harga yang tinggi saat ini. Kopi toraja dapat tumbuh dengan baik di kondisi lahan bertopografi bukit maupun dataran rendah dengan jenis kopi yang ditanam di Tana Toraja dan Enrekang adalah robusta (30%) dan arabica (70%). Kopi arabica sangat dominan dan mimiliki flavor yang kompleks dan kekentalan yang kuat. Kopi ditanam secara tradisional oleh masyarakat adat secara turun temurun terutama dalam hal pengembangan varietasnya

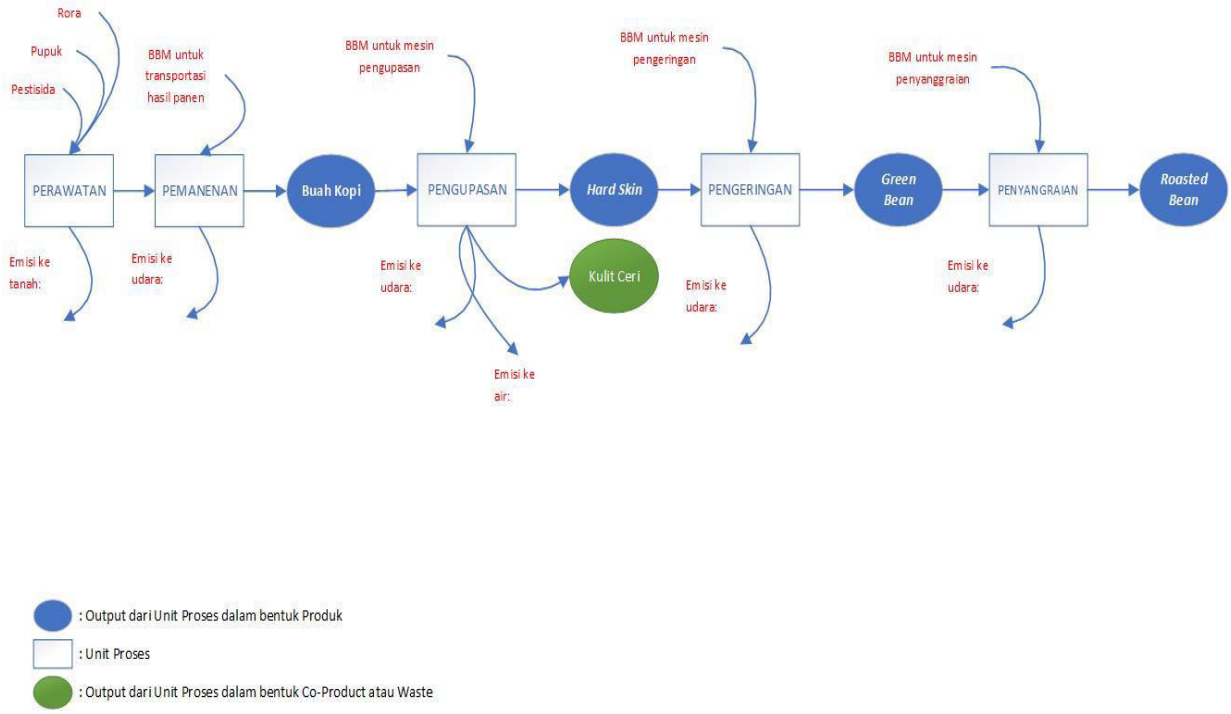
Kopi arabica berkarakter cenderung asam; bentuk biji gepeng, lonjong dan agak memanjang; tumbuh di ketinggian 700mdpl; kandungan kafein 0.8-1.4%; pemberian level sampai speciality coffee; singel origin brewed. Kopi robusata berkarakter cenderung pahit; bentuk biji bulat utuh dan lebih kecil daripada arabica; tumbuh di antara 300 - 700 mdpl; kandungan kafein 2%; pemberian level sampai fine robusta; cocok untuk espresso atau blended. Bila kopi ini diminum tanpa gula atau susu mengandung antioksidan yang tinggi dan beberapa nutrisi yang bermanfaat bagi tubuh. Nutrsi ini seperti riboflavin (vitamin B2); asam pantotenat (vitamin B5); mangan; kalium; natrium; magnesium; niacin (vitamin B3)

Disamping itu dalam meningkatkan kapasitas manajemen pengelolaan dan mutu, masyarakat adat yang memanam kopi di Tana Toraja dan Enrekang telah membangun standar produksi kopi untuk memastikan peningkatan mutu kopi dan meningkatkan daya jual kopi.

1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Kopi Enrekang

Goal dari studi ini adalah untuk menganalisis daur hidup kopi yang dilihat sejak perawatan kopi sampai dengan menghasilkan biji kopi yang telah disanggrai (*roasted bean*). Dalam tahapan analisis tersebut dilakukan identifikasi input (*resource*) dan output yang dihasilkan baik dalam bentuk *emission* maupun human toxicity yang kemungkian akan muncul dari proses penyangraian kopi. Data inventori praktis menjadi acuan dalam proses identifikasi ini. *Scope*atau disebut dengan ruang lingkup dari studi penilaian daur hidup kopi meliputi proses perawatan tanaman kopi, proses pemanenan kopi, pengupasan kopi menggunakan pulper, proses pengeringan kopi hingga menjadi *green bean*, kemudian dilanjut ke tahapa akhir yaitu proses penyangraian kopi menjadi *roasted bean* . Dalam hal penentuan ruang lingkup studi LCA kopi, *functional unit* yang digunakan pada kajian ini adalah sebesar 1 ton *roasted bean* kopi yang dihasilkan dalam sistem proses produksi. Hal kedua yang dilakukan dalam pembuatan ruang lingkup adalah penentuan batasan sistem produksi kopi. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan pembatasan *cradle to gate* dari proses persiapan seperti perawatan sampai dengan proses *roasting* biji kopi (*cradle to gate*).

Hal kedua yang dilakukan dalam pembuatan ruang lingkup adalah penentuan batasan sistem produksi kopi. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan pembatasan *gate to gate* dari proses perawatan kopi sampai dengan proses penyangraian kopi menjadi *Roasted Bean*. Batasan ruang lingkup studi LCA untuk kopi enrekang diilustrasikan di dalam Gambar 62.



Gambar 60. Model dan ruang lingkup studi LCA kopi enrekang

2. Analisis Data Persediaan Kopi Enrekang

Rangkuman hasil analisis persediaan terhadap tahapan produksi yang masuk dalam ruang lingkup study LCA Kopi Enrekangini adalah sebagai berikut:

1) Perawatan Tanaman Kopi

Perawatan tanaman kopi dilakukan pada lahan responden dengan pengelolaan lahan yang berbeda-beda mulai dari 0,6 hektar hingga 2 hektar lebih berdasarkan hasil wawancara saat survey. Dalam perawatan secara umum masih dilakukan secara alami, dengan menanam kopi berdekatan dengan tanaman lain misalnya kacang-kacangan. Pemupukan merupakan aktivitas yang juga dilakukan dalam perawatan, yang umum dilakukan selama dua kali dalam setahun. Permupukan pertama dilakukan selesai musim panen dan pemupukan kedua pada saat buah muai menguning. Cara pemupukan dilakukan dengan ditanam/ditugal. Selain pemupukan, dalam perawatan kopi juga dilakukan pemangkasan yang dilakukan dua kali dalam setahun, pemangkasan pertama dilakukan pada saat selesai masa panen dan pemangkasan kedua

dilakukan pada saat buah sudah menguning. Pemangkasan dilakukan dengan mempergunakan alat pangas konvensional seperti gergaji dan gunting.

2) Pemanenan

Biji kopi yang telah matang berwarnah merah hingga merah tua pada kulit buahnya. Dalam satu dompolan buah biasanya biji kopi tidak matang secara bersamaan. Oleh karena itu pemetikan biji tidak diselesaikan dalam satu kali panen. Tetapi dilakukan secara bertahap dengan selang pemetikan biasanya 2 minggu sekali. Kopi mulai berbuah ketika berumur 4 tahun, awalnya jumlah buah kopi yang dihasilkan masih sedikit. Setelah itu, buah kopi yang dipanen terus meningkat dari panen tahun ke 2 hingga tahun ke 14 (Pangabean 2011: 88). Dalam tahapan ini normalnya dibutuhkan input berupa pekerja pemetik, keranjang penampung kopi karena dilakukan secara manual.

Pemanenan kopi enrekang dilakukan dengan tenaga manusia untuk memetik dengan mempergunakan alat sederhana berupa ember, baskom dan terpal. Buah cerry kopi yang telah dipanen dikumpulkan kedalam karung dan akan diangkut dengan mempergunakan karung berukuran 50 kg.

3) Pengupasan Kopi (produksi kopi *hard skin*)

Langkah pertama yang dilakukan pada setelah kopi dipanen adalah pengupasan kopi dengan mempergunakan mesin pulper. Mesin pulper digerakkan dengan BBM bensin. Sebelum dikupas dengan mesin pulper, biji kopi dilakukan pencucian dan seleksi dengan memisahkan buah yang tenggelam dan mengapung. Biji yang telah dikupas dengan mesin pulper dirambang dan selanjutnya dilakukan permentasi didalam karung selama 12-36 jam (semi *wash*) dan direndam dalam baskom 12-36 jam (*full wash*) selanjutnya dijemur (*honey*) dan perambangan dilakukan pada saat mencuci bersih sampai tidak ada lender/getah lagi.

4) Pengeringan

Pengeringan dilakukan setelah proses pencucian dengan penjemuran menggunakan terpal dengan cahaya matahari langsung. Proses pengeringan untuk full wash dan semi wash dilakukan selama 3-4 hari, tergantung keadaan cuaca dan lama penjemuran dapat dilakukan sekitar 3-4 jam/hari.

5) Penyangraian (*Roasting*)

Penyangraian dilakukan dengan menggunakan mesin roasting. Kopi yang sudah kering dan tidak memiliki kulit ari akan diroasting dengan mesin sangrai pada suhu tertentu. Input yang dibutuhkan dalam proses ini berupa energi listrik untuk menggerakan mesin roasting.

Rangkuman informasi yang ditemukan dari hasil pengumpulan data melalui survei untuk studi LCA Sagu adalah sebagai berikut :

- Luas lahan yang dikelola oleh responden (5 responden) yang diwawancara adalah 0,5 – 2 hektar dan hasil produksi kopi selama 1 tahun mulai dari 365 kg hingga 2,1 ton buah kopi.

Perawatan tanaman kopi dilakukan dengan pemupukan yang dikombinasi dengan pupuk organic dan pupuk kimia seperti pupuk urea, SP36, ZA, Petroganik, Ponska, Pupuk NPK, Pupuk Kandang, Pestisida (hipotan).

- Pemanenan dilakukan dengan pengangkutan mempergunakan pickup yang dengan BBM berjenis premium.
- Proses pengeringan dilakukan secara alami dengan alas jemur dan cahaya matahari langsung, tidak diperhitungkan dalam studi LCA ini.
- Pengupasan dilakukan secara bertahap, mulai dari pengupasan dengan mesin pulper. Pengupasan dengan mesin pulper akan menghasilkan kopi *hard skin* dengan memisahkan biji kopi dari kulit cerynya. Setelah proses dengan mesin pulper akan dilakukan proses fermentasi yang akan menghasilkan kopi *fullwash* dan selanjutnya dijemur dan menghasilkan kopi *green bean*.
- Kopi *green bean* disangrai dengan mempergunakan mesin roasting dengan sumber energi listrik dan dikombinasi dengan pemasanan mempergunakan pemanas berbahan bakar LPG.

Perawatan tanaman kopi dilakukan dengan pemupukan mempergunakan berbagai jenis pupuk buatan. Lahan yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk akhir kopi roasted bean adalah seluas 4,98 hektar yang perawatannya membutuhkan pupuk organik sebanyak 1725,16 kg dan beberapa jenis pupuk buatan seperti ditunjukkan pada Tabel 26.

Tabel 27. Inventori Perawatan Kopi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Pupuk Organik	kg	1725, 16
Pupuk Urea	Kg	578,71
SP36	Kg	623,48
ZA	Kg	58,26
Pestisida (hipotan/ethanol)	liter	4,98
Output		
Lahan untuk hasil 1 ton kopi roasted	Ha	4,98

Buah kopi yang dibutuhkan hingga menghasilkan produk akhir kopi roasted bean adalah sebanyak 4433,25 kg buah kopi yang dipanen secara konvensional dengan dipetik oleh manusia. Dalam pengangkutan hasil panen dibutuhkan BBM sebanyak 3,02 liter untuk menghasilkan 1 ton produk akhir seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 28. Inventori Pemanenan Kopi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
BBM untuk pengangkutan (pertalite)	Liter	3,02
Output		
Buah Kopi Hasil Panen	kg	4433,25

Pengupasan buah kopi dilakukan untuk menghasilkan biji kopi *hardskin* mempergunakan mesin pulper dengan sumber energi listrik yang didapatkan dari proses inventory data sebesar 4,56 kWh. Dalam proses ini selain menghasilkan produk kopi *hardskin* proses pengupasan menyisakan kulit cerry kopi yang biasanya dibuang oleh petani.

Tabel 29. Inventori Pengupasan Kopi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Buah kopi	Kg	4433,25
Pulper mesin listrik	kWh	4,56
Output		
Biji Kopi hardskin	Kg	2438,29
Kulit *Cerry*		1994,96

Pengeringan kopi akan membutuhkan mesin haller hingga akhirnya dihasilkan kopi Greenbean sebanyak 1250 kg dari 2438,29 kg yang diolah.

Tabel 30. Inventori Pengeringan Kopi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Biji kopi HS	kg	2438,29
BBM mesin haller	Liter	10,97
Output		
Greenbean	Kg	1250

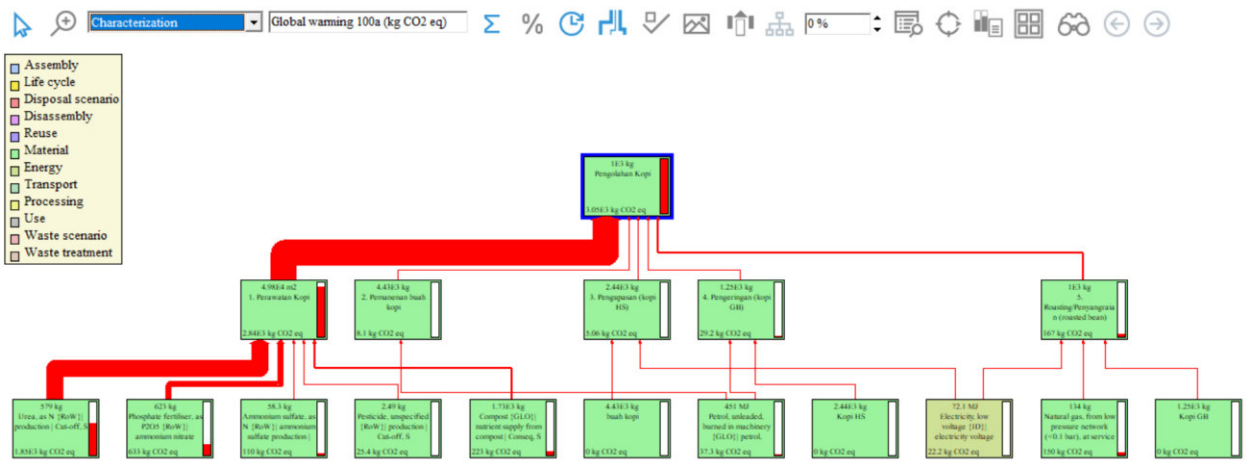
Proses penyangraian kopi adalah menyangrai kopi *greean bean* hingga menghasilkan kopi *roasted bean*, dalam inventori data LCA Kopi Enrekang ini untuk menghasilkan 1 ton kopi roasted bean akan membutuhkan sebanyak 1250 kg kopi *green bean* yang dalam pengolahannya dibutuhkan daya listrik sebesar 15,47 kWh dan gas LPG sebesar 133, 93 kg.

Tabel 31. Inventori Penyagraian Kopi

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Kopi GB	Kg	1250
Daya listrik	kWh	15,47
Gas LPG	Kg	133,93
Output		
Kopi roasted	Ton	1

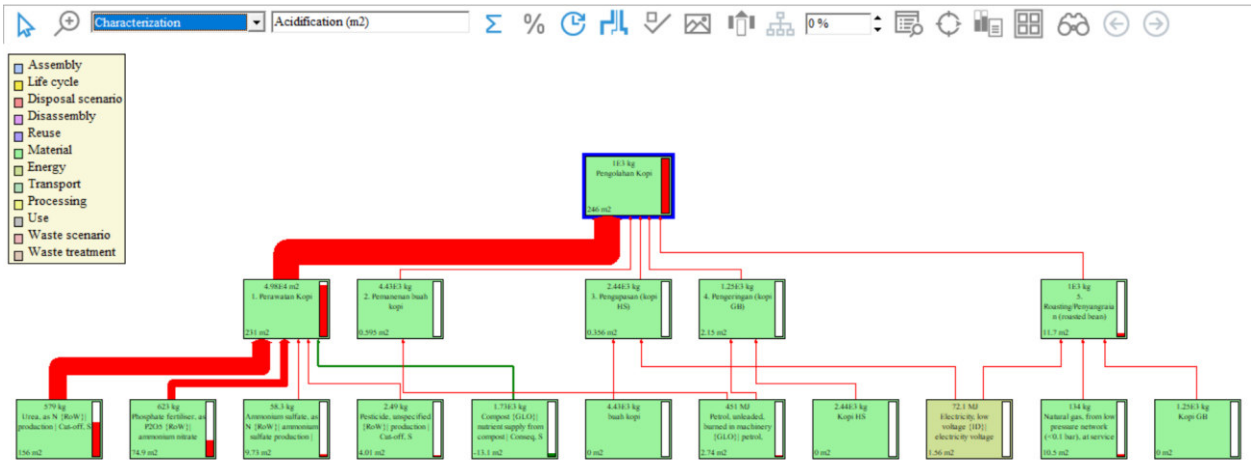
3. Kajian Dampak Lingkungan Selama Daur Hidup Kopi Enrekang

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada produksi 1 ton kopi, diperoleh hasil analisis dampak lingkungan produksi kopi di Enrekang, Sulawesi Selatan menunjukkan bahwa dampak lingkungan potensial pemanasan global paling banyak dikontribusi oleh unit proses perawatan tanaman dengan jumlah kontribusi yaitu 3,05 kg CO2 eq (Gambar 63). Penyebab utama dari tingginya emisi karbondioksida adalah penggunaan pupuk kimia dalam perawatan tanaman kopi, dengan yang tertinggi adalah penggunaan pupuk urea.



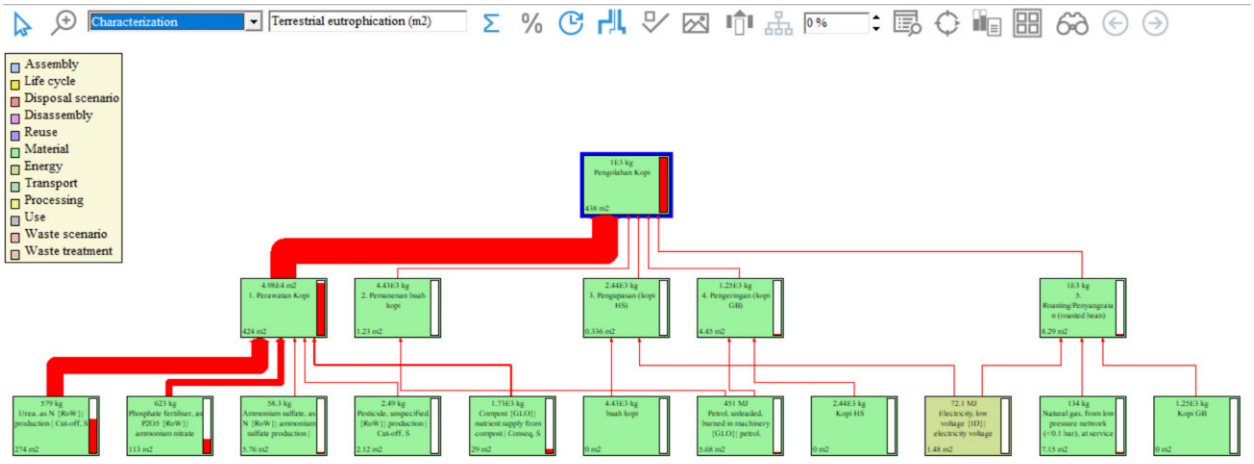
Gambar 61. Hasil Analisis LCIA Produksi 1 Ton Kopi Enrekang (Kategori Dampak : Global Warming)

Dampak lingkungan asidifikasi, sebagian besar adalah kontribusi dari proses perawaatan tanaman dengan penggunaan pupuk urea dan SP36, sementara penggunaan pupuk organik (kompos) memberikan dampak asidifikasi secara positif terhadap lingkungan yang ditunjukkan dengan garis berwarna hijau pada Gambar 64. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang(kategori dampak : Acidification)



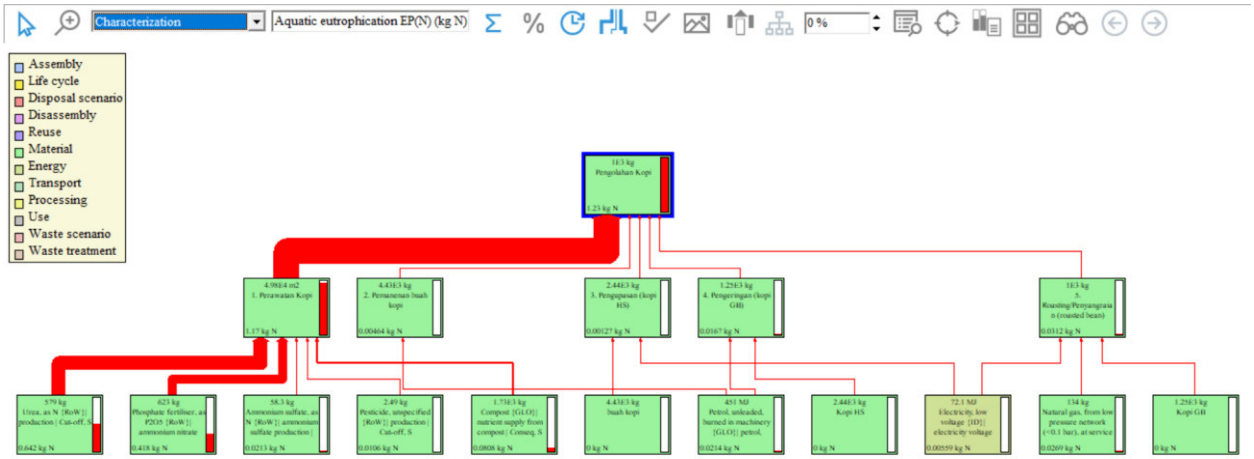
Gambar 62. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang(kategori dampak : Acidification)

Hasil pengolahan data LCIA kopi Enrekang juga menunjukkan kategori dampak eutrofikasi tanah yang sebagian besar adalah kontribusi penggunaan pupuk urea dan proses perawatan tanaman. Dampak eutrofikasi tanah yang dihasilkan dari produksi 1 ton kopi enrekang adalah 4.38 m^2.



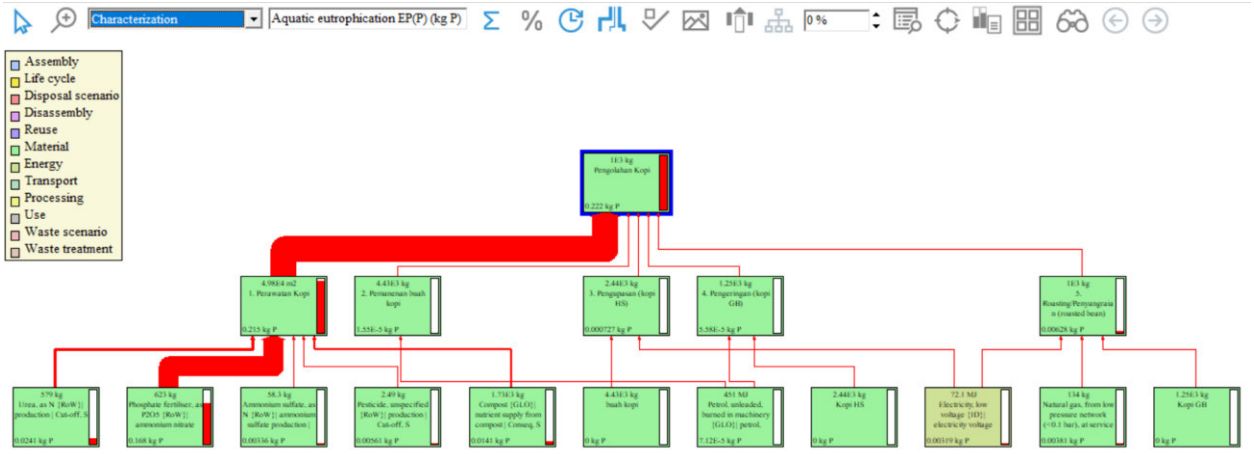
Gambar 63. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Terresterial eutrophication)

LCIA produksi kopi untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur N banyak disebabkan oleh unit proses perawatan tanaman (Gambar 65). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi kopi melainkan disebabkan oleh proses pembuatan urea sebagai pupuk. Produksi 1 ton kopi enrekang menyebabkan terjadinya eutrofikasi pada air dengan jumlah kontribusi unsur Nitrogen ke lingkungan sebanyak 1,23 kg N.



Gambar 64. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (N))

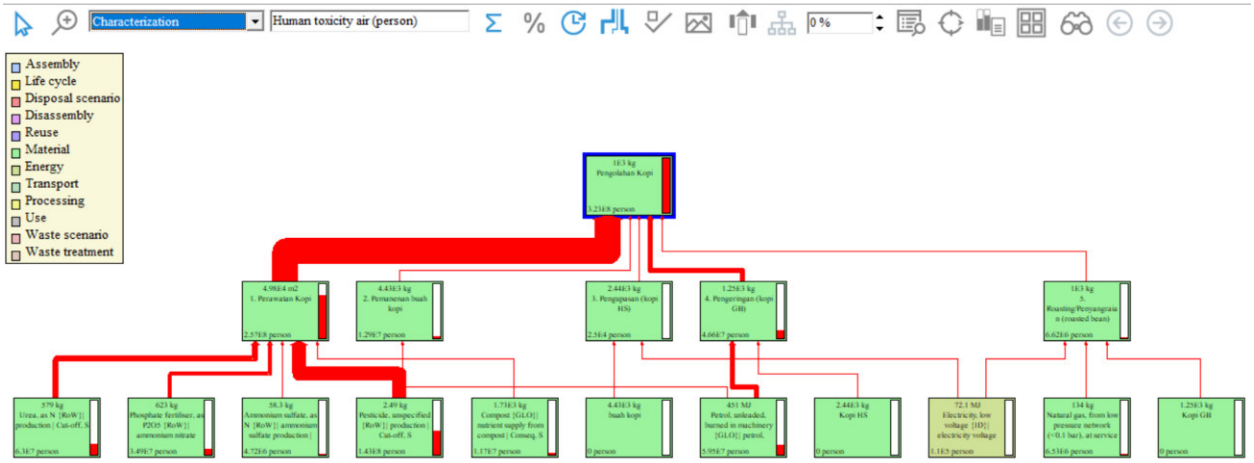
LCIA produksi kopi untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur P banyak disebabkan oleh unit proses perawatan tanaman (Gambar 66). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi kopi melainkan disebabkan oleh proses pembuatan urea sebagai pupuk. Produksi 1 ton kopi enrekang menyebabkan terjadinya eutrofikasi pada air dengan jumlah kontribusi unsur Phospat ke lingkungan sebanyak 0,222 kg N.



Gambar 65. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Aquatic eutrophication EP (P))

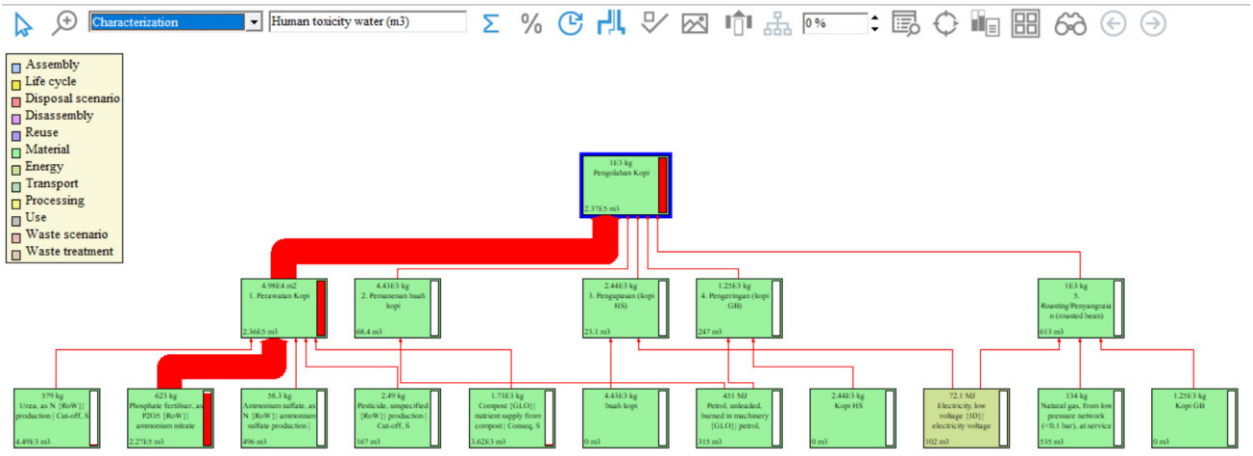
Human toxicity paling besar disebabkan oleh unit proses perawatan tanaman (Gambar 67). Penyebab tingginya dampak lingkungan tersebut dikarenakan oleh emisi produksi urea sebagai pupuk. Dampak lingkungan pada *human toxicity* melalui media udara digambarkan dengan jumlah orang yang terdampak dengan satuannya *person*/orang sedangkan dampak lingkungan human

toxicity lainnya digambarkan dengan satuan m^3 yang menggambarkan volume air atau tanah yang tercemar oleh produksi urea, pupuk fosfat, ataupun pupuk nitrogen. Emisi ke udara produksi urea ini memberikan dampak human toxicity kepada 32000 orang.



Gambar 66. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Humantoxicity Air)

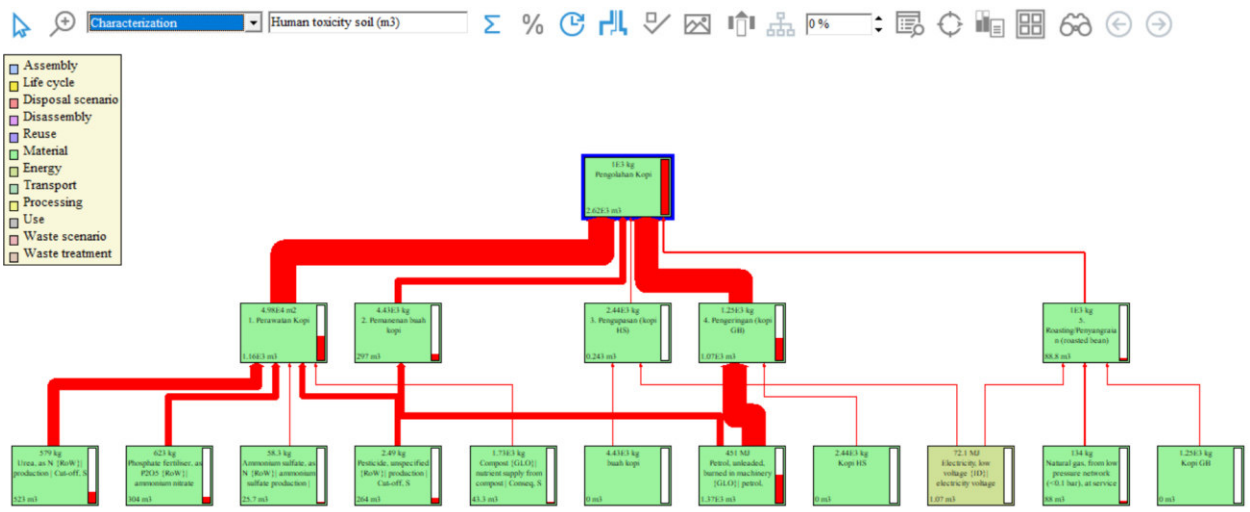
Selain human toxicity keudara, juga berpotensi menyebabkan human toxicity melalui air dengan jumlah secara total dari proses produksi 1 ton kopi enrekang adalah 23700 orang dan yang paling besar emisi produksi pupuk fosfat dengan potensi dampak terhadap 23.600 orang. (Gambar 68)



Gambar 67. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Humantoxicity water)

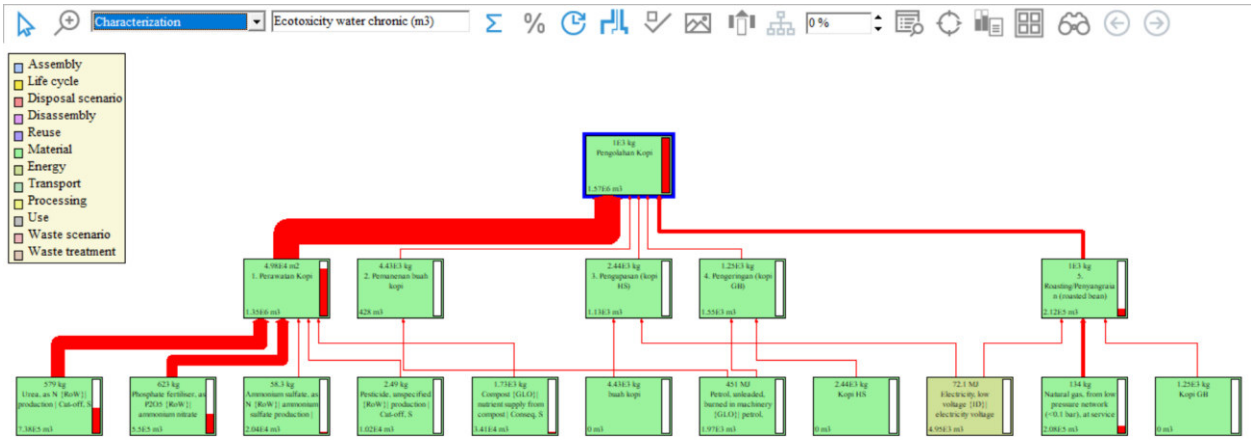
Dampak lingkungan Humantoxicity tanah selain penggunaan pupuk dalam perawatan tanaman, juga kontribusi besar dari penggunaan BBM pertalite pada proses pengeringan kopi yang diolah

dengan menggunakan mesin Haller. Pada hasil LCA menunjukkan, potensi *human toxicity* tanah bisa mencapai 2630 m^3 pada tanah (Gambar 70) lebih besar dibandingkan potensi *human toxicity* air (Gambar 69).



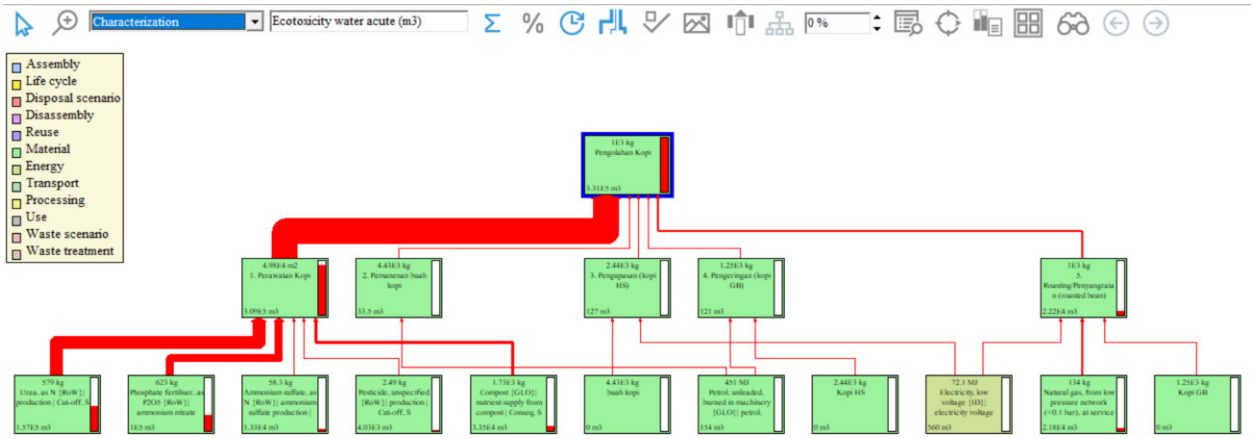
Gambar 68. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Humantoxicity soil)

Dampak lingkungan ecotoxicity water chronic dalam proses produksi 1 ton kopi enrekang diberoleh sebesar 1270 m^3 yang sebagian besar adalah kontribusi dari proses perawatan tanaman kopi dengan penggunaan pupuk urea dan phospat. Kontribusi proses perawatan tanaman adalah sebesar 1.35E6 m^3 dan selanjutnya terdapat juga kontribusi dari proses roasting, yaitu penggunaan gas sebagai bahan bakar untuk memanaskan sebesar 2.12E5 m^3. (Gambar 71).



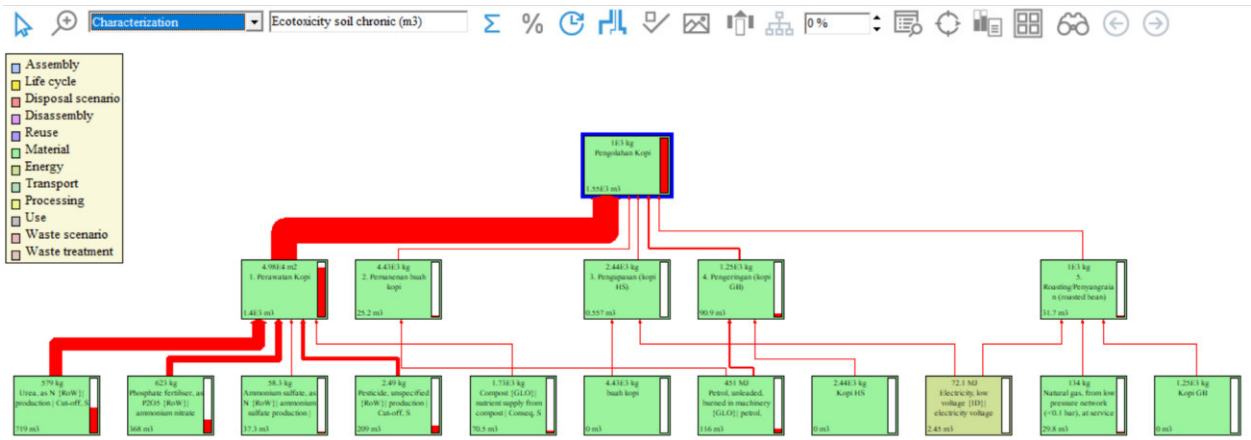
Gambar 69. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Ecotoxicity water chronic)

Dampak lingkungan ecotoxicity water acute dalam proses produksi 1 ton kopi enrekang diberoleh sebesar 3.31E5 m^3 yang sebagian besar adalah kontribusi dari proses perawatan tanaman kopi dengan penggunaan pupuk urea dan phospat. Kontribusi proses perawatan tanaman adalah sebesar 3.09E5 m^3, penggunaan pupuk organik (kompos) dalam perawatan tanaman juga memberikan dampak ecotoxicity water acute. (Gambar 72).



Gambar 70. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Ecotoxicity water acute)

Dampak lingkungan ecotoxicity soil chronic dalam proses produksi 1 ton kopi enrekang diberoleh sebesar 1,55E3 m^3 yang sebagian besar adalah kontribusi dari proses perawatan tanaman kopi dengan penggunaan pupuk urea dan phospat. Kontribusi proses perawatan tanaman adalah sebesar 4.98E4 m^3, penggunaan pestisida dalam perawatan tanaman juga memberikan dampak ecotoxicity soil chronic. (Gambar 73).



Gambar 71. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton Kopi Enrekang (kategori dampak : Ecotoxicity soil chronic)

Tabel 31 menunjukan export hasil analisis LCIA Produksi 1 ton Kopi Enrekang. Dampak lingkungan dalam produksi 1 ton Kopi Roasted Bean berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dampak *Human Toxicity* ke udara dengan nilai total sebesar 3,23E8 orang yang dihasilkan sebagian besar dari proses roasting/penyangaraian. Ecotoxicity water chronic sebesar 1,57E6 m^3 yang sebagian besar disebabkan proses roasting/penyangraian.

Global Warming 100a yang ditimbulkan dari proses produksi kopi adalah sebesar 3,05E3 $kgCO_2eq$ yang sebagian besar disebabkan proses perawatan kopi, yaitu penggunaan pupuk. *Acidification* dengan nilai total 246 m^2 sebagian besar disebabkan oleh perawatan kopi. *Terrestrial Eutrophication* dengan nilai total 438 m^2, *Aquatic Eutrophication EP* (N) sebesar 1,23 Kg N, dan terakhir adalah *Aquatic Eutrophication EP* (P) sebanyak 0,222 Kg P. Dampak lingkungan ini dapat dilihat di Tabel 31.

Tabel 32. Export hasil analisis LCIA Kopi Enrekang (Characterization)

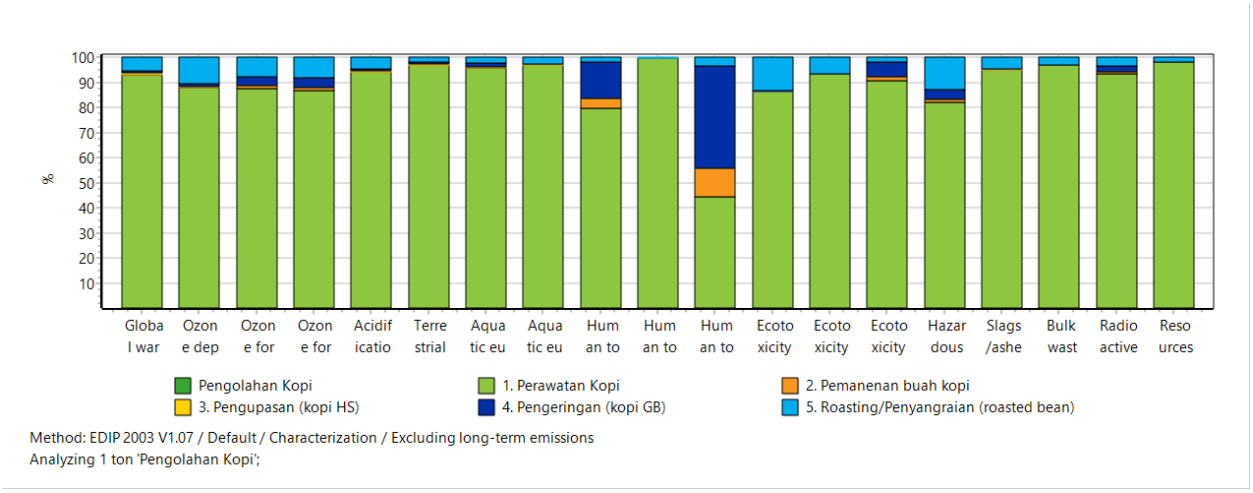
Characterization | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories: Never

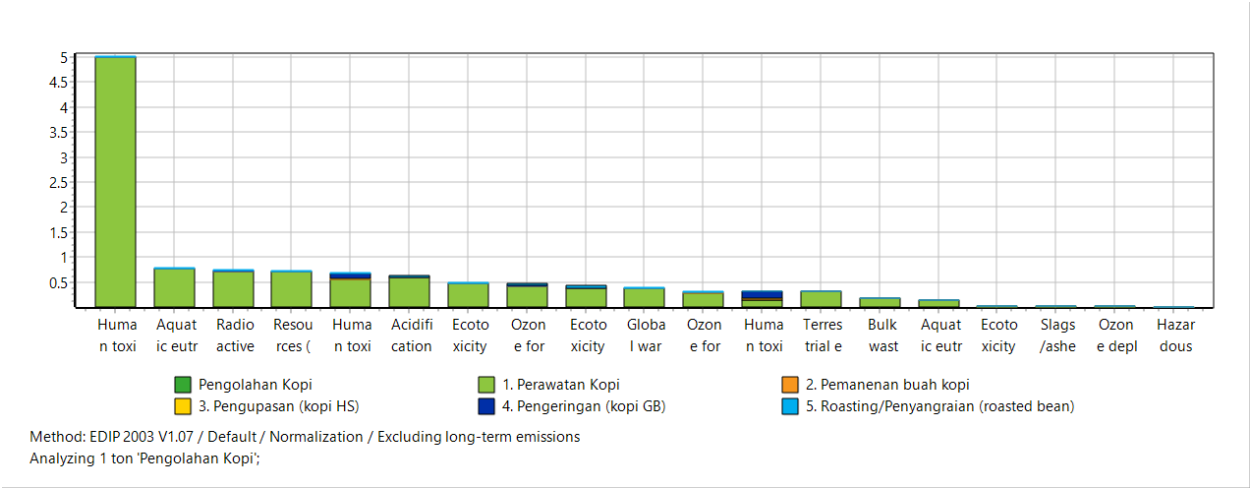
Default units | Standard | Exclude long-term emissions | Group | Per impact category

Se	Impact category	Unit	Total	Pengolahan Kopi	1. Perawatan Kopi	2. Pemanenan buah kopi	3. Pengupasan (kopi HS)	4. Pengeringan (kopi GB)	5. Roasting/Penyang
☑	Human toxicity air	person	3.23E8	x	2.57E8	1.29E7	2.5E4	4.66E7	6.62E6
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	1.57E6	x	1.35E6	428	1.13E3	1.55E3	2.12E5
☑	Ecotoxicity water acute	m3	3.31E5	x	3.09E5	33.5	127	121	2.22E4
☑	Human toxicity water	m3	2.37E5	x	2.36E5	68.4	23.1	247	613
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	1.93E4	x	1.69E4	192	25.4	693	1.51E3
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	3.05E3	x	2.84E3	8.1	5.06	29.2	167
☑	Human toxicity soil	m3	2.62E3	x	1.16E3	297	0.243	1.07E3	88.8
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	1.55E3	x	1.4E3	25.2	0.557	90.9	31.7
☑	Terrestrial eutrophication	m2	438	x	424	1.23	0.336	4.45	8.29
☑	Bulk waste	kg	246	x	238	0.0627	0.119	0.226	7.59
☑	Acidification	m2	246	x	231	0.595	0.356	2.15	11.7
☑	Slags/ashes	kg	7.35	x	6.99	0.00198	0.0057	0.00714	0.351
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	1.36	x	1.18	0.0143	0.00172	0.0516	0.114
☑	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	1.23	x	1.17	0.00464	0.00127	0.0167	0.0312
☑	Resources (all)	PR2004	0.593	x	0.581	0.000202	0.000115	0.000731	0.0115
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0.222	x	0.215	1.55E-5	0.000727	5.58E-5	0.00628
☑	Radioactive waste	kg	0.12	x	0.112	0.000788	5.11E-5	0.00284	0.00414
☑	Hazardous waste	kg	0.0524	x	0.043	0.000559	2.08E-5	0.00202	0.00683
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	0.000399	x	0.00035	1.41E-6	1.58E-7	5.09E-6	4.24E-5

Berdasarkan analisis LCI diketahui sebaran dampak lingkungan sebagian besar adalah kontribusi dari proses perawatan kopi (Gambar 74). Dampak lingkungan berasal dari proses sangrai (*roasting*) yang ada pada semua dampak. Selain kedua proses tersebut, juga proses pengeringan yang turut berkontribusi pada dampak lingkungan.



Gambar 72. Grafik hasil analisis LCIA Kopi (Characterization)



Gambar 73. Grafik hasil analisis LCIA Kopi (Normalization)

Pada gambar 75 terlihat dampak lingkungan yang terbesar adalah human toxicity water yang sebagian besar kontribusi dari proses perawatan kopi. Proses perawatan kopi juga terlihat dominan pada semua dampak lingkungan yang berpotensi ditimbulkan dari proses produksi kopi enrekang.

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Kopi Enrekang

Dampak lingkungan yang difokuskan dalam studi LCA kopi enrekang adalah Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Eutrofication Potensial (EP) dan Human EcoToxicity (HET). Proses produksi yang dilakukan analisis adalah perawatan kopi, pemanenan buah kopi, pengupasan kopi, pengeringan kopi dan penyagraian (roasting).

Produksi 1 ton kopi enrekang *roasted bean* berpotensi memberikan dampak lingkungan *global warming 100a* sebesar 3.05E3 kgCO_2eq yang paling besar dikontribusikan dari perawatan kopi. Hasil analisis LCA proses produksi kopi enrekang menunjukkan bahwa perawatan kopi memberikan kontribusi terhadap seluruh kategori dampak lingkungan yang dikaji. Perawatan kopi memberikan kontribusi besar pada dampak lingkungan pemanasan global (*global* warming), asidifikasi, eurtofikasi dan human toxicity karena adanya penggunaan pupuk urea dan $P2O_5$ yang dalam pengolahan data dengan *software* memperhitungkan mulai dari proses produksi pupuk tersebut. Proses produksi pupuk memberikan dampak terhadap lingkungan baik yang berasal dari proses produksi maupun distribusinya. Beberapa dampak lingkungan yang mungkin timbul dari proses produksi pupuk antara lain penigkatan gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkit emisi listrik, pencemaran air dari hasil buangan pengolahan air limbah, dan peningkatan konsentrasi debu (*particulate maater*) dari proses pengemasan pupuk. (Adiansyah 2019)

Produksi kopi juga akan berpotensi untuk memberikan dampak asidifikasi (*asidification*) sebesar 246 m^2 yang berpotensi dimbulkan dari perawatan kopi sebesar 231 m^2 dan dari proses roasting (penyangraian kopi) sebesar 11,7 m^2, pada proses pengeringan sebesar 2,15 m^2, pemanenan sebesar 0,595 m^2 dan proses pengupasan sebesar 0,356 m^2. Asidifikasi sebagian besar juga masih ditimbulkan oleh penggunaan pupuk pada perawatan tanaman kopi. dampak asidifikasi adalah proses peningkatan keasaman pada sistem tanah dan air. Polutan utamanya adalah NOx, SOx, NH3, dan HCl yang terdeposisi dan dapat menyebabkan kerusakan pada populasi tumbuhan dan hewan (Arena et al., 2003)

Dampak lingkungan eutrofikasi terbesar adalah *teresterial euthrophication* dengan nilai total sebesar 438 m^2 yang sebagian besar berasal dari perawatan kopi dengan penggunaan pupuk kimia sebesar 424 m^2, penyangraian (*roasting*) sebesar 8,29, pengeringan kopi sebesar 4,45 m^2, pemanenan kopi sebesar 1,23 m^2, pengupasan kopi sebesar 0,336 m^2. Dampak eutrofikasi adalah fenomena yang dapat mempengaruhi ekosistem air atau pencemaran air yang disebabkan oleh nutrien yang berlebihan ke dalam ekosistem air (Banar et al., 2009). Beberapa proses produksi kopi yang perlu menjadi perhatian karena memberikan kontribusi yang signifikan dari beberapa kategori dampak lingkungan yaitu penggunaan pupuk kimia pada perawatan tanaman kopi, penggunaan bahan bakar pada mesin haller, penggunaan energi listrik serta penggunaan gas LPG.

F. Hasil Studi LCA VCO

Perkebunan kelapa dalam (*Cocos nucifera*) Indonesia merupakan yang terluas di dunia. Luas areal perkebunan kelapa dalam di Indonesia mencapai 3,5 juta hektar (ha) dan produksi mencapai 18,3 juta ton buah kelapa, yang juga berkontribusi sekitar 30% dari total produksi dunia. Melalui pengolahan kelapa menjadi *Virgin Coconut Oil* (VCO), penambahan nilai kelapa Indonesia bisa mencapai potensi maksimal, Direktur Jenderal Perkebunan (2017). Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia Departemen Perindustrian Jakarta (2009), sudah menyatakan bahwa "Potensi tersebut perlu diolah dan menjadi produk akhir supaya bisa diekspor ke seluruh dunia dengan nilai yang baik, bukan hanya jual bahan mentah dengan nilai jual dan pendapatan yang rendah."

Berdasarkan jumlah luas areal perkebunan kelapa di Indonesia, wilayah Sumatera memiliki sekitar 30% dengan luas total sebesar 1,1 juta Ha kebun kelapa. Sumatera juga memiliki lokasi geografis lebih dekat dari beberapa negara konsumen, seperti Singapura, Cina, dan Jepang. Provinsi Sumatera Utara adalah salah satu daerah yang memiliki luas areal perkebunan kelapa terbesar di Wilayah Sumatera.

Kabupaten Nias yang terletak di Sumatera Utara adalah daerah strategis untuk memproduksi, mengolah dan memasarkan hasil olahan kelapa untuk pasar lokal dan pasar Internasional. Selain itu, pembangunan usahatani kelapa akan menguatkan kemajuan di daerah Nias dan pembangunan pertanian yang berkelanjutan di daerah Nias. Kabupaten Nias adalah kabupaten di Sumatera Utara yang memiliki potensi dan produksi kelapa terbesar kedua setelah Kabupaten Asahan (BPS, 2017).

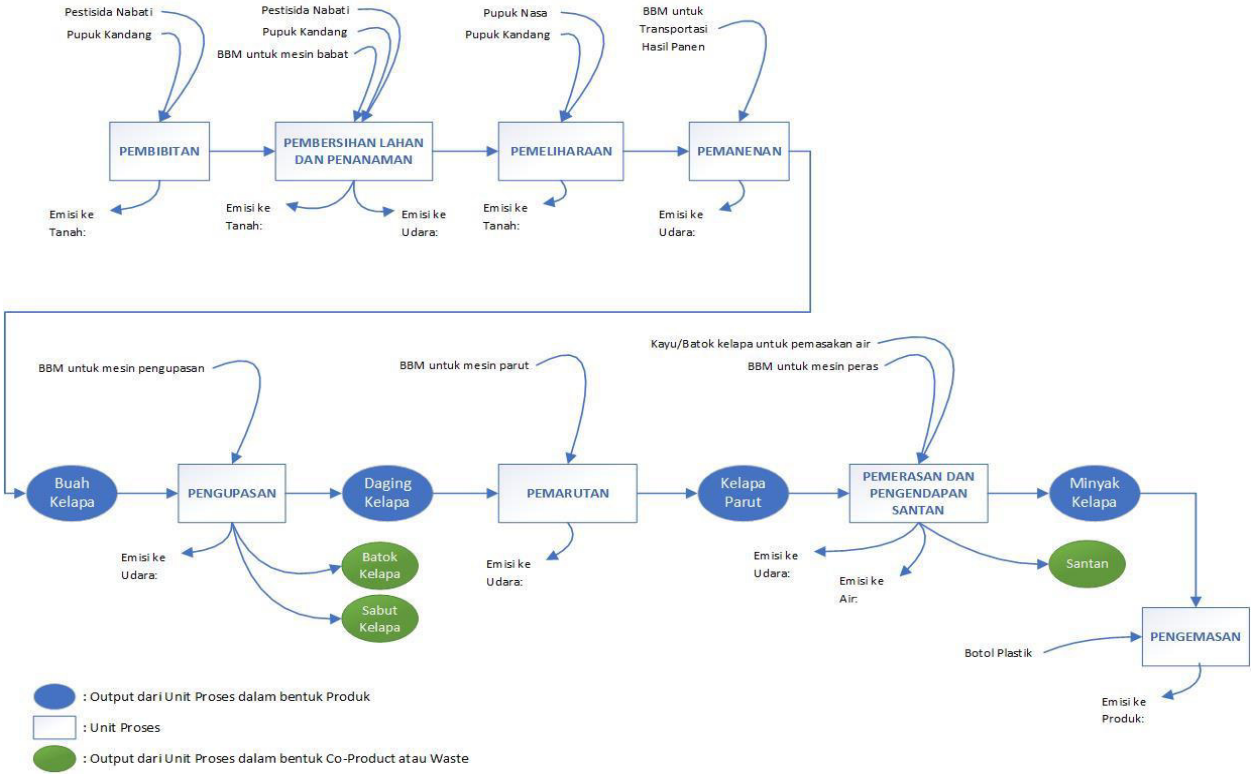
Potensi kelapa cukup besar di Kabupaten Nias, terdapat banyak petani pengolah kelapa menjadi VCO skala rumah tangga di Kabupaten ini. Petani pengolah memproduksi VCO skala rumah tangga serta memasarkan kepada masyarakat lokal.

VCO adalah produk kelapa bernilai tinggi yang tendensi permintaannya akan terus meningkat, karena market mencari produk yang sehat dan bermanfaatnya bagi manusia, *nutraceutical* dan sebagai makanan fungsional (FAO, 2006).

1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA VCO

Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis daur hidup VCO selama proses pembibitan hingga pengemasan produk VCO. Dalam tahapan analisis tersebut dilakukan identifikasi input (*resource*) dan output yang dihasilkan baik dalam bentuk *emission* maupun produk turunannya seperti sabut dan batok kelapa. Data inventori praktis menjadi acuan dalam proses identifikasi ini. Ruang lingkup dari studi penilaian daur hidup produk ini meliputi pembibitan, pembersihan lahan dan penanaman, pemeliharaan, pemanenan, pengupasan, pemarutan, pemerasan dan pengendapan santan, hingga pengemasan produk VCO. Dalam hal penentuan ruang lingkup studi LCA VCO, functional unit yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 1 ton VCO yang dihasilkan dalam sistem proses produksi. Hal kedua yang dilakukan dalam pembuatan ruang lingkup adalah penentuan batasan sistem produksi VCO. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan

pembatasan *cradle to gate* dari proses Pembibitan sampai dengan proses pengemasan produk VCO (*cradle to gate*). Batasan ruang lingkup studi LCA untuk VCO diilustrasikan di dalam Gambar 76.



Gambar 74. Model dan ruang lingkup studi LCA VCO

2. Analisis Data Persediaan VCO

Rangkuman hasil analisis persediaan terhadap tahapan produksi yang masuk dalam ruang lingkup study LCA VCO ini adalah sebagai berikut:

1) Pembibitan

Bibit yang dipakai dari buah kelapa tua segar yang bermutu baik. Buah yang dijadikan bibit berasal dari kelapa yang jatuh dari pohon sendirinya dan yang bermutu baik untuk disemai di pembibitan. Pembibitan kelapa dilakukan dengan dengan cara menggantung kelapa hingga tunas kelapa muncul. Umumnya pembibitan dilakukan tanpa pupuk

2) Pembersihan lahan dan penanaman

Pembersihan lahan dilakukan secara manual dengan membabat rumput menggunakan parang atau sabit. Produsen tidak menggunakan mesin babat.

3) Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman kelapa dilakukan hanya dengan memanfaatkan sabut kelapa yang dipanen lalu dibakar di sekitar area pohon. Produsen tidak menggunakan pupuk. Menurut produsen, penggunaan pupuk hanya ditujukan kepada pohon yang pertumbuhannya tidak baik.

4) Pemanenan dan pengupasan

Panen buah kelapa tua segar yang bermutu baik. Kelapa yang dipanen lalu akan dikupas dengan alat sederhana berupa kayu yang telah diruncingkan ujung, lalu kayu tersebut ditancapkan ke tanah.

5) Pemarutan

Pemarutan dilakukan dengan alat parut tradisional yang berupa alat besi yang memiliki gerigi seperti gergaji. Alat besi tersebut ditempelkan ke bangku kecil. Orang yang melakukan pemarutan akan duduk di bangku kecil tersebut. Pemarutan dilakukan dengan cara membelah kelapa menjadi 2 bagian lalu kelapa yang telah dibelah tersebut digerus dengan alat parut tradisional. Proses pemarutan mengikuti kontur isi kelapa sehingga gerakan tangan akan membentuk setengah lingkaran. Alat ini digunakan oleh 5 Produsen yang ada di Desa Nonozara

6) Pemerasan dan pengendapan santan

Selesai dengan proses pemarutan kelapa, dilanjut dengan proses pemerasan santan kelapa. Proses ini dimulai dengan memasak air terlebih dahulu untuk dicampurkan ke kelapa parut. Air hangat yang ditambahkan sebanyak 1 liter untuk setiap 12 butir kelapa. Air hangat tersebut dipercaya oleh Produsen sebagai media untuk mempermudah proses pemerasan santan. Produsen akan mengaduk kelapa parut setelah air hangat ditambahkan. Alat peras santan atau yang disebut dengan nama *lazi* terdiri dari 2 bagian yaitu kayu lazi yang merupakan alat statis atau bagian yang tidak bergerak dalam proses pemerasan santan dan bambu lazi yang merupakan alat dinamis yang akan bergerak untuk memeras santan. Kayu lazi juga terdiri dari 2 bagian yaitu bagian vertikal lazi yang fungsinya sebagai penopang dan tumpuan bambu lazi ketika melakukan gerakan jepit dan bagian horizontal lazi sebagai alas dari bungkusan kelapa parut serta penahan gerakan jepit lazi

Lazi dipersiapkan dengan cara menempelkan atau merekatkan batang lazi ke tiang penyangga rumah dengan tali atau kawat besi. Selanjutnya Produsen akan meletakkan kelapa parut ke lembaran karung plastik. Karung plastik tersebut akan membungkus seluruh kelapa sebelum pemerasan. Tahap selanjutnya Bungkusan kelapa parut diletakkan pada bagian horizontal atau datar *lazi*. Batang bambu lazi dimasukkan ke lubang pada kayu lazi yang terikat pada tiang rumah. Pemerasan dilakukan dengan menjepit bungkusan kelapa parut tersebut dengan batang bambu lazi. Santan akan menetes dari bagian horizontal lazi ke wadah penampungan berupa ember atau baskom. Gerakan tersebut akan dilakukan secara berulang hingga semua kelapa parut telah diperas. Santan yang telah dihasilkan akan ditambahkan sebanyak 1 sendok garam. Satu sendok garam ini dipercaya oleh produsen membantu proses pengeluaran minyak dari santan. Selanjutnya santan ini akan didiamkan selama 1 hingga 2 hari untuk mengendapkan air. Jika minyak sudah keluar, minyak tersebut akan diambil dengan selang bening ukuran

kecil. Minyak tersebut lalu akan disaring untuk membuang ampas santan yang ada pada minyak. Untuk membuat VCO semakin bening, produsen akan menjemur VCO pada wadah botol plastik

7) Pengemasan

VCO dikemas ke dalam botol plastik air kemasan berukuran 600 ml. Minyak tersebut bisa dijual dengan kemasan tersebut

Tabel 32 menunjukan hasil inventori pada unit proses pembibitan. Dapat dilihat bahwa untuk menghasilkan 1000 liter VCO dibutuhkan 155 buah kelapa sebagai bibit. Namun, untuk proses pembibitan Produsen tidak menggunakan pupuk dan pestisida. Dari pembibitan ini dihasilkan 155 Tunas Kelapa. Jumlah 155 kelapa ini didapatkan melalui proses penghitungan dengan menggunakan data yang tersedia. Data yang tersedia adalah hasil VCO dari satu butir kelapa, jumlah kelapa yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1000 liter VCO, jumlah kelapa yang dipanen dari satu pohon dalam satu kali proses panen dan frekuensi panen.

Tabel 33. Inventori Pembibitan Kelapa

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Buah Kelapa	unit	155
Pupuk	kg	0
Pestisida	kg	0
Output		
Tunas kelapa		155

Tabel 34. Inventori Pembersihan Lahan dan Penanaman Kelapa

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Tunas Kelapa	unit	155
Pupuk	kg	0
Pestisida	kg	0
BBM Mesin Babat	liter	0
Output		
Tunas kelapa tertanam		155

Pada proses pembersihan lahan dan penanaman, tunas kelapa ditanam tanpa menggunakan pupuk atau pestisida (Tabel 33). Bahkan pembersihan lahan tidak dilakukan dengan mesin babat rumput.

Tabel 35. Inventori Pemeliharaan Kelapa

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Pohon Kelapa	unit	155
Pupuk	kg	0
Pestisida	kg	0
Sabut kelapa sebagai pupuk	kg	12412,40
BBM Mesin Babat	liter	0
Output		
Pohon Kelapa		155

Pemeliharaan pohon kelapa hanya dilakukan dengan cara memanfaatkan sabut kelapa dari setiap buah kelapa yang dipanen dari kebun. Dari hasil perhitungan, jika semua sabut kelapa dimanfaatkan maka sekitar 12412,40 kg sabut kelapa menjadi nutrisi tanah di kebun kelapa (Tabel 3). Sabut kelapa ini dimanfaatkan dengan cara membakarnya disekitar pohon kelapa. Data sabut kelapa yang dimanfaatkan sebagai pupuk didapatkan melalui proses penghitungan data yang tersedia. Data yang tersedia adalah bobot sabut kelapa dari satu butir kelapa dan jumlah kelapa yang dipanen untuk menghasilkan 1000 liter VCO lalu diasumsikan semua sabut kelapa dimanfaatkan sebagai pupuk.

Tabel 36. Inventori Pemanenan dan Pengupasan Kelapa

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
BBM Transportasi	liter	99,03
Output		
Buah Kelapa	kg	6652,6
Waste		
Sabut Kelapa	kg	12412,4

Untuk mentranspotasikan buah kelapa sebanyak 6652,6 kg, sepeda motor transportasi kelapa tersebut mengkonsumsi sebanyak 99,03 liter BBM. Data ini kami peroleh dengan mengasumsikan

konsumsi bensin sepeda motor adalah 35 km/liter dan dihitung dengan data yang tersedia. Data yang tersedia adalah jarak kebun ke tempat pengolahan, kapasitas angkut sepeda motor, dan jumlah kelapa yang dipanen untuk 1000 liter VCO.

Tabel 37. Inventori Pemarutan Kelapa

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Buah kelapa tanpa sabut	kg	6652,6
Output		
Daging kelapa	kg	3466,35
Waste		
Air kelapa	kg	1773,2
Tempurung kelapa	kg	1773,2

Pemarutan kelapa hanya menggunakan alat tradisional Desa Nonozara. Dari proses pemarutan buah kelapa tanpa sabut sebanyak 6652,6, dihasilkan daging kelapa sebanyak 3466,35 kg, 1773,2 kg air kelapa dan 1773,2 tempurung kelapa. Data ini didapatkan dari pengukuran di lapangan dengan asumsi ukuran kelapa yang dipakai berbobot 1,1 kg.

Tabel 38. Inventori Pemerasan dan Pengendapan Santan Kelapa

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Air	liter	1444,31
Gas	kg	17,33
Karung Plastik	kg	361,08
Garam	kg	11,55
Output		
VCO	kg	1000

Dari pemerasan dan pengendapan santan, input yang dibutuhkan adalah sebanyak 1444,31 liter air, gas sebanyak 17,33 kg, karung plastik sebanyak 361,08 kg dan garanm sebanyak 11,55 kg. Data air didapatkan melalui proses penghitungan dengan data yang tersedia. Data yang tersedia adalah kebutuhan air untuk 12 butir kelapa dan jumlah kelapa yang dipanen untuk menghasilkan

1000 liter VCO. Data gas didapatkan melalui proses penghitungan data yang tersedia dengan bantuan referensi lain. Data yang tersedia adalah jumlah air yang dibutuhkan untuk produksi 100 liter VCO sedangkan referensi yang digunakan adalah data jumlah gas yang dibutuhkan untuk memasak 1 liter air. Data karung plastik ditentukan melalui proses penghitungan data yang tersedia dan asumsi. Data yang tersedia adalah jumlah kelapa yang diproses dari satu siklus produksi (12 butir kelapa dalam 1 siklus), bobot perkiraan 1 lembar karung plastik (1 kg) dan asumsi produsen bahwa 1 lembar karung plastik hanya bertahan untuk 3-4 siklus produksi dan jumlah kelapa yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1000 liter VCO. Untuk data garam diperoleh melalui penghitungan data yang tersedia dan asumsi berat satu sendok garam. Data yang tersedia adalah jumlah kelapa yang diproses dari satu siklus produksi, jumlah kelapa yang dibutuhkan untuk produksi 1000 liter VCO sedangkan asumsi bobot dari satu sendok garam adalah 0,008 kg.

Tabel 39. Inventori Pengemasan VCO

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
VCO	liter	1000
Botol Plastik	kg	23
Output		
VCO dalam kemasan	liter	1000

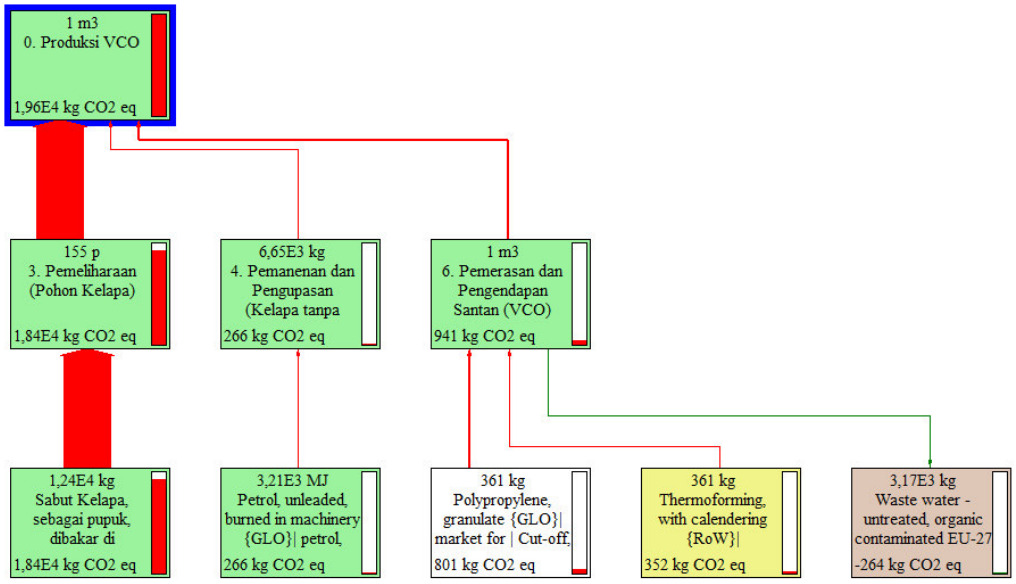
Pengemasan 1000 liter VCO membutuhkan 23 kg botol plastik. Data kebutuhan botol plastik ditentukan dengan cara penghitungan data yang tersedia. Data yang tersedia adalah kapasitas botol plastik yang digunakan (0,6 liter) dan data bobot 1 unit botol plastik (0,014 kg).

3. Kajian Dampak Lingkungan

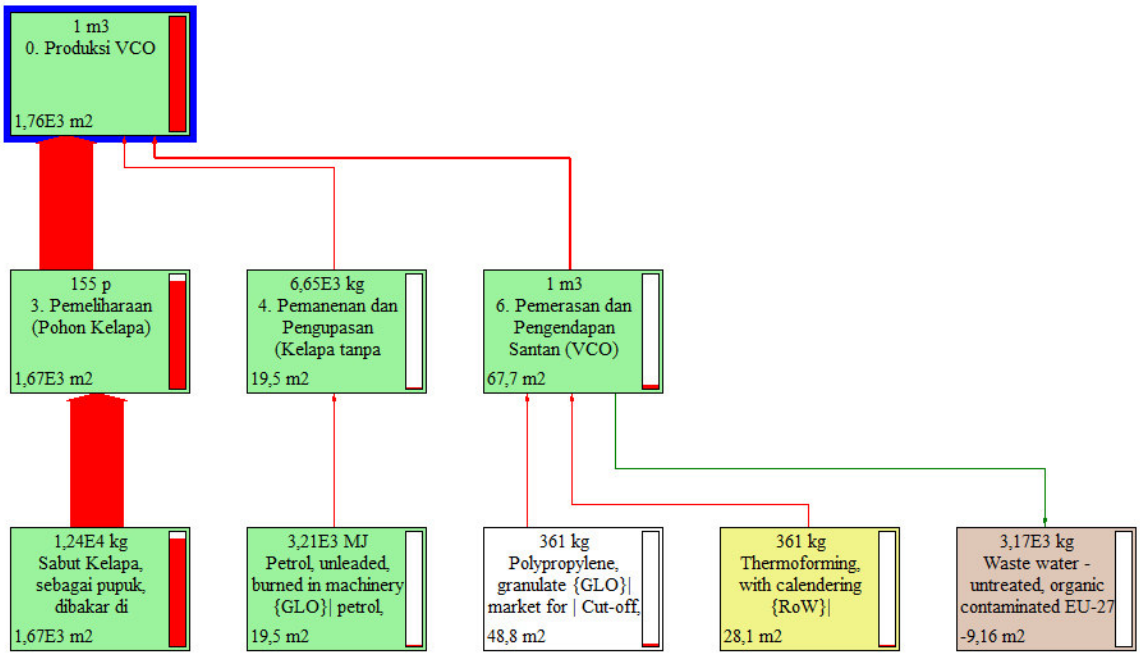
Sesuai dengan hasil pengolahan data software (network, impact assessment), kategori dampak yang dikaji dalam study LCA Produksi VCO adalah sebagai berikut:

1. *Global Warming Potential* (GWP)
2. *Acidification Potential* (AP)
3. *Eutrofication Potensial* (EP)

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada produksi 1 ton VCO, diperoleh hasil analisis dampak lingkungan produksi kopi di Nias, Sumatera Utara menunjukkan bahwa dampak lingkungan potensial pemanasan global paling banyak dikontribusi oleh unit proses pemeliharaan dengan jumlah kontribusi yaitu 18000 kg CO_2 eq (Gambar 77). Penyebab utama dari tingginya emisi karbondioksida adalah pembakaran sabut kelapa di lingkungan kebun yang dimaksudkan untuk pupuk pohon kelapa

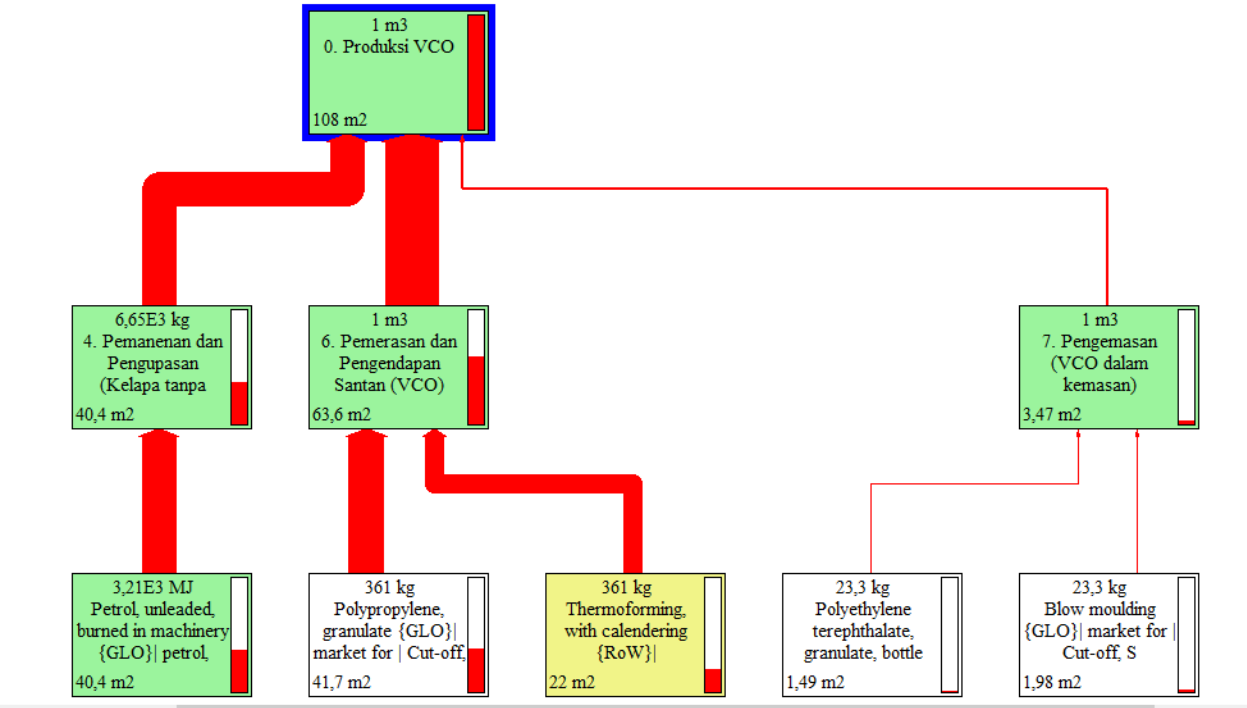


Gambar 75. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO(kategori dampak : Global Warming Potential)



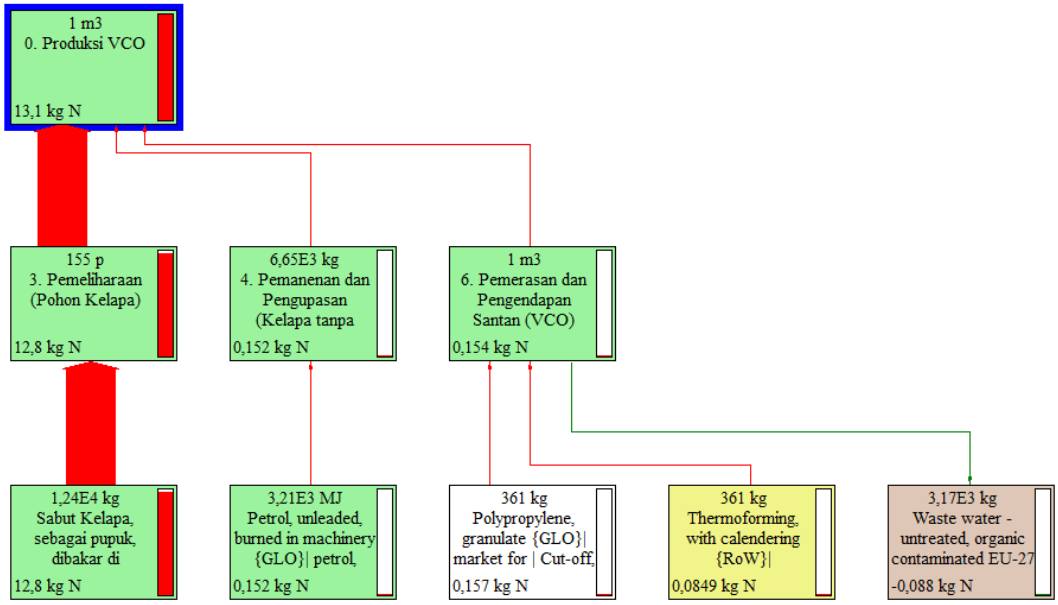
Gambar 76. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Acidification)

Untuk dampak lingkungan Asidifikasi, banyak disebabkan oleh unit proses pemeliharaan (Gambar 78). Dampak lingkungan tersebut adalah emisi langsung dari produksi VCO yang disebabkan oleh pembakaran sabut kelapa. Produksi VCO ini menyebabkan terjadinya asidifikasi lingkungan seluas 1760 m^2.



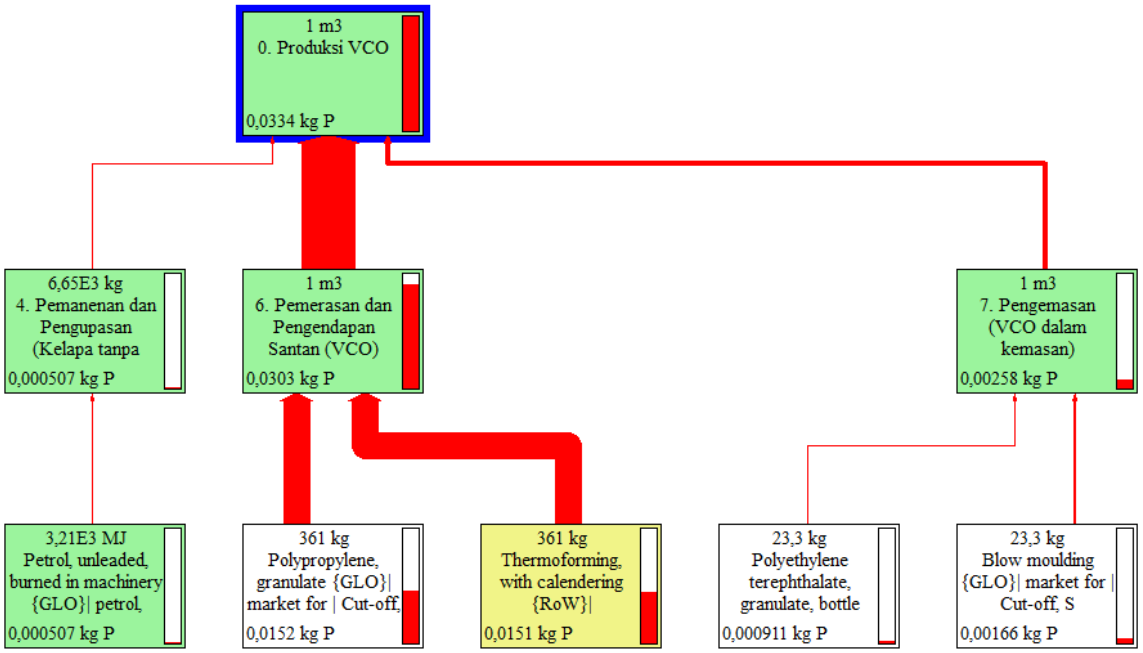
Gambar 77. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Terrestrial Eutrophication)

LCIA produksi VCO juga menunjukkan bahwa dampak lingkungan eutrofikasi tanah banyak disebabkan oleh unit proses pemerasan dan pengendapan santan (Gambar 79). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari VCO melainkan disebabkan oleh proses pembuatan karung plastik. Produksi VCO ini menyebabkan terjadinya eutrofikasi tanah seluas 108 m^2.



Gambar 78. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP (N))

LCIA produksi VCO untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur N banyak disebabkan oleh unit proses pemeliharaan (Gambar 80). Dampak lingkungan tersebut adalah emisi langsung dari produksi VCO yang disebabkan oleh pembakaran sabut kelapa untuk tujuan meningkat unsur hara tanah kebun kelapa. Produksi VCO ini menyebabkan terjadinya eutrofikasi pada air dengan jumlah kontribusi unsur Nitrogen ke lingkungan sebanyak 13,1 kg



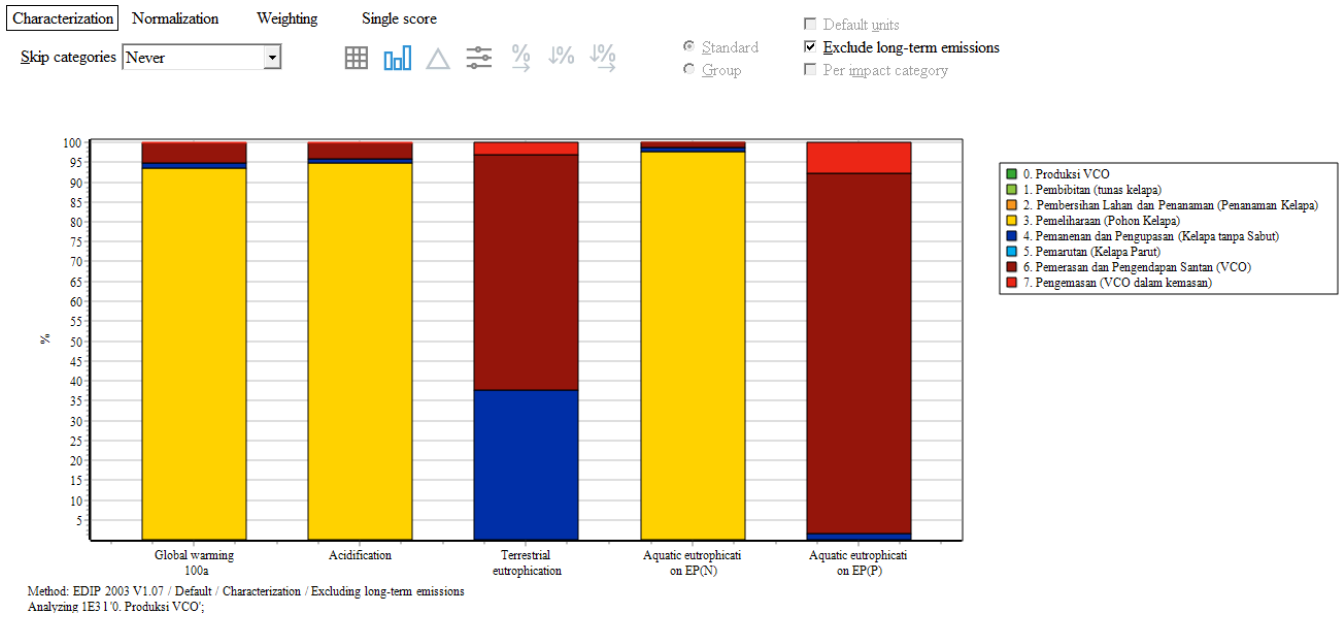
Gambar 79. Hasil analisis LCIA produksi 1000 liter VCO (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP (P))

LCIA produksi VCO untuk dampak lingkungan eutrofikasi air yang disebabkan oleh unsur P banyak disebabkan oleh unit proses pemerasan dan pengendapan santan (Gambar 81). Dampak lingkungan tersebut bukanlah emisi langsung dari produksi VCO melainkan disebabkan oleh proses pembuatan karung plastik yang dipakai oleh produsen sebagai media untuk pemerasan santan dari kelapa. Produksi VCO ini menyebabkan terjadinya eturofikasi pada air dengan jumlah kontribusi unsur Phospor ke lingkungan sebanyak 0,0334 kg.

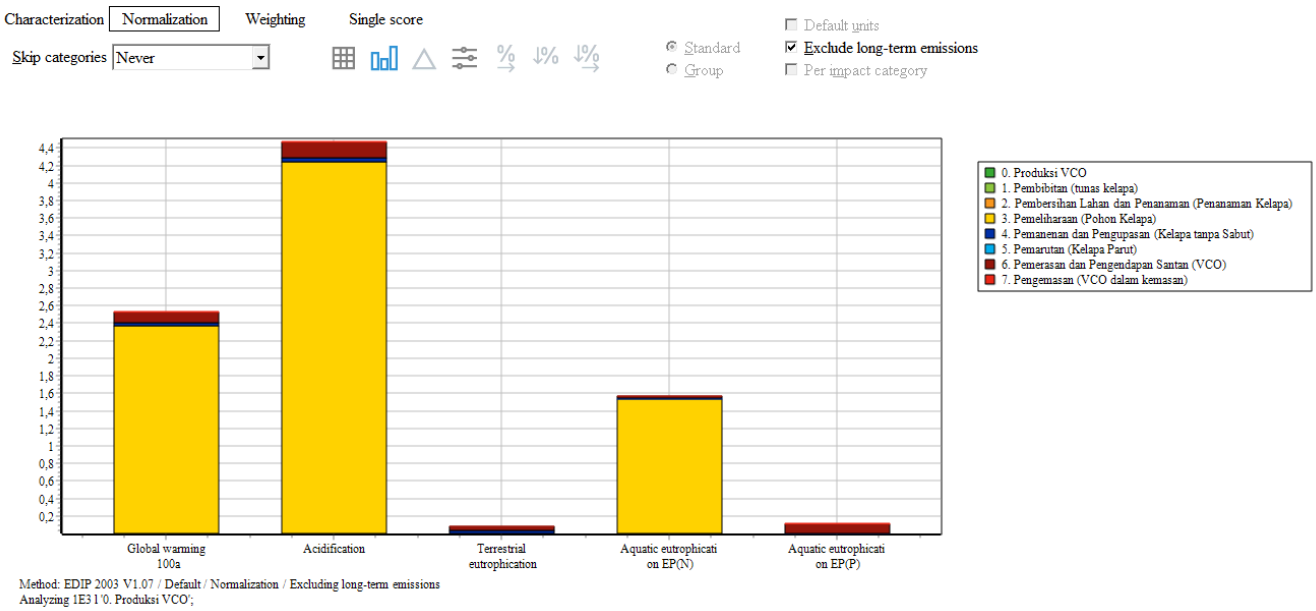
Tabel 40. Export hasil analisis LCIA Produksi VCO (dampak)

Sel	Impact category	Unit	Total	0. Produksi VCO	1. Pembibitan (tunas kelapa)	2. Pembersihan	3. Pemeliharaan	4. Pemanenan dan	5. Pemarutan (Kelapa	6. Pemerasan dan	7. Pengemasan
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	1,96E4	x	x	x	1,84E4	266	x	941	53,9
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	7,75E-5	x	x	x	x	4,62E-5	x	2,79E-5	3,43E-6
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	1,39E4	x	x	x	x	6,3E3	x	7,27E3	340
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	1,02	x	x	x	x	0,469	x	0,526	0,0242
☑	Acidification	m2	1,76E3	x	x	x	1,67E3	19,5	x	67,7	4,4
☑	Terrestrial eutrophication	m2	108	x	x	x	x	40,4	x	63,6	3,47
☑	Aquatic eutrophication EP(N	kg N	13,1	x	x	x	12,8	0,152	x	0,154	0,0145
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,0334	x	x	x	x	0,000507	x	0,0303	0,00258
☑	Human toxicity air	person	4,51E8	x	x	x	2,32E5	4,24E8	x	2,64E7	1,33E6
☑	Human toxicity water	m3	4,69E3	x	x	x	0,985	2,24E3	x	2,1E3	344
☑	Human toxicity soil	m3	1,04E4	x	x	x	389	9,73E3	x	204	29,4
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	1,01E5	x	x	x	x	1,4E4	x	8,09E4	5,86E3
☑	Ecotoxicity water acute	m3	2,94E4	x	x	x	x	1,1E3	x	2,69E4	1,37E3
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	1,78E3	x	x	x	x	826	x	887	62,2
☑	Hazardous waste	kg	0,0246	x	x	x	x	0,0183	x	0,00574	0,000537
☑	Slags/ashes	kg	3,89	x	x	x	x	0,0648	x	3,14	0,682
☑	Bulk waste	kg	98,4	x	x	x	x	2,06	x	87,4	8,87
☑	Radioactive waste	kg	0,0478	x	x	x	x	0,0258	x	0,0196	0,0024
☑	Resources (all)	PR2004	0,151	x	x	x	x	0,00664	x	0,139	0,00556

Tabel 39 menunjukkan export hasil analisis LCIA VCO. Dampak lingkungan dalam produksi 1000 liter VCO berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dampak *Global Warming* 100a dengan nilai terbesar disumbangkan masih pada unit proses pemeliharaan (18400 kg CO_2 eq). Kategori dampak berikutnya adalah *Acidification* dengan nilai total 1760 m^2, *Terrestrial Eutrophication* dengan nilai total 108 m^2, *Aquatic Eutrophication EP* (N) sebesar 13,1 Kg N, dan terakhir adalah *Aquatic Eutrophication EP* (P) sebanyak 0.0334 Kg P.



Gambar 80. Grafik hasil analisis LCIA Produksi VCO (Characterization)



Gambar 81. Grafik hasil analisis LCIA Produksi VCO (Normalization)

Normalisasi LCA menunjukkan bahwa dampak lingkungan terbesar produksi VCO adalah *Acidification* (Gambar 82, Gambar 83). Dampak lingkungan ini disebabkan oleh pemeliharaan pohon kelapa dengan cara membakar sabut kelapa.

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Produksi VCO

Berdasarkan analisis kontribusi, kontributor terbesar untuk dampak lingkungan potensi pemanasan global dan asididikasi/pengasaman lingkungan adalah proses pemeliharaan tanaman yang disebabkan oleh pembakaran sabut kelapa di kebun. Kontributor terbesar untuk eutrofikasi adalah pengunaan BBM untuk transportasi hasil panen, pemeliharaan pohon kelapa dan penggunaan karung sebagai media untuk pemerasan santan. Unit-unit proses tersebut bisa dilakukan perbaikan sehingga dampak lingkungan bisa dikurangi.

Perbaikan dari unit proses pemeliharaan yang paling mudah adalah tidak melakukan pembakaran sabut kelapa di kebun kelapa. Ada baiknya para produsen hanya membiarkan sabut kelapa mengalami proses penguraian secara alami. Perbaikan dari sisi konsumsi BBM bisa dilakukan dengan cara meningkatkan kapasitas kendaraan angkut atau sepeda motor dengan cara menambahkan suatu alat atau modifikasi kendaraan sepeda motor memiliki wadah angkut yang mampu menggangkut lebih dari kapasitas saat ini yaitu 20 butir kelapa. Dari sisi penggunaan karung, produsen bisa juga meningkatkan masa pakai karung lebih dari 4 siklus produksi untuk mengurangi dampak lingkungan atau mengganti proses pemerasan dengan menggunakan kain yang tahan untuk proses produksi yang panjang.

G. Hasil Studi LCA Gula Aren

Aren (*Arenga pinnata*) merupakan salah satu jenis tanaman palma yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia, berdasarkan data Direktorat Jendral perkebunan Kementrian Pertanian tahun 2011 Indonesia memiliki luas areal tanaman aren sebesar 66.444.ha. Tanaman aren merupakan sumber bahan pangan yang potensial sehingga sering dijuluki sebagai pohon kehidupan karena hampir seluruh bagian memberi manfaat mulai dari akar, batang, ijuk, mayang daun/ lidi, buah dan dapat diolah menjadi produk turunan (Lolowang, 2012). Agroindustri aren di Indonesia berpotensi untuk dikembangkan, baik ditinjau dari ketersediaan bahan baku, tenaga kerja, proses produksi maupun peluang pasar karena melibatkan petani dan tenaga kerja yang cukup besar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa agroindustri aren memiliki nilai strategis dilihat dari aspek ekonomi, sosial karena tersebar hampir diseluruh wilayah pedesaan dan berskala kecil. (Warsito *et al*, 2012; Mahmud, 1991; Kindangen *et al* 2001 dalam Lolowang, 2012).

Aren *(Arenga pinata)* termasuk suku *Arecaceae* (pinang-pinangan), merupakan tumbuhan biji tertutup *(Angiospermae)* yaitu biji buahnya terbungkus oleh daging buah. Tanaman atau pohon aren hampir mirip dengan pohon kelapa *(Cocus nucivera)*. Namun pohon kelapa dan pohon aren mempunyai perbedaan pada batangnya. Pohon kelapa memiliki batang pohon yang bersih, yaitu pelapah daun dan kapasnya mudah di ambil sedangkan pohon aren memiliki batang yang sangat kotor karena batangnya terbalut ijuk yang warnanya hitam dan sangat kuat sehingga pelapah daun yang sudah tua pun sangat sulit untuk diambil atau dilepas dari batangnya.

Hasil utama tanaman aren adalah nira yang dapat diolah menjadi gula aren. Produk gula aren merupakan manfaat utama dari pohon aren (Lay dan Heliyanto, 2011). Gula aren merupakan komoditi yang memiliki potensi besar sebagai alternative bahan pemanis alami dan saat ini makin populer dikonsumsi masyarakat. Keunggulan gula aren dilihat dari segi kandungan gizi memiliki kadar protein, lemak, kalium dan fosfor. Jika dibandingkan dengan gula tebu kandungannya lebih tinggi. Kelebihan lainnya gula aren tidak mengandung bahan kimia dan bisa menjadi obat sehingga tidak membahayakan bagi penderita diabetes (Warsito, 2012). Selain daripada itu untuk menghasilkan gula aren yang berkualitas baik, maka harus dipastikan nira yang dihasilkan memiliki pH 6 - 7.5 dan kadar brix diatas 17% (Ho *et al*., 2008)

Kebutuhan masyarakat terhadap gula aren dalam bentuk padat dengan bentuk cair sama tingginya, karena memiliki kegunaan yang sama yaitu untuk proses pembuatan makanan dan minuman. Pengusaha gula aren memproduksi dalam bentuk cair dan padat, sedangkan masyarakat lebih banyak memilih gula aren dalam bentuk padat karena lebih mudah penyimpanannya dan tahan lebih lama dibandingkan dengan gula aren dalam bentuk cair (Soeseno, 2000:32).

Seiring dengan meningkatnya permintaan dan manfaat yang potensial maka usaha gula aren perlu dikembangkan. Tentu saja strategi pengembagannya tidak hanya berorietasi pada peningkatan produktivitas, melainkan juga meninternalisasikan aspek keberlanjutan (*sustainability*) bagi lingkungan dan aman dikonsumsi (*food safety*). Maka dari itu, kajian ini mengambil contoh pengolahan gula aren sebanyak 5 petani di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka. Pertimbangan

pengambilan sample ini juga memencermati fenomena produktivitas yang tinggi dari Desa Lana dan Desa Ponre, Kecamatan Wolo sebagai pemasok gula aren terbesar di Sulawesi Tenggara. Usaha pengolahan nira menjadi gula aren dijalankan secara sederahana oleh masyarakat sekitar. Secara substansi, pengolahan nira menjadi gula aren sebagaimana dilakukan oleh 5 petani yang menjadi unit analisis dalam kajian ini tidaklah jauh berbeda.

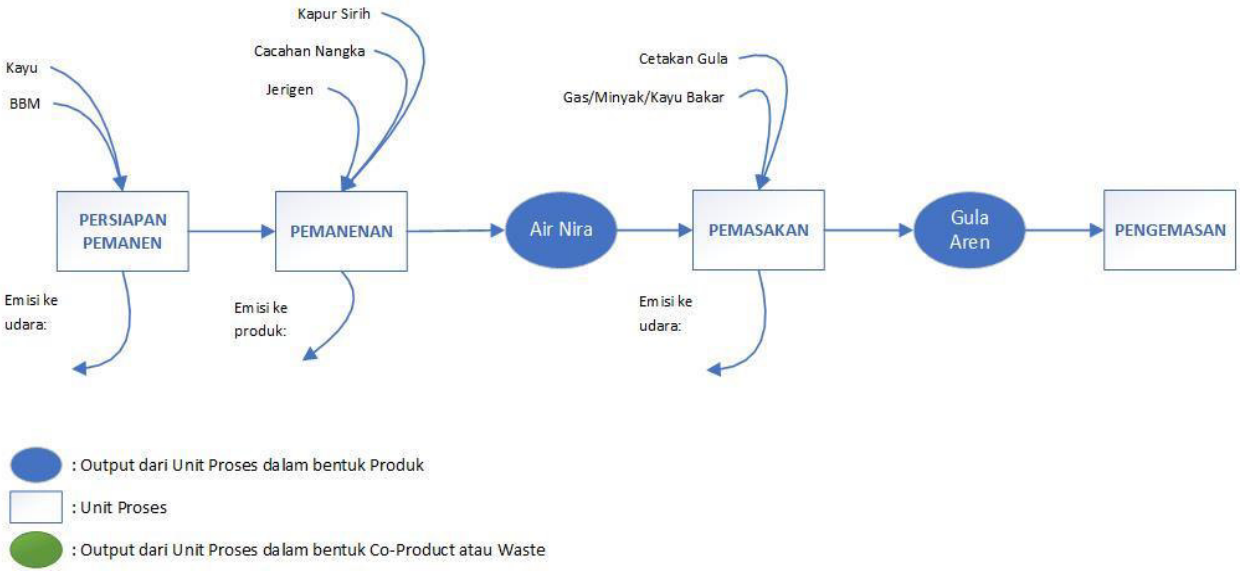
Tahapan yang dilakukan relatif seragam dimulai dari proses persiapan pemanenan, pemanenan, pemasakan, hingga pengemasan. Akan tetapi dalam setiap proses tersebut pasti ada hal yang menjadikan gula aren yang diproduksi oleh masing – masing petani memiliki input tersendiri. Sebut saja mulai dari proses pemanenan. Ada petani yang menggunakan kendaraan bermotor untuk melakukan pemanen ada yang hanya dengan berjalan kaki seperti yang dilakukan oleh Pak Samsudin dan Pak Saharing di Desa Lana. Selanjutnya, pada tahap pemasakan input berupa bahan bakar biomassa seperti kayu bakar, tentu tidak sama antar petani. Sebab, desain tungku pemasakan yang dibuat dari tanah liat menjadi determinan dalam menentukan konsumsi kayu bakar. Semakin besar tungku dan semakin banyak keretakan di dalam tungku pemasak, maka efisiensi termal semakin rendah. Akibatnya, jumlah kayu bakar yang diperlukan akan semakin banyak. Hasil studi terkait efisiensi tungku sebagaimana dilansir oleh Berkeley Air Monitoring Group (2012), menyebutkan bahwa efisiensi tungku sangat dipengaruhi oleh perambatan panas yang diserap oleh dinding tungku. Semakin sedikit panas yang diserap di dinding berarti tingkat efisiensi tungku semakin baik.

1. Tujuan dan Ruang Lingkup LCA Gula Aren

Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis daur hidup gula aren dimulai dari proses persiapan pemanenan air nira sampai dengan proses pengemasan gula aren. Dalam tahapan analisis tersebut dilakukan identifikasi input (*resource*) dan output yang dihasilkan baik dalam bentuk *emission* maupun *human toxicity* yang kemungkian akan muncul dari proses pemasakan gula aren.

Data inventori praktis menjadi acuan dalam proses identifikasi ini. *Scope* atau disebut dengan ruang lingkup dari studi penilaian daur hidup gula aren meliputi persiapan pemanenan, pemanenan, pemasakan, sampai dengan pengemasan gula aren. Dalam hal penentuan ruang lingkup studi LCA gula aren, FU (*functional unit*) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 1 ton gula aren yang dihasilkan dalam sistem proses produksi.

Hal kedua yang dilakukan dalam pembuatan ruang lingkup adalah penentuan batasan sistem produksi gula aren. Pembatasan sistem pada penelitian ini menggunakan pembatasan *cradle to gate* dari proses persiapan seperti persiapan panen sampai dengan proses pengemasan gula aren (*cradle to gate*). Batasan ruang lingkup studi LCA untuk gula aren diilustrasikan di dalam Gambar 84.



Gambar 82. Model dan ruang lingkup studi LCA Gula Aren

2. Analisis Data Persediaan Gula Aren

Rangkuman hasil analisis persediaan terhadap tahapan produksi yang masuk dalam ruang lingkup study LCA Gula Aren ini adalah sebagai berikut:

1) Persiapan pemanenan

Air nira dari pohon aren ini diambil oleh petani yang bermukim di Desa Lana dan Desa Ponre dalam 2 waktu yang berbeda, yaitu air pagi yang pengambilannya dilakukan sekitar pukul 6 pagi dan air sore yang diambil mulai pukul 5 sore. Cara ini diyakini oleh petani agar air nira yang diperoleh lebih segar dan manis. Selain daripada itu, dalam tahapan ini para petani mempersiapkan biomassa seperti kayu untuk menjadi bahan bakar. Umumnya kayu bakar tersebut mereka peroleh dari hutan dan diangkut dengan cara mengaikatnya di atas motor mereka.

Praktek pengambilan kayu bakar dengan menggunakan motor dengan kapasitas mesin 125 cc ditemukan pada 3 orang petani seperti Pak Amir, Pak Sandi, dan Pak Saharuddin. Ketiga responden tersebut turut menggunakan motor untuk menjangkau lading tempat mereka mengolah nira menjadi gula aren. Sedangkan, 2 orang petani lainnya mengambil kayu bakar dengan cara memikul secara manual karena lokasi pemasakannya tidak jauh dari tempat pengambilan kayu bakar. Dalam tahapan persiapan panen juga dibutuhkan tangga bambu. Jumlah bambu juga tergantung daripada jumlah pohon aren yang dipanen oleh petani.

2) Pemanenan

Proses pengambilan air nira diawali dengan memukul bunga jantan yang ada di pelepah pohon nira. Ujung tandan kemudian dipotong sehingga proses pengeluaran air niranya lancar. Air nira yang keluar dari ujung tandan inilah yang disadap setiap harinya, kemudian ditampung

menggunakan jerigen. Jerigen yang digunakan adalah jerigen putih dengan kapasitas 10 liter. Rerata hasil panen air nira setiap hari untuk satu pohon sebesar 12.5 liter. Air nira yang telah dipanen selanjutnya diberikan tambahan berupa pengawet alami yang bersumber dari batang nangka. Masyarakat lokal menyebutnya dengan sepajeng.

3) Pemasakan

Proses pemasakan harus secepat mungkin dilakukan pasca pemanenan air nira. Sebab apabila air nira disimpan dalam wadah (jerigen) terlalu lama, maka air nira akan berubah rasa dan memengaruhi proses pembuatan gula aren. Air nira dimasak dalam wajan besar yang mampu menampung sebanyak 20-30 liter air nira dalam satu kali proses pemasakan. Untuk menghasilkan gula aren, dibutuhkan proses masak sekitar 4-6 jam sampai mengental.

Petani umumnya menggunakan minyak kelapa sawit guna menghilangkan buih ataupun busa yang muncul selama proses pemasakan. Selain itu terkadang beberapa petani juga yang menggunakan lilin seperti yang dilakukan oleh Pak Amir. Akan tetapi mengingat aspek ketersediannya (affordability) cukup terbatas, maka minyak kelapa sawit medominasi dalam proses pemasakan dibandingkan dengan lilin. Selanjutnya, air nira dimasak sampai berubah warna menjadi kecoklatan dan mengalami pengentalan. Kayu bakar termasuk menjadi input dalam proses pemasakan ini. Kayu bakar umumnya diperoleh petani dari hutan dengan menebang beberapa ranting pohon, atau mengangkut batang pohon atau ranting pohon yang sudah jatuh. Jumlah dari kayu bakar yang digunakan selama proses pemasakin relative bervariasi. Hal ini mengingat desai tungku pemasak yang dimiliki oleh petani tidak homogen.

4) Pengemasan

Saat air nira sudah mengental, maka gula aren siap dicetak. Cetakan gula aren masih menggunakan tempurung atau batok kelapa, atau menggunakan cetakan bentuk prisma seperti yang digunkan oleh Pak Amir dan Pak Sandi. Untuk kemasan gula aren, petani masih menggunakan bahan tradisional yakni daun jarak hutan dan daun pisang sebagai pembungkus gula aren seperti yang diterapkan oleh Pak Saharing, Pak Samudin dan Pak Saharuddin. Berbeda halnya dengan Pak Amir dan Pak Sandi, gula aren yang sudah mendingin di dalam cetakan, selanjutnya dimasukan ke dalam wadah penampung berupa keranjang.

Rangkuman informasi yang ditemukan dari hasil pengumpulan data melalui survei untuk studi LCA Gula Aren adalah sebagai berikut :

- Persiapan pemanenan yang membutuhkan input berupa tangga bamboo. Jumlah tangga bambu bergantung pada jumlah pohon aren yang masing – masing dimiliki oleh petani.
- Pemanenan meliputi proses menuju ke lokasi pohon aren serta penggunaan wadah penampung berupa jerigen putih 10 L. Pemanenan dilakukan dua kali dalam sehari yaitu pada pagi hari dan sore.

- Pemasakan dilakukan diatas tungku yang memiliki dimensi berbeda antar petani. Berdasarkan temuan dilapangan, konsumsi kayu bakar yang paling minim terdapat pada pengolahan nira menjadi gula aren oleh Pak Amir.
- Pengemasan umumnya menggunakan daun jati yang telah gugur. Dari seluruh responden ditemukan tidak ada satupun yang menggunakan plastik untuk mengemas produk gula aren mereka.

Berdasarkan hasil pengolahan data, tercatat sebanyak 0.74 Kg bambu yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 ton gula aren yang setara dengan 7 buah tangga bambu (Tabel 1). Mengingat petani aren mayoritas menggunakan kendaraan bermotor untuk dapat memperoleh kayu bakar, maka kebutuhan BBM bensin untuk menghasilkan 1 ton gula aren adalah sebanyak 0.25 L pada tahapan persiapan pemanenan.

Tabel 41. Inventori Persiapan Pemanenan Nira

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Tangga bambu	Kg	0.74
BBM transportasi untuk kayu bakar	Liter	0.25
Output		
Tangga terpasang	Unit	7

Tabel 2 menunjukan hasil inventori pada proses pemanenan nira. Dapat dilihat bahwa jumlah pohon aren yang dipanen sebanyak 7 pohon dan dapat menghasilkan 7,724.65 L air nira. Guna menampung air nira sebanyak itu dibutuhkan sebanyak 0.02 kg jerigen plastik. BBM dalam hal ini bensin juga diperlukan oleh petani untuk memindahkan air nira hasil pemanenan ke rumah pengolahan atau tempat pemasakan nira. Terdapat sebanyak 8.50 L bensin yang dikonsumsi agar menghasilkan 1 ton gula aren.

Tabel 42. Inventori Pemanenan Nira

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Pohon yang dipanen	batang	7
BBM transportasi	liter	8.50
Jerigen 115lastic sebagai wadah	kg	0.02
Output		
Air Nira	liter	7,724.65

Tahap pemasakan memiliki beberapa input seperti air nira, kayu bakar, minyak sawit (Tabel 3). Sebagaimana disajikan dalam Tabel 3, kebutuhan air nira untuk memproduksi 1 ton gula aren ialah

sebesar 7,724.65 L. Kemudian dari 7,724.65 L air nira tersebut dimasak dengan menggunakan bahan bakar berupa kayu. Kebutuhan bahan bakar biomassa tersebut tercatat 129,776 kg. Selama proses pemasakan akan timbul buih sebelum akhirnya air nira mengalami pengentalan. Agar buih selama proses pemasakan berkurang, maka petani membutuhkan sebanyak 2.08 Kg minyak nabati dalam hal ini adalah minyak sawit untuk menghasilkan 1 ton gula aren.

Tabel 43. Inventori Pemasakan Nira

Input/Output	Satuan	Jumlah (R)
Input		
Air Nira	liter	7,724.65
Kayu Bakar	kg	129,776.00
Minyak Sawit	kg	2.08
Output		
Gula Aren	kg	1000

3. Kajian Dampak Lingkungan

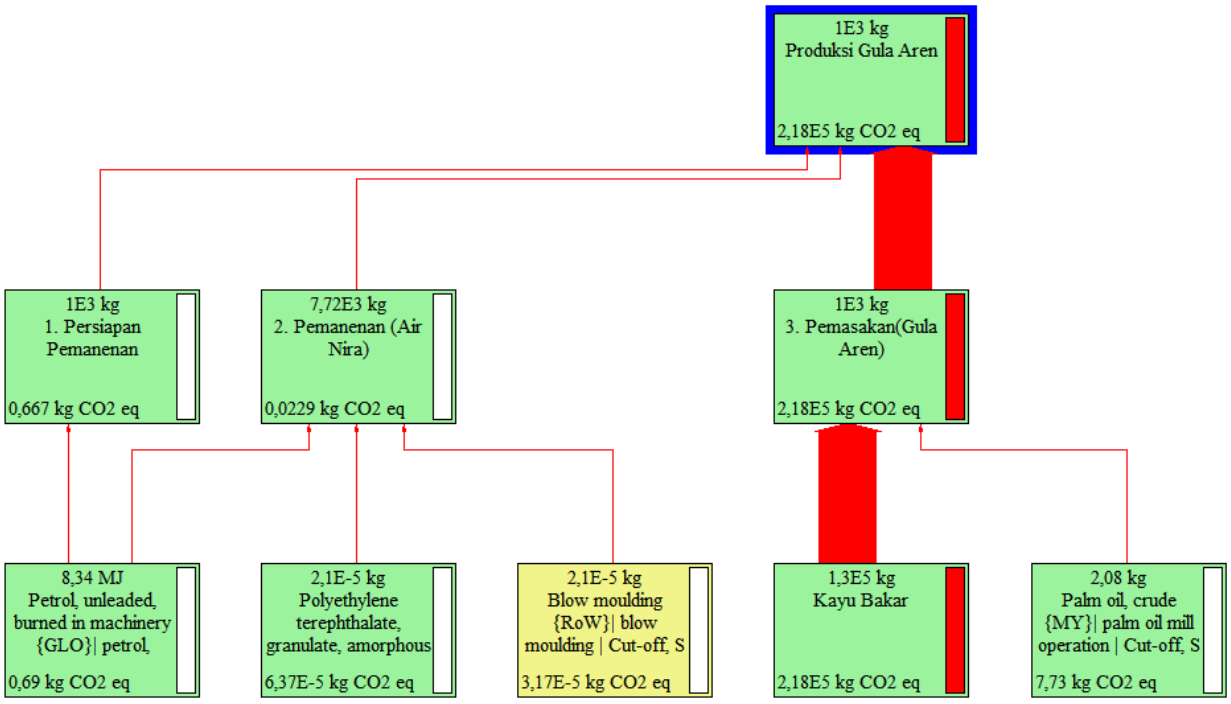
Fase LCIA memiliki tiga tahapan. Pertama, penggolongan (*classification*) yang dimana menghimpun dan menetapkan hasil kajian LCI ke dalam kelompok *stressor* yang relatif seragam dan secara agregat berada di dalam kelompok dampak yang sangat besar. Tahap berikut ialah karakterisasi (*characterization*) yang melakukan analisis dan taksasi pengaruh terhadap kesehatan manusia, kesehatan ekologi dalam setiap kelompok stressor yang diturunkan dari penilaian dampak secara spesifik. Terakhir, pembobotan (*valuation*). Berdasarkan ISO 14040, tahapan ini berisi pembobotan hasil dari setiap tahap karakterisasi agar ditemukan kategori dampak lingkungan yang paling signifikan dibandingkan dengan dampak lingkungan lainnya.

Sesuai dengan hasil pengolahan data software (*network, impact assessment*), kategori dampak yang dikaji dalam study LCA Gula Aren adalah sebagai berikut:

1) *Global Warming Potential* (GWP)
2) *Acidification Potential* (AP)
3) *Eutrofication Potential* (EP)
4) *Biotic Resource Depletion* (BRD)

Pengolahan data dilakukan dengan mempergunakan software Simapro 9.0 dengan metode EDIP 2003 V1.07. Hasil pengolahan data dalam bentuk aliran massa dan energi produksi air nira menjadi gula aren ditunjukkan pada (Gambar 85, Gambar 86, Gambar 87). Proses pengolahan nira menjadi gula aren terdiri dari empat tahapan, yaitu persiapan pemanenan, pemanenan, pemasakan, dan pengemasan.

Dampak lingkungan yang dihasilkan dari pengemasan tergolong nihil. Sementara itu, dari seluruh tahapan pengolahan nira menjadi gula aren, tahapan yang paling banyak menghasilkan emisi CO_2 yaitu pemasakan. Hal ini akibat oksidasi yang terjadi dari penggunaan kayu bakar selama proses pemasakan. Berdasarkan kategori dampak terhadap GWP, diketahui untuk menghasilkan 1 ton gula aren menghasikan emisi CO_2 sebesar 2.18E5 Kg CO_2 eq dalam proses pemasakan nira. Emisi tersebut didominasi dari penggunaan kayu bakar (Gambar 85).

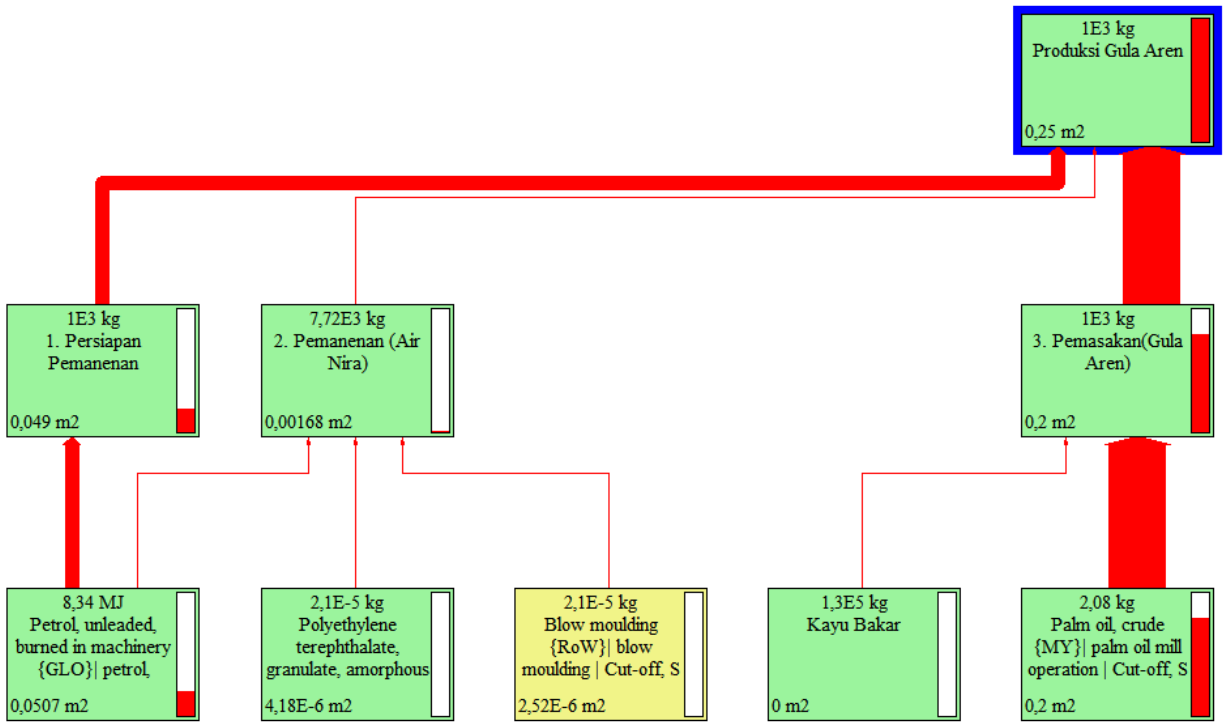


Gambar 83. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak: Global Warming Potential)

Berdasarkan kategori dampak asidifikasi dari proses pengolahan nira menjadi gula aren disajikan pada Gambar 86. Dapat dilihat bahwa proses persiapan pemanen dan pemasakan berkontribusi terhadap asidifikasi pada lingkungan (0.25 m^2). Sumbangan terbesar juga datang dari proses pemasakan yaitu sebesar 0.2 m^2, kemudian disusul oleh proses persiapan pemananen (0.049 m^2). Senyawa kimia yang paling berpengaruh terhadap asidifikasi adalah NO_x, SO_2 (Silalertruksa *et al.*, 2016). Proses pemasakan yang mengunakan biomassa berupa kayu sebagai bahan bakar memberikan dampak terbesar terhadap pelepasan NO_x.

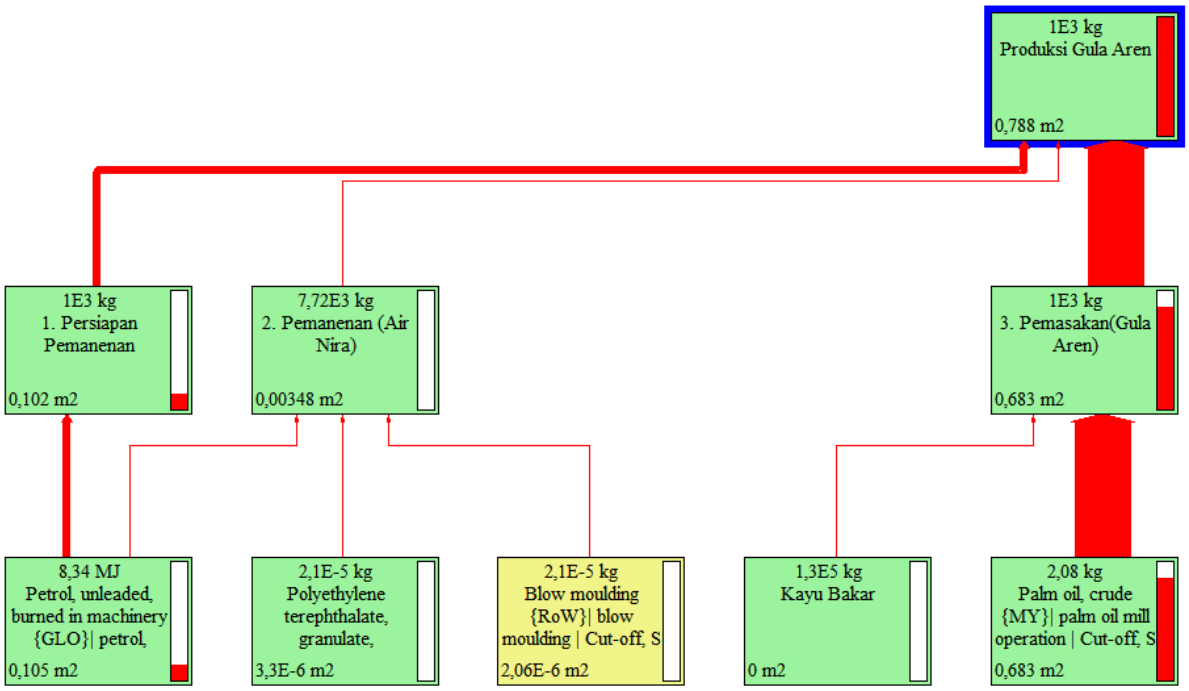
Kondisi tersebut serupa dengan studi Nguyen & Gheewala (2008) yang menyatakan bahwa pembakaran biomassa menjadi kontributor dampak asidifikasi, dan *photochemical oxidation*. Dampaknya akan lebih besar apabila prosesnya dilakukan secara terbuka. Penggunaan bahan bakar bensin pada tahapan persiapan pemanen menjadi faktor penyebab dampak dari asidifikasi. Jumlah bensin yang dikonsumsi oleh masyarakat akan berbanding lurus dengan pelepasan SO_2 dan

berpengaruh terhadap proeses asidifikasi. Sejalan dengan studi yang dilakukan Chandra, et al. (2018) menyatakan bahwa penggunaan bahan bakar fosil menjadi penyebab utama asidifikasi.

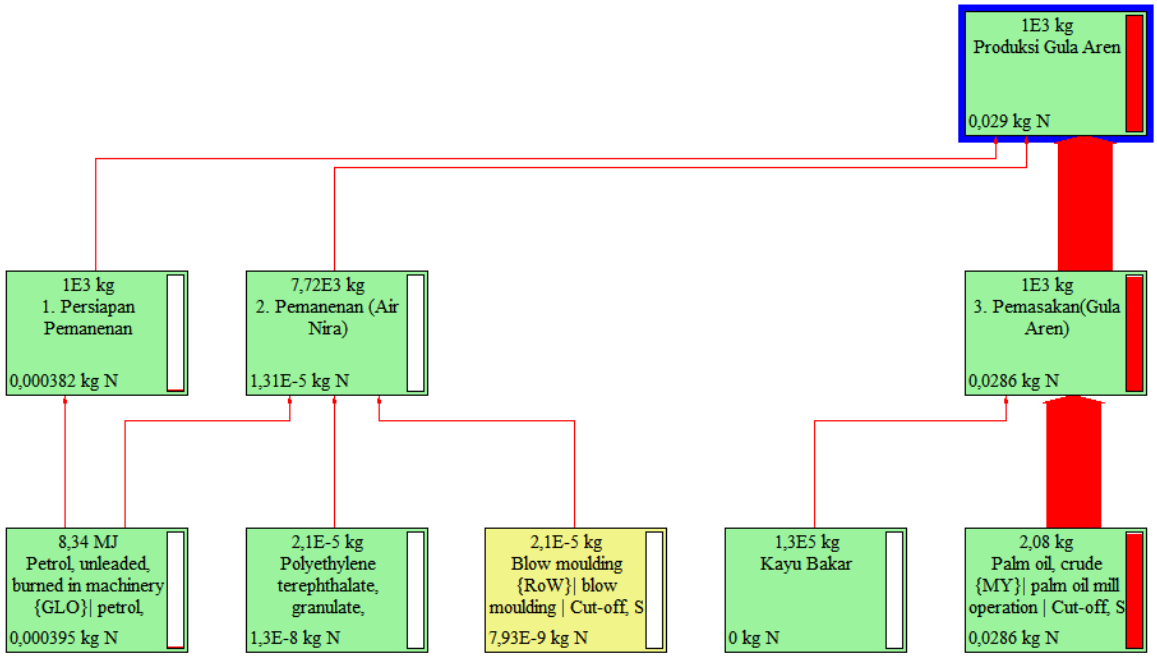


Gambar 84. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak : Acidification)

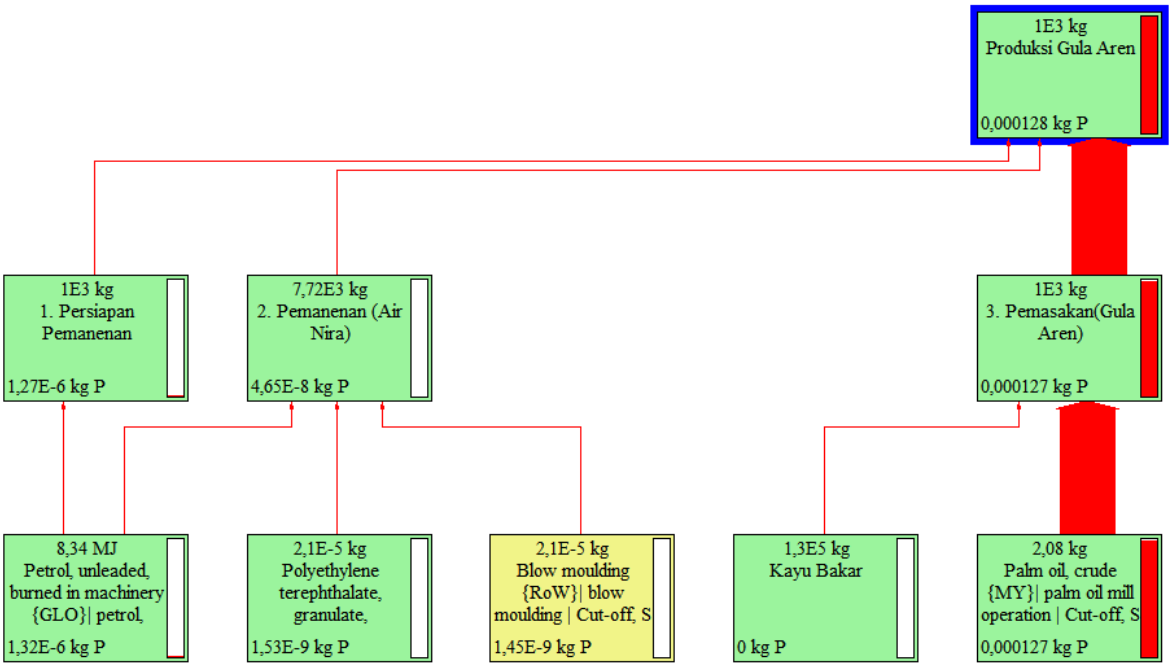
Proses pengolahan air nira menjadi gula aren ternyata turut berdampak terhadap eutrofikasi teresterial (Gambar 87), dan eutrofikasi perairan (Gambar 88, dan Gambar 89). Sumber senyawa kimia yang yang berdampak besar terhadap eutrofikasi pada umumnya berasal dari aktivitas penggunaan pupuk kimia serta pengolahan limbah cair. Menurut Mungcharoen (2016) penggunaan pupuk anorganik (pupuk N dan P) menghasilkan emisi dengan polutan utama NO_x, NH_3, dan PO_4^{3-} yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan eutrofikasi. Namun, aktivitas budidaya aren termasuk proses pemupukannya tidak dimasukan ke dalam ruang lingkup kajian ini.



Gambar 85. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak: Terrestrial Eutrophication)



Gambar 86. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak: Aquatic Eutrophication EP(N))



Gambar 87. Hasil analisis LCIA produksi 1 ton gula aren (kategori dampak : Aquatic Eutrophication EP(P))

Dampak yang timbul terhadap eutrofikasi tidak terlalu signifikan dalam pengolahan gula aren sejak proses persiapan pemanenan hingga proses pengemasan. Akan tetapi potensi eutrofikasi masih tetap membayangi. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa dampak eutrofikasi teresterial masih muncul untuk menghasilkan sebanyak 1 ton gula aren. Total dampak eutrofikasi teresterial adalah 0.788 m^2 dimana kontribusi terbesar berasal dari proses pemasakan gula aren (0.683 m^2), disusul proses persiapan pemanenan (0.102 m^2).

Potensi eutrofikasi perairan bersumber dari polutan NO_3^- dan PO_4^{3-} yang larut dalam air. Alhasil air tanah akan tercemar, sehingga menurunkan kualitas air dan mengurangi eksistensi dari beberapa sumberdaya hayati pada perairan. Berdasarkan hasil pengolahan data sebagaimana disajikan dalam Gambar 88, Gambar 89, maupun tabel hasil analisisi LCIA Gula Aren (Tabel 43) terlihat bahwa proses pemasakan gula aren memberikan sumbangan terbesar terhadap eutrofikasi perairan baik dengan sumber polutan PO_4^{3-} (EP P) maupun NO_3^- (EP N). Bila dikuantifikasi dampak eutrofikasi perairan yang timbul untuk memproduksi 1 ton gula aren adalah sebesar 0.0286 Kg N dan 0.000127 Kg P. Material yang menghasilkan dampak eutrofikasi dalam proses pemasakan adalah minyak kelapa sawit kategori Refined, Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO) seperti minyak goring (bimoli) sebagaimana ditemukan ketika melakukan verifiasi lapang.

Tabel 44. Export Hasil Analisis LCIA Gula Aren (Dampak)

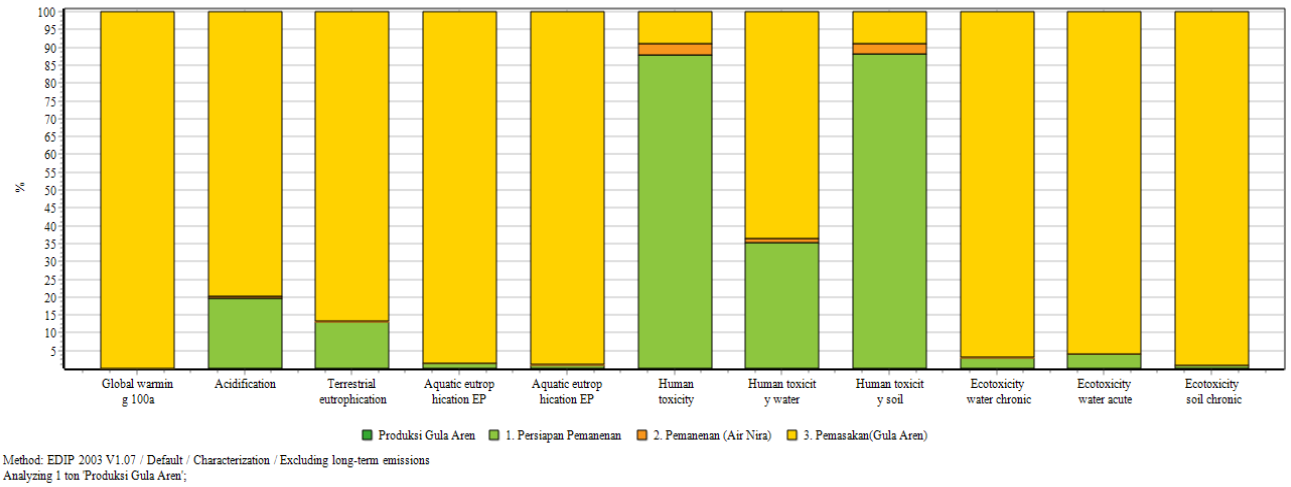
Sel	Impact category	Unit	Total	Produksi Gula Aren	1. Persiapan Pemanenan	2. Pemanenan (Air Nira)	3. Pemasakan(Gı
☑	Global warming 100a	kg CO2 eq	2,18E5	x	0,667	0,0229	2,18E5
☑	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,68E-7	x	1,16E-7	3,97E-9	4,81E-8
☑	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	33,9	x	15,8	0,541	17,5
☑	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,00248	x	0,00118	4,03E-5	0,00126
☑	Acidification	m2	0,25	x	0,049	0,00168	0,2
☑	Terrestrial eutrophication	m2	0,788	x	0,102	0,00348	0,683
☑	Aquatic eutrophication EP(N	kg N	0,029	x	0,000382	1,31E-5	0,0286
☑	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,000128	x	1,27E-6	4,65E-8	0,000127
☑	Human toxicity air	person	1,21E6	x	1,06E6	3,64E4	1,1E5
☑	Human toxicity water	m3	16	x	5,64	0,193	10,2
☑	Human toxicity soil	m3	27,7	x	24,4	0,835	2,45
☑	Ecotoxicity water chronic	m3	1,18E3	x	35,3	1,22	1,15E3
☑	Ecotoxicity water acute	m3	70,1	x	2,76	0,0979	67,3
☑	Ecotoxicity soil chronic	m3	261	x	2,07	0,0709	259
☑	Hazardous waste	kg	7,77E-5	x	4,6E-5	1,58E-6	3E-5
☑	Slags/ashes	kg	0,00599	x	0,000163	6,03E-6	0,00582
☑	Bulk waste	kg	0,477	x	0,00517	0,000184	0,472
☑	Radioactive waste	kg	9,09E-5	x	6,49E-5	2,22E-6	2,38E-5
☑	Resources (all)	PR2004	0,000546	x	1,67E-5	5,87E-7	0,000529

Tabel xx menjukan export hasil analisis LCIA Gula Aren (Dampak). Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dalam memproduksi 1 ton gula aren terjadi dampak *Global Warming* 100a dengan nilai total sebesar $2.18E^5$ $kgCO_2eq$ yang dihasilkan sebagian besar dari penggunaan kayu bakar, *Acidification* dengan nilai total 0.25 m^2 yang dihasilkan sebagian besar dari penggunaan kayu bakar kemudian disusul dari penggunaan bensin.

Teresterial Eutrification dengan nilai total 0.788 m2 yang dihasilkan sebagian besar dari penggunaan kayu bakar, Aquatic euthropication EP (P) dengan nilai total 0.000128 kgP yang dihasilkan terbesar dari penggunaan minyak kelapa sawit/ minyak goreng, Aquatic eutrophication EP (N) dengan nilai total sebesar 0.029 kgN yang terbesar dihasilkan dari penggunaan minyak kelapa sawit/ minyak goreng, Resources dengan nilai total 0.000546 PR2004.

Toksisitas manusia (*human toxicity*) erat kaitannya dengan efek samping dari senyawa beracun terhadap manusia. Akibatnya, sistem saluran pernafasan manusia akan terganggu imbas senyawa beracun seperti 1,4-dichloronitrobenzene yang terlepas ke udara selama proses pengolahan air nira menjadi gula aren. Senyawa kimia tersebut sulit larut dalam air (*poorly soluble*) dan terbukti memicu kanker pada manusia bila terpapar lebih dari 75 ppm selama 8 jam setiap hari (Elkins, 1959). Dari Tabel xx, dilihat bahwa kategori dampak *human toxici*ty air sebanyak 1.21 E^6 manusia yang paling banyak dihasilkan dari persiapan panen. Konsumsi bensin dalam proses persiapan panen untuk mengambil kayu bakar patut diperhitungkan agar mereduksi potensi toksitas terhadap manusia.

Pada grafik hasil analisis LCIA gula aren (Gambar 90) dapat diketahui bahwa proses pemasakan gula aren mempunyai pengaruh yang paling dominan terhadap dampak pemanasan global, asidifikasi, eutrofikasi maupun *ecotoxicity*. Sedangkan proses persiapan pemanenan terbukti memengaruhi munculnya dampak terhadap *human toxicity*, meski tampak tidak terlalu signifikan *pada human toxicity y water*.



Gambar 88. Grafik Hasil Analisis LCIA Gula Aren

4. Interpretasi Dampak Lingkungan Gula Aren

Metode analisis yang dilakukan untuk menentukan isu-isu lingkungan adalah dengan metode pendekatan analisis kontribusi yang dilanjutkan dengan analisis perbaikan. Berdasarkan Tabel xx terlihat bahwa terdapat 2 proses dalam pengolahan air nira menjadi gula aren yang memberikan sumbangsih menghasilkan dampak terhadap lingkungan maupun manusia, yaitu proses pemasakan dan peroses persiapan panen. Dari dua proses tersebut dapat dikategorikan sebagai permasalahan utama yang diprioritaskan untuk mengalami perbaikan.

Prioritas pertama adalah proses pemasakan. Kebutuhaan akan kayu bakar perlu diperkecil. Caranya adalah dengan melakukan redesain tungku pemasak. Tungku harus dibuat efektif dalam menahan kalor agar proses pemasakan lebih cepat dan konsumsi kayu bakar lebih sedikit. Sebagaimana yang dilihat dari tungku pemasakan Pak Saharudin, Pak Saharing, dan Pak Samsudin perlu untuk dimodifikasi ulang. Dilain sisi, proses pemodifikasian ini perlu dilakukan mengingat lokasi pemasakan nira yang berada pada topografi yang lebih tinggi dibandingkan dengan Pak Amir dan Pak Sandi. Masih pada proses pemasakan, penambahan minyak kelapa sawit dapat disubstitusikan dengan lilin dari sarang lebah. Hal ini diperkirakan dapat mengurangi dampak atas Aquatic euthropication EP (P) maupun Aquatic euthropication EP (N).

Prioritas perbaikan kedua adalah proses persiapan panen. Penggunaan bensin praktis berdampak buruk terhadap lingkungan. Tidak hanya itu, hasil oksidasi yang tidak sempurna dari bensin turut memberi pengaruh buruk terhadap manusia. Angka oktan bensin yang tergolong rendah akan membuat pembakaran di dalam mesin kendaraan bermotor para petani menjadi tidak sempurna.

Kondisi ini berlangsung karena bensin yang dibakar hanya karena tekanan mesin, sehingga pembakaran yang berlangung cenderung tidak sempurna. Akibatnya, banyak bensin terbuang sia sia dan menjadi emisi hidrokarbon, karbon monoksida (CO), dan nitrogen dioksida melalui knalpot kendaraan bermotor. Selain tergolong mahal karena konsumsi BBM yang boros, emisi hidrokarbon inilah nantinya menjadi pemicu kanker bagi petani dan masyrakat sekitar. Untuk itu pengalihan sumber BBM dengan nilai oktan yang lebih baik mutlak dilakukan seperti pertamax dengan nilai oktan 92. Selain menghemat konsumsi BBM karena proses oksidasi di dalam mesin kendaraan bermotor menjadi lebih sempurna, dampak toksisitas bagi manusia berangsur mengecil.

Mengutip hasil riset Komite Penghapusan Bensin Bertimbal (KPPB) bersama Universitas Indonesia (UI) yang rilis di tahun 2020, menunjukan fakta bahwa rata-rata air seni masyarakat Jakarta mengandung polysiclic aromatic hydrocarbons (PAH) 2.200 mg kreatinin. Angka tersebut berada diatas standar World Health Organizazation (WHO) yang hanya memperbolehkan 500 mg kreatinin. Selain itu, di dalam urine juga ditemukan benzene yang juga sangat tinggi, yaitu 8,9 mg. Angka tersebut jauh di atas standar WHO, yaitu maksimal hanya boleh 0,3 mg kreatinin. Agar fenomena tersebut tidak merambat ke masyarakat di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka khususnya bagi petani gula aren, maka transisi konsumsi bbm dari bensin ke pertamax harus segera dilakukan. Cara ini diyakini mampu mempersempit dampak *human toxicity* dalam proses pengolahan gula aren.

IV. REKOMENDASI

Pelaksanaan studi ini menghasilkan temuan dan bebeberap bentuk rekomendasi agar menghasilkan produk pangan yang ramah lingkugan dan mampu mereduksi terjadinya *human toxicity*. Adapun temuan dan rekomendasi masing – masing komoditas ialah sebagai berikut:

1. Beras

Hasil studi LCA beras menunjukkan hasil bahwa dampak lingkungan asidifikasi dan eutrifikasi adalah yang terbesar disebabkan penggunaan pupuk urea pada tahap pemerliharaan. Dampak lingkungan pemanasan global ditimbulkan dari proses penggilingan padi. Untuk mengurangi dampak lingkungan rekomendasi yang dapat diterapkan adalah dengan cara mengganti pupuk urea menjadi pupuk organik. Penggunaan bahan bakar pada mesin penggilingan padi dapat dilakukan upaya pengurangan dampak lingkungan dengan mempergunakan bahan bakar dengan nilai oktan lebih tinggi serta lebih rendah emisi.

2. Sagu

Dampak lingkungan terbesar pada pembuatan mie sagu dan sagu telur, paling besar ditimbulkan pada penggunaan kemasan plastik dan energi listrik pada mie sagu untuk kategori dampak pemanasan global. Pada produksi sagu telur kemasan plastik juga berpotensi besar untuk memberikan dampak terhadap lingkungan. Pada pengolahan sagu, kontribusi yang besar juga ditimbulkan pada proses pembuatan sagu basah sebagai bahan baku mie sagu dan sagu telur disebabkan penggunaan mesin berbahan bakar solar pada proses pemarutan.

Bentuk rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan mengunakan kemasan yang bukan plastik atau bahan yang lebih ramah lingkungan. Selanjutnya, penghematan penggunaan bahan bakar dan energi listrik adalah hal yang perlu dipertimbangkan untuk dilakukan Cara yang dapat ditempuh ialah menggunakan mesin berbahan bakar yang lebih ramah lingkungan serta pemanfaatan energi listrik dengan mengandalkan sumber energi terbarukan ataupun mudah diakases seperti penggunaan energi surya karena lokasi produksi sagu yang berada di tepi pantai juga memiliki potensi energi surya yang besar.

3. Garam

Produksi garam berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang terbesar adalah dampak lingkungan bagi manusia melalui udara (*human toxicity air*) yang berpotensi ditimbulkan dari penggunaan geomembran. Tingkat potensi dampak tersebut, tentu berbeda dengan tambak garam tradisional. Faktor terbesar kedua adalah penggunaan karung plastik sebagai kemasan dalam pengangkutan garam. Penggunaan geomembran yang hanya memiliki daya tahan 3-4 tahun menyebabkan kebutuhan geomembran menjadi lebih besar.

Berangkat dari hal tersebut maka bentuk rekomendasi yang dapat dilakukan adalah penggunaan geomembran dengan daya tahan lebih lama misalnya produk geomembran yang dapat bertahan hingga 10 tahun. Selain daripada itu proses yang dapat menimbulkan dampak lingkungan juga terdapat dari penggunaan bahan bakar solar pada tahap pemompaan air. Oleh karena itu, maka

komunitas dapat disarankan menggunakan mesin yang berbahan bakar pertalite sehingga lebih ramah lingkungan. Selanjutnya, penggunaan kincir angin pada tambak garam merupakan salah satu tehnik yang ramah lingkungan dalam produksi garam serta patut untuk dipertahankan.

4. Madu Hutan

Potensi dampak lingkungan terbesar pada produksi madu hutan adalah pemanasan global dan *humantoxicity* yang sebagian besar adalah kontribusi dari proses pemasangan tikung dan pemanenan madu yang ditimbulkan dari penggunaan BBM pada mesin *speedboat*. Dampak lingkungan eutrofikasi dan asidifikasi yang berpotensi ditimbulkan dari produksi madu hutan berasal dari penggunaan jerigen untuk kemasan madu pada saat dijual.

Bentuk rekomendasi yang diformulasikan untuk mengurangi dampak lingkungan pada produksi madu, adalah seperti penghematan konsumsi BBM pada alat transportasi. Caranya dapat menggunakan kendaraan yang memilik kapasitas mesin rendah serta menggunakan bahan bakar dengan nilai oktan tinggi seperti pertalite atau bahkan pertamax. Penggunaan jerigen plastik perlu dipertimbangkan untuk digantikan dengan bahan lain yang ramah lingkungan ataupu alternatif dengan penggunaan yang lebih lama (berulang). Dapat juga dilakukan dengan pendekatan *circular economy solution* yang dapat diterapkan dengan sistem pemakaian berulang, misalnya pembeli akan membawa kembali jerigen yang telah dipergunakan pada penjualan sebelumnya.

5. Kopi

Proses produksi kopi yang perlu menjadi perhatian karena memberikan kontribusi terhadap potensi dampak lingkungan yang signifikan dari beberapa kategori dampak lingkungan yaitu penggunaan pupuk kimia pada perawatan tanaman, penggunaan bahan bakar pada mesin *haller*, pemanfaatan energi listrik dan penggunaan gas LPG. Dampak lingkungan pemanasan global, asidifiasi, eutrofikasi terbesar pada produksi kopi ditimbulkan dari proses perawatan tanaman kopi yang mempergunakan pupuk buatan seperti urea dan posfat. Alternatif untuk mengurangi dampak dari penggunaan pupuk buatan adalah penggunaan pupuk organik. Selain daripada itu langkah yang dapat ditempuh agar proses asidifikasi dan eutrofikasi bisa dilakukan dengan pengaplikasikan larutan MoPP (Mikroorganisme Pelarut Fosfat)

6. VCO

Potensi dampak lingkungan yang timbul dari produksi VCO terbesar adalah pemanasan global dan asidifkasi yang ditimbulkan dari pembakaran sabut kelapa di kebun pada tahapan proses pemeliharaan tanaman. Dampak lingkungan eutrofikasi disebabkan oleh penggunaan BBM pada pengankutan hasil panen, serta penggunaan karung sebagai media pemerasan santan.

Bentuk rekomendasi yang dapat diterapkan dalam mereduksi potensi dampak lingkungan pemanasan global adalah dengan tidak melakukan pembakaran pada sabut kelapa, tetapi dengan membiarkan saja terurai secara alami. Penggunaan BBM dapat dilakkukan penghematan melalui modifikasi kendaraan untuk meningkatkan kapasitas angkut pada kendaraan bermotor yang

dipergunakan. Penggantian kain pada proses pemerasan dengan daya tahan lebih lama dibandingkan yang dipergunakan saat ini.

7. Gula Aren

Penggunaan kayu bakar pada proses pemasakah air nira dalam produksi gula aren berpotensi menimbulkan dampak lingkungan pemanasan global. Konsumsi kayu bakar tentu saja dipengaruh oleh desain dari tungku pembakar. Maka dari itu disarankan sebaiknya dilakukan modifikasi tungku pemasakan agar memaksimalkan kalor yang dihasilkan dalam proses pembakaran kayu, sehingga dapat mempercepat proses pemasakan dan penggunaan kayu bakar lebih optimal. Selain itu juga dalam proses pegolahan air nira menjadi gula aren yang menggunakan minyak goreng dapat disubsitusi dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan seperti lilin madu yang juga telah dimanfaatkan oleh beberapa produsen gula aren.

V. DAFTAR PUSTAKA

Adiansyah, J. S., Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2018). Kajian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) dalam Produksi Pupuk Urea: Studi Kasus PT Pupuk Kujang. Jurnal Ilmu Lingkungan, 17(3), 522-527.

Anvaria, S. W., Pandebesie, E. S., & Warmadewanti, I. D. A. A. (2013). Life Cycle Assessment (LCA) pada Pengelolaan Sampah di TPA Benowo Kota Surabaya. Tugas Akhir. ITS, Surabaya.

Arena U.,Mastellone M.L.,Perugini F. (2003). "The Environmental Performance of Alternative Solid Waste Management Options: A Life Cycle Assessment Study".Chemical Engineering Journal 96, hal.207-222.

Astuti, A. D. (2019). Analisis Potensi Dampak Lingkungan dari Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA). Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK, 15(1), 51-64.

Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A.(2009). "Life Cycle Assessment of Solid Waste Management Options for Eskisehir, Turkey".Waste Management 29, hal.54-62.

Berkeley Air Monitoring Group. 2012. Stove Performance Inventory Report. Prepared for the Global Alliance for Clean Cookstoves: United Nation Foundation.

Bintoro HMH, Ahmad F, Nurulhaq MI, Pratama AJ. 2017. Identifikasi Sagu (Metroxylon spp.) di Kabupaten Mimika Provinsi Papua. Bogor(ID): Digreat Publishing and Computer Science (IPCBEE) 19. Singapura : IACSIT Press.

Buku Panduan Pengembangan Usaha Terpadu Garam dan Artemia, Departemen Kelautan dan perikanan, 2006

Chandra VV, Hemstock SL, Mwabonje ON, N'Yeurt ADR, Woods J. 2018. Life Cycle Assessment of Sugarcane Growing Process in Fiji. Sugar Tech, 20 (6), 692–699.

Cichorowski G, Joa B, Hottenroth H, Schmidt M. 2015. Scenario Analysis of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Darjeeling Tea. The International Journal of Life Cycle Assessment, 20(4), 426-439.

Elkins HB. 1959. The chemistry of industrial toxicology. 2nd ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., p. 150.

Fauzi A dan Anna S. 2006. Evaluasi Status Keberlanjutan Pembangunan Perikanan: Aplikasi pendekatan *rapfish* (Studi Kasus Perairan Pesisir DKI Jakarta). *Journal Pesisir dan Lautan* (4): 43 – 54.

Finkbeiner, M. Schau, E., M., Lehmann, A. And Traverso M., (2010). Towards life cycle sustainability assessment. Sustainability (ISSN 2071-1050) 2010, 2, 3309-3322; doi:10.3390/su2103309.

Glavic P and Lukman R. 2007. Review of Sustainability Terms and Their Definitions. *Journal of Cleaner Production* 5: 1875 – 1885.

Guidice, F., La Rosa G, and Risitano A. 2006.Product Design for The Environment, A life Cycle Approach. CRC Press. Florida.

Hall JP. 2001. Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management. *Environmental Monitoring and Assessment* (67): 109–119.

Harjanto B dan Pangloli. 2012. Potensi dan Pemanfaatan Sagu. Yogyakarta (ID) : Kanisius.140 hal. Jamshidi S, Jamshidi S. 2011. NTSYSpc 2.02e implementation in molecular biodata analysis (clustering, screening, and individual selecction). International Conference on Environmental

Ho CW, Aida WM, Maskat MY, Osman H. 2008. Effect of Thermal Processing of Palm Sap on Physico-Chemical Composition of Traditional Palm Sugar. Pakistan Journal of Biological Sciences. 11 (7): 989 - 995

ISO 14044. "Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines", International Standard, Second Edition, July 2006, pp.1-46.

Komite Penghapusan Bensin Bertimbal. 2020. Dampak Pemakaian Bensin Bertimbal dan Kesehatan.

Lay A, Heliyanto B. 2011. Prospek agroindustri aren (Arenga pinata). Jurnal Perspektif 10(1):1–10.

Lolowang TF. 2012. Rancang Bangun Model Pengembangan Klaster Agrobisnis Aren Di Sulawesi Utara. Disertasi Pascasarjana. IPB

Nguyen TLT, Gheewala SH. 2008. Life Cycle Assessment of Fuel Ethanol from Cane Molasses in Thailand. International Journal of Life Cycle Assessment, 13 (4), 301–311.

Purwaningsih IW. 2016. Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assesment) Gula Tebu di PG Subang, Jawa Barat. [Tesis]. Bogor: IPB.

Sablayrolles, C., Gabrielle, B., & Montrejaud-Vignoles, M. (2010). Life cycle assessment of biosolids land application and evaluation of the factors impacting human toxicity through plant uptake. Journal of Industrial Ecology, 14(2), 231-241.

Santoso, Haryo dan Ronald. 2012. Rekayasa Nilai dan Analisis Daur Hidup pada Model Alat Potong Kuku dengan Limbah Kayu di CV. Piranti Works. Jurnal Teknik Industri Universitas Diponegoro, Vol. 7 No.1, 19-26.

Silalertruksa T, Pongpat P, Gheewala SH. 2016. Life Cycle Assessment for Enhancing Environmental Sustainability of Sugarcane Biore Fi Nery in Thailand. Journal of Cleaner Production, 30, 1-8.

Siregar K, Tambunan AH, Irwanto AK, Wirawan SS, Araki T. 2012. A Comparison of life cycle inventory of pre-harvest, production of crude oil, and biodiesel production on Jatropha curcas and palm oil as a feedstock for biodiesel in Indonesia. Proceeding of Ecobalance 2012 conference,Yokohama. Japan.

Sumada Ketut, Retno D, Suprihatin. 2016. Garam Industri Berbahan Baku Garam Krosok dengan Metode Pencucian dan Evaporasi. *Jurnal Tehnik Kimia Vol 11, No.1, September 2016*.

Yusuf MA. 2021. Life Cycle Assessment (LCA) Pati Sagu: Studi Kasus Proses Tradisional Di Merauke, Proses Semi-Mekanis di Bogor Dan Proses Mekanis di Sorong Selatan. [Disertasi]. Bogor: IPB.

LAMPIRAN 1. PESERTA FGD

No	Komoditas	Lembaga Pendamping	Produsen (Orang)	Lembaga Pendamping (Orang)	NTFP EP Indonesia (Orang)	TAMATA (Orang)
1	Beras Melawi	WWF Indonesia				
2	Sagu Kep. Meranti	NTFP EP Indonesia				
3	Garam Rembang	ASPPUK – PERSEPSI				
4	VCO Nias Utara	ASPPUK – PESADA				
5	Gula Aren Kolaka	ASPPUK – ALPEN				
6	Madu Kapuas Hulu	NTFP EP Indonesia				
7	Kopi Enrekang	AMAN				

LAMPIRAN 2. GAMBARAN GOAL DAN SCOPE MASING – MASING KOMODITAS

No	Komoditi	Goal	Scope	Impact
1	Beras	Dampak Proses Produksi Beras Dari Varietas Padi Di Desa Kebebu Kabupaten Melawi Terhadap Lingkungan	Penyiapan Lahan Hingga Pengolahan Dalam Proses Produksi Beras Dari Varietas Padi Pandan Dan Padi Tuah di Desa Kebebu, Kabupaten Melawi	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP) 4. Biotic Resource Depletion (BRD) 5. Land Use (LU)
2	Sagu	Dampak Proses Pemanenan Sagu Hingga Menjadi Produk Olahan Terhadap Lingkungan	Proses Pemanenan Sagu Hingga Menjadi Produk Olahan	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP) 4. Biotic Resource Depletion (BRD)
3	Garam	Perbandingan Dampak Proses Produksi Garam Krosok Dengan Geomembran Dan Tradisional Di Kecamatan Kaliori, Kabupaten Rembang Terhadap Lingkungan	Persiapan Lahan/Pembuatan Tambak Hingga Pemanenan	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP) 4. Biotic Resource Depletion (BRD) 5. Human EcoToxicity (HET)
4	Madu Hutan	Dampak Proses Produksi Madu Terhadap Lingkungan	Pemanenan Madu Hingga Penurunan Kadar Air	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP) 4. Human EcoToxicity (HET)

5	Kopi	Dampak Pproses Pemanenan Kopi Hingga Menjadi Roasted Bean Terhadap Lingkungan	Proses Pemanenan Sampai Menjadi Roasted Bean	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP) 4. Human EcoToxicity (HET)
6	VCO	Dampak Proses Produksi Vco Terhadap Lingkungan	Pemanenan Kelapa Hinggu Menjadi Produk Vco	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP)
7	Gula Aren	Dampak Proses Produksi Gula Aren Terhadap Lingkungan	Pemanenan Nira Hingga Produk Menjadi Gula Aren Yang Dikemas	1. Global Warming Potential (GWP) 2. Acidification Potential (AP) 3. Eutrofication Potensial (EP) 4. Human EcoToxicity (HET)

LAMPIRAN 3. NAMA RESPONDEN DALAM INVENTORI DATA LCA

No	Komoditi	Waktu	Lokasi	Nama Responden
1	Beras	18 – 22 Des 2020	Desa Nanga Kebebu Kec. Nanga Pinoh Kab. Melawi (Kalimantan Barat)	1. Syahruddin 2. Syahdan 3. Mimah 4. Dahlan 5. Nur Hayati
2	Sagu	12 – 16 Des 2020	Desa Sungai Tohor Kec. Tebing Tinggi Timur Kab. Kepulauan Meranti (Riau)	1. Abdul Manan 2. Moher 3. Nongmel 4. Hernandi Jamal
3	Garam	26 Feb – 1 Maret 2021	Desa Tunggul Sari, Kec. Kaliori Kab. Rembang (Jawa Tengah)	1. Agung 2. Suntono 3. Sugeng 4. Damiri 5. Suali 6. Ngatemin 7. Sumadi 8. Masturi
4	Madu Hutan	20 – 24 Feb 2021	Desa Sekulat, Desa Vega Kec.Selimbau Kab. Kapuas hulu (Kalimantan Barat)	1. Jayadi 2. Hermansyah 3. Junaidi 4. Hendri 5. Taruna
5	Kopi	1-4 Des 2020	Desa Benteng Alla Kec. Baroko Kab. Enrekang (Sulawesi Selatan)	1. Abdul Rahman 2. Herman Saleh 3. Syafar L 4. Muslim 5. Papatola
6	VCO	11 – 15 Feb 2021	Desa Ononazara Kec. Tugalaoyo Kab. Nias Utara (Sumatera Utara)	1. Arni Putri Niat Hati Hulu 2. Hormianim Saragih 3. Sepi Airmala Hulu 4. Endang Yanti Sihombing 5. Meniria Hulu 6. Maani Lahagu
7	Gula Aren	5 - 8 Des 2020		1. Amir 2. Sandi

			Desa Ponre, Desa Longgomali, Desa Lana, Wolo – Kolaka (Sulawesi Tenggara)	3. Saharing 4. Samsuddin

LAMPIRAN 4. CONTOH KUESIONER INVENTORY DATA

SURVEY LCA 7 KOMODITI [NAMA KOMODITI : 4. MADU HUTAN] KUESIONER SURVEY PANGAN BIJAK NUSANTARA		
I	Tanggal	26- 01-2021 tanggal bulan tahun
II	Nama Enumerator	Rico

Catatan untuk enumerator : Sebelum memulai interview, perkenalkan diri anda terlebih dahulu, terangkan apa tujuan dari survey ini dan tanyakan apakah responden setuju untuk menjawab pertanyaan. Jika tidak, pilih responden lainnya.

A – IDENTIFIKASI RESPONDEN				
A.1	Nama Desa/Kecamatan	Sekulat		
A.2	Nama	Hendri		
A.3	Alamat	Dusun Lubuk keramat		
A.4	Nomor Kontak (HP)	-		
A.5	Nama Inspektur	-		
A.7	Nomor Kontak Inspektur (HP)	-		
A.8	Jenis kelamin	Laki-laki	:Laki-laki	1
		Perempuan	:	2
A.9	Identitas Usaha	Lokasi produksi	:Rumah	1
		Kepemilikan	:Pribadi	2
		Lokasi Pemanenan	:Sungai Merbakung Lengkong Nanga Sungai Mengeris	3
		Luas Area Pemanenan (Ha)	:	4
		Jarak	: Sungai Merbakung (I jam PP) jumlah tikung: 30 tikung Panen: 20 sarang Hasil = 5 kg Lengkong Nanga (1 jam PP) Jumlah tikung: 20 tikung Panen: 15 sarang Hasil = 5 kg Sungai Mengeris (1 jam PP) Jumlah Tikung: 20 Tikung Panen: 18 sarang Hasil = 5 kg	5
A.10	Produksi	Periode Panen	:Januari – Pebruari	1

			April – Mei Agustus – September	
		Jumlah panen (kg)	: Januari – Pebruari (300 kg) April – Mei (0 kg) Agustus – September (10 kg)	2
		Jenis Lebah	:Apis Dorsata (Manyik)	3

B – AKTIVITAS PRODUKSI (SESUAIKAN DENGAN SCOPE)		
B.1 Pembuatan Tikung	:	Proses pembuatan tikung diawali dengan pencarian kayu tikung dihutan dengan menggunakan perahu dan berbekal peralatan untuk memotong kayu yakni gergaji,chinsaw, parang dan kampak.Ketika sudah menemukan kayu yang akan dijadikan tikung tikung tersebut dipotong menjadi dua bagian.Kayu yang bisa dijadikan tikung minimal panjangnya dua meter tetapi biasa tikung yang kami temukan lebih dari dua meter sehingga dalam satu balok kayu bisa dibuat menjadi beberapa tikung.Setelah pohon kayu tikung sudah dibelah menjadi beberapa bagian kayu tersebut kami bawa pulang dengan menggunakan perahu untuk diproses lagi menjadi tikung secara sempurna,adapun cara pembuatan tikungnya adalah dengan cara merapikan bagian papan tikung yang akan dijadikan tikung.Adapun peralatan yang perlu disiapkan diantaranya ketam,gergaji,pahat tukul,dan kikir.Setelah sekiranya papan tikung tersebut sudah rapi maka tahap selanjutnya adalah dengan membuat telinga pada papan tikung.setelah semuanya beres langkah selanjutnya adalah menjemur papan tikung tersebut sampai kering sehingga baru bisa digunakan sebagai tikung
B.2 Pemasangan Tikung	:	Proses pemasangan tikung dilakukan saat lokasi tikung sudah dibersihkan (disiang) dan sudah diadakan surve lokasi pada beberapa hari sebelumnya dan sudah ada pemberitahuan kepada ketua priau sebelumnya.Ketika semu itu sudah dilakukan maka petani sudah bisa langsung memasang tikung dilokasi yang diinginkan. Adapun peralata dan bahan yang digunakan untuk memasang tikung adalah kawat,tang,tali,pasak,tukul,paku,kuas seng dan cat yan digunakan sebagai plat (plang nama pemilik tikung).Adapun tehnis cara pemasangan tikungnya adalah dengan car memanjat pohon kayu yang akan dipasangi tikung kemudian diantara pohon tersebut tentunya terdapat dahan-daha yang agak besar kemudian tikung tersebut dipasang diantara dahan-dahan tersebut dengan cara menjepit daun telinga tikung ke dahan-dahan tersebut,nah ketika telinga tikung tersebut sudah terjepit maka daun telinga tikun tersebut diikat dengan tali atau kawat.
B.3 Pra Pemanenan(Survey Kondisi Tikung dan Ujicoba Panen	:	Survey lokasi tikung setidaknya dilakukan 2 kali, survey pertama dilakukan untuk melihat kondisi tikung apakah bersih atau tidak tikung yang berada dilokasi, survey kedua dilakukan untuk melihat lebah apakah ada atau tidak lebah yang menghinggap di tikung. Uji coba panen madu dilakukan untuk melihat apakah sarang yang di hinggapi oleh lebah sudah memiliki madu didalamnya jika saat uji coba pemanenan tersebut menunjukan bahwa didalam sarang lebah terdapat adanya madu maka inspektor akan menginformasikan ke priau masing –masing untuk bisa melakukan pemanenan diesok harinya tinggal diatur kesepakatan kapan akan melakukan pemanenan.
B.4 Pemanenan	:	Sebelum panen sudah dilakukan musyawarah diantara periau dan sudah menentukan hari yang disepakati untuk melakukan pemanenan. Pemanenan dilakukan saat kondisi tikung/sarang lebah sudah ada madu yang mana sudah melalui beberapa tahapan diantaranya sudah melalui survey dan ujicoba panen.Pemanenan selalu dilakukan saat cuaca panas/terang.Adapun peralatan yang digunakan untuk pemanenan adalah :Perahu,bbm,akar miyadin,APD (Alat Pelindung Diri),wadah madu untuk panen (terenung),wadah stainless dan sarung tangan karet.
B.5 Penetesan dan Penyaringan Madu	:	Penetesan dan penyaringan dilakukan secara bersamaan saat selesai pemanenan adapun alat yang digunakan adalah sarung tangan karet,pisau stainless,saringan mess 100 dan 200,wadah stainless,corong dan jerigen.Cara melakukan penetesan adalah dengan mengiris-ngiris sarang madu diatas kain/saringan mess kemudian tinggal ditunggu sampai madunya menetes dari saringan tersebut yang dibawahnya ditaruh wadah stainless,setelah itu madu dimasukan kedalam jerigen.
B.6 Pengemasan	:	Pengemasan dilakukan setelah selesai penetesan,kemudian madu dimasukan kedalam jerigen atau botol da disimpan ditempat yang bersih,aman dan tidak panas (tidak terpapar langsung oleh sinar matahari)

C – AKTIVITAS SETIAP TAHAP PRODUKSI

C1. Pembuatan Tikung

C1.1	Pertanyaan Umum	Apa saja peralatan dan bahan dalam Pembuatan Tikung? Berapa jumlah tikung yang dibuat
	Bahasa Lokal/Istilah tidak umum	Catatan - Mesin Chin Saw (merk falcone) - Genset (merk ecolite) - Kampak - Tang - Gergaji - Cat (merk kuda terbang) - Kuas - Bor - Tali - Kawat (2 m) - Ketam - Pahat - Perahu bahan fiber P = 4m L = 1,2 m - Mesin merk Mercury PK 3,3 th 2005
		:
		:
		:
		:
		:
C1.2	Kayu	Berapa banyak kayu yang dibutuhkan untuk membuat 1 tikung yang telah disebutkan di atas?
	Kayu (m^3)	:’ 1 kayu menjadi 2 tikung (tergantung panjangnya ukuran kayu)
		:ukuran tikung minimal 2 M
C1.3	Listrik	Berapa daya listrik yang dipakai untuk membuat 1 tikung yang telah disebutkan di atas?
	Listrik (Kwh)	:
		:
C1.99	Informasi Tambahan	Apakah ada yang belum diperhitungkan dalam pembuatan tikung dari pertanyaan diatas?
		:

C2. Pemasangan Tikung

C2.1	Pertanyaan Umum	Apa saja peralatan dan bahan dalam Pemasangan Tikung?
	Bahasa Lokal/Istilah tidak umum	Catatan :Kawat
		:Tali
		:Tang
		:tukul
		:Paku

		:Parang Seng almunium Cat (merk kuda terbang) harga 20.000 Kuas
C2.2	BBM transportasi	Apa jenis, merk dan spesifikasi mesin tempel? Berapa kecepatan rata-rata mesin tempel? Berapa konsumsi bensin mesin tempel per jam? Sekali berangkat habis berapa liter? Berapa jam perjalanan? Berapa banyak tikung yang dipasang dalam 1 hari?
	Jenis/Merk/Spesifikasi Mesin Tempel	: Merk Mercury PK 3,3 th 2005
	Kecepatan (km/jam)	:40 km/jam
	Konsumsi bensin (liter/jam)	:1 jam = 5 liter

	Jumlah BBM dalam satu kali perjalanan (Liter)	:3 liter
	Lama Perjalanan (Jam)	: 30 menit
	Jumlah tikung terpasang dalam 1 kali perjalanan	: 10 Tikung
C2.99	Informasi Tambahan	Apakah ada yang belum diperhitungkan dalam penanaman dari pertanyaan diatas?
		:
		:

C3. Prapemanenan (Survei Kondisi dan Uji Coba Panen)

C3.1	Pertanyaan Umum	Apa saja peralatan dan bahan dalam Pra Pemanenan?
	Bahasa Lokal/Istilah tidak umum	Catatan :Perahu
		:APD
		:Terenung
		:Pisau stainless
		:Akar miyadin (digunakan saat uji coba panen saja,saat survey tidak memerlukan akar miyadin hanya membawa buku catatan,pulpen kamera hp dan perahu saja)
		:Sarung tangan karet Wadah stainless
C3.2	Frekuensi Survei Kondisi Tikung	Berapa kali survei kondisi tikung dilakukan?
	Frekuensi Survei (Kali)	: 3 kali survey survey pertama untuk melihat kondisi tikung bersih atau tidak Survey kedua untuk melihat lebah apakah ada atau tidak Survey ketiga untuk melihat apakah tikung sudah bisa dipanen atau tidak

C3.3	BBM transportasi	Apa jenis, merk dan spesifikasi mesin tempel? Berapa kecepatan rata-rata mesin tempel? Berapa konsumsi bensin mesin tempel per jam? Sekali berangkat habis berapa liter? Berapa jam perjalanan? Berapa banyak tikung yang dipasang dalam 1 hari?
	Jenis/Merk/Spesifikasi Mesin Tempel	:Merk Mercury PK 3,3 th 2005
	Kecepatan (km/jam)	:40 km/jam
	Konsumsi bensin (liter/jam)	: 1 jam = 5 liter
	Jumlah BBM dalam satu kali perjalanan (Liter)	:3 liter
	Lama Perjalanan (Jam)	:30 menit
	Jumlah tikung yang disurvei dalam 1 kali perjalanan	:50 Tikung
C3.4	Pembakaran Akar Miyadin	Berapa banyak akar kayu Miyadin yang dibakar dalam satu kali survey?
	Jumlah Akar Miyadin (Kg)	: 1 ikat akar miyadin bisa untuk 5 tikung/sarang lebah
C3.99	Informasi Tambahan	Apakah ada yang belum diperhitungkan dalam Prapemanenan dari pertanyaan diatas?

C4. Pemanenan

C4.1	Pertanyaan Umum	Apa saja peralatan dan bahan dalam pemanenan?
	Bahasa Lokal/Istilah tidak umum	Catatan : APD (Alat Pelindung Diri)
		: Terenong (Jerigen khusus untuk memanen)
		: Pisau Stainless Wadah stainless
		: Sarung Tangan Karet
		: Akar miyadin
		: Perahu = BBM
C4.2	Jumlah tikung yang dipanen	Berapa jumlah tikung yang dipanen?
	Jumlah Tikung	:Januari- pebruari = 20 tikung April-Mei = 15 tikung Juli-Agustus = 18 tikung
	Jumlah hasil panen/sarang madu (kg)	:10 kg madu = ½ kg lilin (jika madunya 10 kg berarti berat sarang ½ kg)
C3.3	BBM transportasi	Apa jenis, merk dan spesifikasi mesin tempel? Berapa kecepatan rata-rata mesin tempel? Berapa konsumsi bensin mesin tempel per jam? Sekali berangkat habis berapa liter? Berapa jam perjalanan? Berapa banyak tikung yang dipasang dalam 1 hari?

	Jenis/Merk/Spesifikasi Mesin Tempel	: :Merk Mercury PK 3,3 th 2005
	Kecepatan (km/jam)	:40 km /jam
	Konsumsi bensin (liter/jam)	: 1 jam 5 liter
	Jumlah BBM dalam satu kali perjalanan (Liter)	:3 liter
	Lama Perjalanan (Jam)	: 30 menit
	Jumlah tikung yang dipanen dalam 1 kali perjalanan	: Dalam satu hari panen 10 tikung dari jam 08.00 pagi –jam 14.00 (cuaca harus panas saat pemanenan karena kalau cuaca tidak panas lebah tidak mau berangkat dari sarang dan resikonya adalah lebah akan menyerang petani
C4.4	Pembakaran Akar Miyadin	Berapa banyak akar kayu Miyadin yang dibakar dalam satu kali survey?
	Jumlah Akar Miyadin (Kg)	: Survey tidak menggunakan kayu miyadin
C4.99	Informasi Tambahan	Apakah ada yang belum diperhitungkan dalam pemanenan dari pertanyaan diatas?
		: 1 ikat akar miyadin bisa untuk 5 sarang lebah
		:

C5. Penetesan dan Penyaringan Madu

C5.1	Pertanyaan Umum	Apa saja peralatan dan bahan dalam penetesan dan penyaringan madu?
	Bahasa Lokal/Istilah tidak umum	Catatan : Saringan mess 100 dan mess 200
		: :Corong
		: :Jerigen
		: Wadah stainless
		: Pisau stainless
		: Sarung tangan karet
C5.2	Jumlah Madu	Berapa Jumlah total madu yang dihasilkan dalam 1 kali proses panen?
	Jumlah Madu (liter/kg)	: 15 kg
C5.3	Bahan yang terbuang	Apakah ada bahan yang terbuang dari proses penyaringan/penetesan sarang madu menjadi madu?
	Jumlah bahan yang terbuang (kg)	: 10 kg madu = ½ kg lilin (jika madunya 10 kg berarti berat sarang ½ kg
C5.99	Informasi Tambahan	Apakah ada yang belum diperhitungkan dalam pengemasan dari pertanyaan diatas?
		:
		:

C6. Pengemasan Madu

C6.1	Pertanyaan Umum	Apa saja peralatan dan bahan dalam pengemasan madu?
	Bahasa Lokal/Istilah tidak umum	Catatan :Jerigen
		:Saringan
		:Timbangan

		:Corong
		:Botol
		:Label
C6.2	Jerigen	Apa wadah yang dipergunakan untuk pengemasan madu yang telah dipanen? Berapa banyak wadah yang dipakai untuk produksi 1 ton madu? Berapa berat rata-rata wadah yang digunakan untuk mengemas (sampling 5 wadah yang dimiliki periau)?
	Jenis Wadah	: Jerigen volume 25 liter (merk green lear)
	Jumlah wadah (Unit)	:1 ton = 40 jerigen
	Volume wadah (liter)	: volume 25 liter
	Berat Rata-Rata Wadah (kg)	: 25 = 1 kg 10 kg = 8 ons 5 kg = ½ kg 1 kg = 3 ons
C6.99	Informasi Tambahan	Apakah ada yang belum diperhitungkan dalam pengemasan dari pertanyaan diatas?
		:
		:

INI ADALAH BAGIAN TERAKHIR DARI SURVEY. TERIMA KASIH ATAS KERJASAMANYA

LAMPIRAN 5. CONTOH MATRIKS INVENTORI DATA

		RESPONDEN TAMBAK GARAM GEOMEMBRAN							
	INPUT	**Unit Fungsional Lokal**	**Ali Marsudi (T)**	**Agung**	**Suntono**	**Sugeng**	**Damiri**	**M.Ridho**	**AVERAGE**
UNIT PROSES 1	**PERSIAPAN LAHAN/PEMBUATAN TAMBAK**								
	Luas lahan yang dipergunakan (Ha)	Hektar	**1.75**	2.5	2.5	1.25	2.5	0.5	
	Total Kebutuhan Lahan Per 1 Ton Garam	Hektar		0.034722222	0.029761905	0.041666667	0.041666667	0.041666667	0.04
	Jumlah Slander	Unit		1	4	2	5	1	
	Daya Tahan Slander (tahun)	Tahun		5	5	5	5	5	
	Massa Slander (Kg)	Kg	1	30	30	30	30	30	
	Massa Slander Per 1 Ton Garam	Kg		0.083333333	0.071428571	0.2	0.1	0.5	0.19
UNIT PROSES 2	**PEMOMPAAN AIR LAUT**								
	Panjang	Meter		96	100	110	100	75	
	Lebar	Meter		43	90	38	90	17	
	Tinggi	Meter		1.5	1.5	2	1.5	1.5	

	Volume Bosem	Liter	765	6192000	13500000	8360000	13500000	1912500	8692900.00
	BBM Mesin Pompa Air laut	Liter	9.708737864	9.71	12	12	15	10	
	Kebutuhan BBM Per Liter Air	Liter		0.00000157	0.00000089	0.00000144	0.00000111	0.0000052288	0.00
	Total Kebutuhan Air Per 1 Ton garam	Liter		27739.25	27739.25	27739.25	27739.25	27739.25	27739.25
	Total Kebutuhan BBM Per 1 Ton Garam	Liter		0.04349938	0.02465711	0.03981711	0.03082139	0.14504184	0.04
									0.15
	Jenis BBM	Solar/Pertalite		Solar	Solar	Solar	Solar	Pertalite	
UNIT PROSES 3	**PENGENDAPAN DAN KRISTALISASI**								
	Jumlah Meja Kristalisasi	Unit	4	2	18	8	16	4	
	Panjang Meja Kristalisasi	Meter	20	35	22	20	20	22	
	Lebar Meja Kristalisasi	Meter	10	8	10	10	10	12	
	Kedalaman	Meter	0.3	0.3	0.3	0.15	0.15	0.3	
	Luas Alas Meja Kristalisasi	Meter Persegi	200	280	220	200	200	264	

	Luas Tanggul Meja Kristalisasi	Meter Persegi	18	25.8	19.2	9	9	20.4	
	Total Luas Kebutuhan Geomembran	Meter Persegi	218	305.8	239.2	209	209	284.4	
	Massa Geomembran	Kg	101.5646976	71.23505626	501.4873418	194.7433193	389.4866385	132.5	
	Masa Penggunaan Geomembran	Tahun		3	3	4	3	3	
	Total Kebutuhan Geomembran Per Panen	Kg		0.989375781	6.965101969	2.028576242	5.409536646	1.840277778	
	Total Kebutuhan Geomembran Per Ton Garam	Kg		0.329791927	1.990029134	1.622860994	2.163814659	3.680555556	1.96
UNIT PROSES 4	**PEMANENAN DAN PENYIMPANAN**								
	Produksi Setiap panen	Ton		3	3.5	1.25	2.5	0.5	2.15
	Jumlah Panen (1 musim)	Kali		24	24	24	24	24	24.00
UNIT PROSES 5	**PENGEMASAN**								
	Karung Plastik Per 1 Ton Garam	Kg		4	4	4	4	4	4.00