

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) UNTUK AMPAS TEBU

(Studi Kasus di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta)

The Development of Life Cycle Assessment (LCA) Software for Bagasse
(A Case Study at Madukismo Sugar Mill, Yogyakarta)

Rosmeika¹, Lilik Sutiarmo², Bandul Suratmo²

¹Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian (BBP Mektan), Situgadung, Legok,
Tromol Pos 2, Serpong, Tangerang, Banten 15310, ²Jurusan Teknik Pertanian,
Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Flora, Bulaksumur, Yogyakarta 55281
E-mail: rmayca@yahoo.com.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu perangkat lunak yang dapat mengolah data menjadi informasi mengenai Life Cycle Assessment (LCA) dari ampas tebu. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data pada proses produksi gula tebu dan pemanfaatan ampasnya untuk bahan bakar ketel uap di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta. Analisis data menggunakan standar analisis LCA berdasarkan ISO seri 14040. Perangkat Lunak LCA yang dikembangkan dapat digunakan untuk melakukan simulasi kondisi dalam input dan output energi, serta emisi dan dampak yang mungkin ditimbulkan dalam proses daur hidup ampas tebu pada industri gula. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak LCA menunjukkan bahwa input energi di stasiun gilingan dan stasiun ketel PG Madukismo lebih besar dibandingkan output energinya, dan pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan bakar lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil.

Kata kunci: Perangkat lunak, life cycle assessment, ampas tebu, pabrik gula tebu

ABSTRACT

This study was conducted to develop software which can process data to be information of bagasse life cycle assessment (LCA). This study was done by collecting data of sugarcane process production and the utilization of bagasse as a boiler fuel at Madukismo Sugar Mill, Yogyakarta. Data analysis utilized the LCA standard analysis based on ISO 14040 series. LCA software which has been developed can be applied in a simulating for condition of energy input, energy output, emission and its impact of bagasse life cycle in the sugarcane industry. The analysis results using LCA software showed that the energy input at the mill and boiler station in Madukismo Sugar Mill was higher than energy output, and bagasse utilization as a boiler fuel was more environmental friendly than fossil fuel.

Keywords: Software, life cycle assessment, bagasse, sugar mill

PENDAHULUAN

Hasil samping dari pengolahan tebu menjadi gula sukrosa yang terbesar adalah ampas tebu, yaitu sekitar 30-40 % dari berat batang tebu yang diolah di pabrik gula. Pada umumnya, sebagian besar dari ampas tebu tersebut digunakan sebagai bahan bakar ketel uap di pabrik gula. Kelebihan produksi ampas tebu biasanya akan ditimbun, sehingga da-

pat menimbulkan masalah bila sarana untuk penimbunannya tidak ada (Sugiyono, 1998). Bila hal tersebut terjadi, maka biaya ekstra harus dikeluarkan bukan hanya untuk transportasi limbah ampas tebu ke tempat penimbunan tetapi juga biaya untuk menyewa area penimbunan tersebut. Dampak dari penimbunan ini adalah timbulnya pencemaran lingkungan (Sawega, 2000).

Pengurangan dampak yang mungkin timbul dari limbah ampas tebu, dilakukan dengan cara daur ulang ampas tebu menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Berdasarkan susunan kimiawinya, ampas tebu berpotensi sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Selain sebagai sumber energi, ampas tebu mempunyai potensi lain seperti untuk bahan baku pembuatan plastik, kertas, papan partikel, silitol, furfural, pakan, gas bio, etanol, dan glukosa.

Pemanfaatan ampas tebu secara optimal dan efisien, memerlukan suatu analisis yang dapat menghitung kebutuhan dan penggunaan energi pada industri gula, serta ketersediaan energi dari ampas tebu dengan mempertimbangkan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan suatu metode untuk menyusun data secara lengkap, mengevaluasi dan mengkaji semua dampak lingkungan yang terkait dengan produk, proses, dan aktivitas. *LCA* dikembangkan salah satunya adalah untuk mengkaji dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pabrik dan proses produksi (Haas, 2000). Selain itu, *LCA* merupakan perangkat yang lazim digunakan untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca, audit energi dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energi dan sumberdaya alam lainnya. *LCA* juga dapat digunakan untuk menentukan potensi pemanasan global dari setiap proses pemanfaatan biomasa.

Perangkat lunak *LCA* dikembangkan untuk mempermudah proses perhitungan dan analisis. Perangkat lunak *LCA* belum dikenal secara luas di Indonesia. Oleh karena itu, perlu dikembangkan suatu perangkat lunak yang dapat menjadi alat bantu dalam pengambilan keputusan mengenai efisiensi produksi dan pengurangan dampak lingkungan guna mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan suatu perangkat lunak (*software development*) yang dapat mengolah data menjadi informasi mengenai *Life Cycle Assessment* dari ampas tebu.

Berdasarkan tujuan penelitian di atas perlu ditentukan batasan-batasan permasalahan, antara lain: 1) Proses kegiatan yang dilakukan hanya terbatas pada satu pabrik gula tebu; 2) *Life Cycle Assessment* pada industri pengolahan gula tebu hanya dibatasi sampai pada ampas tebu sebagai hasil samping (stasiun gilingan) dan pemanfaatannya untuk bahan bakar ketel uap (stasiun ketel); 3) Analisis emisi dibatasi hanya pada emisi udara (gas) yang dihasilkan dari cerobong asap ketel uap (tanpa menganalisis emisi cair dan padat) dan parameter yang dianalisis dibatasi hanya pada emisi CO₂, NO₂, dan SO₂; 4) Analisis dampak dibatasi hanya sampai pada tahapan karakterisasi untuk potensi terjadinya efek rumah kaca, *acidification*, dan *eutrophication*.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data pada proses produksi gula tebu dan pemanfaatan ampasnya untuk bahan bakar ketel uap di Pabrik Gula Madukismo. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada saat turun giling, bulan Juli 2008. Sedangkan seluruh kegiatan penelitian “Pengembangan Perangkat Lunak *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk Ampas Tebu”, berlangsung mulai dari bulan April sampai dengan Desember 2008.

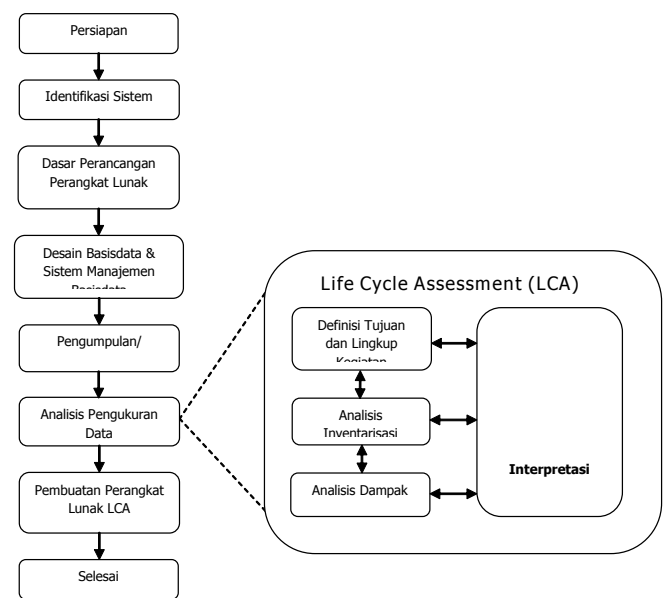
Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbagai pustaka yang terkait dengan ampas tebu dan *LCA*, hasil wawancara, diskusi, data sekunder dan primer (kapasitas giling, kebutuhan air imbibisi, hari giling, daya listrik, suhu uap air, produksi uap, jumlah pekerja, bahan baku (tebu), ampas tebu, nira mentah dan *Fuel Oil (F.O)*). Sedangkan peralatan yang digunakan adalah komputer beserta program komputer (Microsoft Visual Basic 6) untuk membuat perangkat lunak *LCA* dan melakukan analisis data.

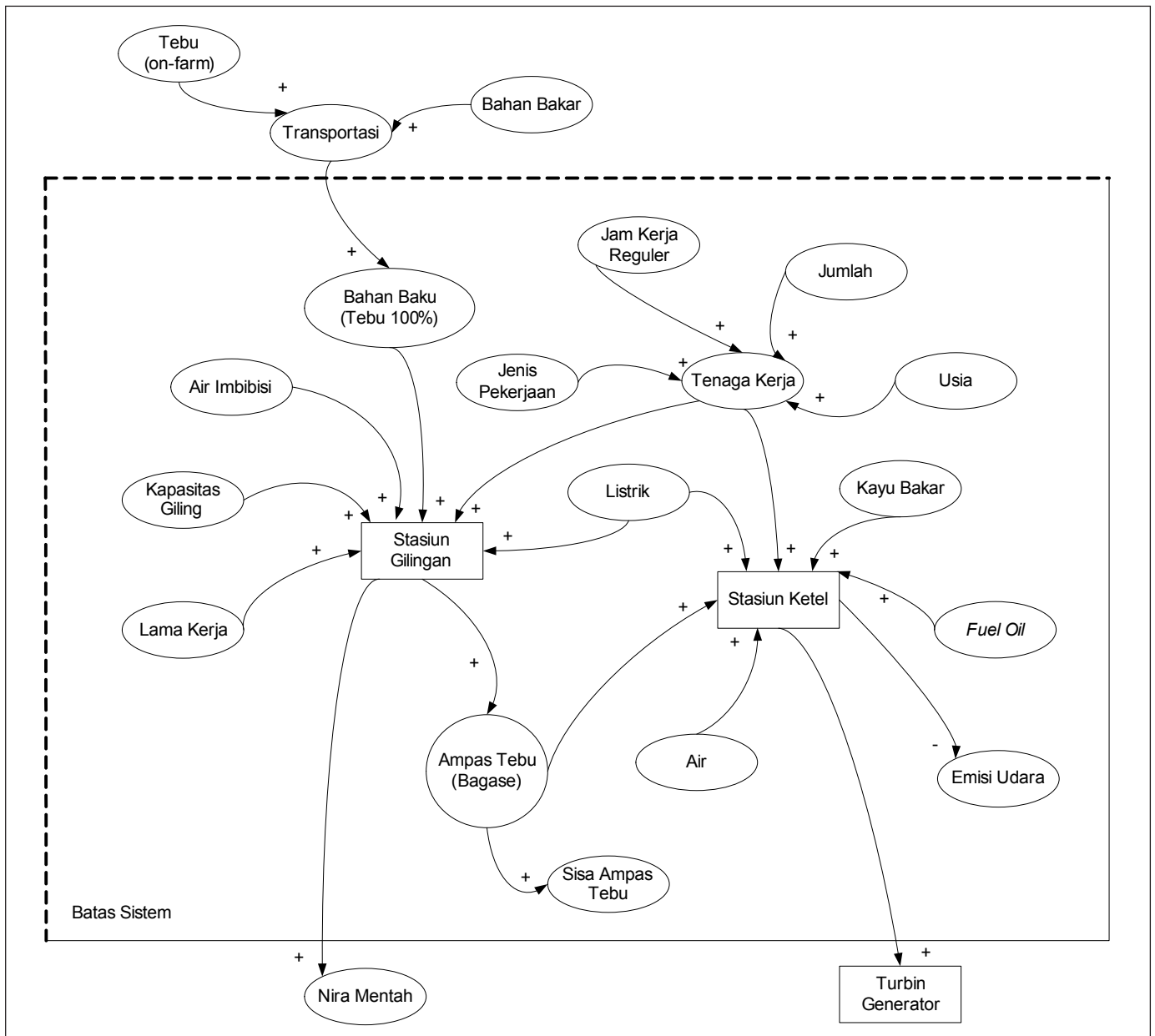
Prosedur Pelaksanaan

Tahapan kegiatan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Tahap awal dari penelitian ini adalah menentukan alur dan batasan sistem berdasarkan judul dan tujuan penelitian, serta dilakukan identifikasi terhadap masukan, proses, dan keluaran yang berhubungan dengan *LCA* ampas tebu (Gambar 2).

Analisis pengukuran data dilakukan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Untuk mem-



Gambar 1. Tahapan kegiatan penelitian

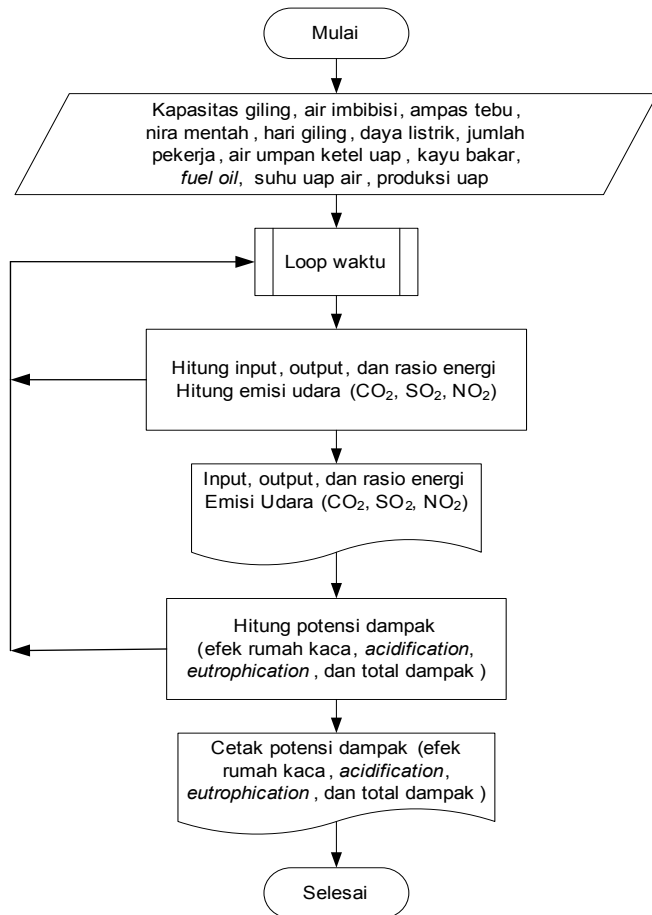


Gambar 2. Diagram causal life cycle assessment (LCA) ampas tebu

permudah proses analisis, maka simulasi perhitungan dibuat berdasarkan asumsi-asumsi sebagai berikut: energi matahari diabaikan karena sudah terwakili oleh suhu ruangan; seluruh pekerja merupakan pria dewasa sehat dan beban pekerjaannya merupakan pekerjaan sedang dengan pengeluaran energi sebesar 7,5 kkal/menit; suhu air imbibisi 65 °C (suhu air imbibisi berkisar antara 60-70 °C); suhu air awal masuk ketel uap 25°C; Panas sensibel air diabaikan karena nilainya jauh lebih kecil dibandingkan dengan panas latent; ampas tebu yang digunakan untuk bahan bakar ketel uap hanya ampas kasar saja, maka diasumsikan ampas yang digunakan untuk bahan bakar ketel sekitar 60% dari total ampas yang dihasilkan dari proses

penggilingan (Darini, 2000); karena bahan bakar kayu yang digunakan oleh PG Madukismo bersumber dari berbagai jenis kayu, maka energi pembakaran kayu bakar yang digunakan pada proses perhitungan dalam perangkat lunak LCA diasumsikan sebesar 4000 kkal/kg (Siflon Drugs LTD., 2006).

Selain menghitung konsumsi dan produksi energi juga dilakukan analisis emisi udara. Pada penelitian ini, beban lingkungan yang dianalisis dan diukur dibatasi hanya sampai ampas tebu sebagai hasil samping dan bahan bakar ketel uap pada proses produksi gula tebu. Beban lingkungan yang mungkin timbul pada batasan proses tersebut adalah emisi udara yang berpotensi pada terjadinya pemanasan global



Gambar 3. Alur proses simulasi pada perangkat lunak ‘LCA Ampas Tebu’

(efek rumah kaca), *acidification*, dan *eutrophication*. Algoritma simulasi *LCA* ampas tebu pada perangkat lunak yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.

Faktor karakterisasi untuk memprediksi potensi terjadinya pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) dari kategori dampak tersebut adalah dengan mengkonversi data emisi untuk memperkirakan dampak yang mungkin timbul untuk waktu 100 tahun horizon. Dimana untuk potensi terjadinya dampak efek rumah kaca semua data emisi udara dikonversikan menjadi setara dengan CO₂ (*CO₂ equivalent*), untuk *acidification* semua data emisi udara dikonversikan menjadi setara dengan SO₂ (*SO₂ equivalent*), dan untuk *eutrophication* semua data emisi udara dikonversikan menjadi setara dengan PO₄ (*PO₄ equivalent*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Daur Hidup Ampas Tebu di PG Madukismo

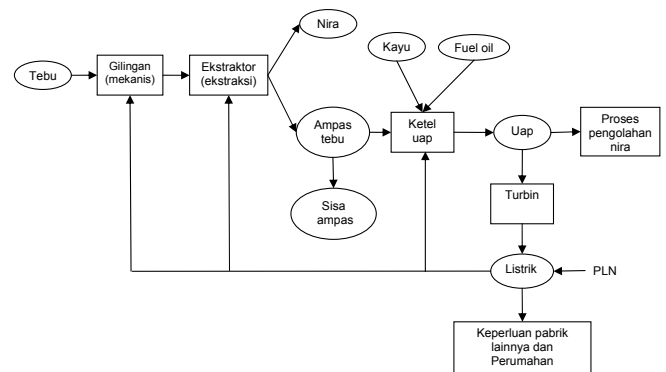
Penggilingan merupakan proses awal pengolahan tebu menjadi gula yang berlangsung di stasiun gilingan. Prinsip utama dari stasiun gilingan adalah memisahkan nira mentah dari ampas tebu dengan cara digiling.

Prinsip kerja pemerahan tebu di stasiun gilingan ini adalah secara mekanik dan ekstraksi. Prinsip pemerahan secara mekanik yaitu, tebu yang telah dicacah kemudian diperah pada rol gilingan, sedangkan untuk pemerahan secara ekstraksi dilakukan dengan cara pemberian air imbibisi yang bersuhu sekitar 60-70 °C pada ampas yang keluar dari gilingan II, III, dan IV.

Nira mentah yang dihasilkan kemudian ditimbang sebelum masuk ke stasiun pemurnian. Ampas yang dihasilkan pada stasiun ini berupa ampas halus dan ampas kasar. Ampas halus akan dihembuskan oleh *blower* yang terdapat dalam *rotary screener* menuju *bagacillo*, sedangkan ampas kasar dikirim melalui konveyor ke stasiun ketel (pusat tenaga) untuk digunakan sebagai bahan bakar ketel uap (Samosir, 2006).

Ketel uap merupakan pembangkit listrik yang menyuplai seluruh kebutuhan daya listrik dalam pabrik sekaligus sebagai pemanas untuk memasak gula. Untuk melakukan kerjanya ketel uap membutuhkan adanya panas yang digunakan untuk memanaskan air. Panas disuplai dari tungku. Sementara tungku akan membuang gas hasil pembakaran (Madjid, 2008).

Ampas tebu dibakar secara langsung di ketel uap untuk menghasilkan uap yang bertekanan (*steam*), yang kemudian energi uap tersebut digunakan untuk menghasilkan tenaga mekanik, tenaga listrik, dan juga digunakan energi panasnya untuk kegunaan pengolahan gula dibagian proses. Diagram alir proses daur hidup ampas tebu di PG Madukismo dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses daur hidup ampas tebu di PG Madukismo

Program Life Cycle Assessment

Program ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk membuat aplikasi yang melibatkan basisdata. Dalam menjalankan program yang telah dibuat, penulis menggunakan data-data dari stasiun penggilingan dan stasiun ketel uap di PG Madukismo.

Program ini diberi nama ‘*Life Cycle Assessment Ampas Tebu*’, yang terdiri dari 4 bagian utama yakni: 1) Menu Utama, 2) *Database Management System (DBMS)*, 3) Proses, dan 4) Keluaran. Tampilan menu utama program *Life Cycle Assessment Ampas Tebu* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan menu utama program life cycle assessment ampas tebu

Perangkat Lunak *Life Cycle Assessment* Untuk Ampas Tebu

Perangkat lunak *Life cycle Assessment* untuk ampas tebu adalah suatu proses untuk memudahkan dalam menganalisis energi, emisi dan dampak yang mungkin ditimbulkan oleh ampas tebu, serta memudahkan pengelola, pelaku usaha dan pengambil kebijakan untuk mengevaluasi proses pengolahan dan penanganan limbah pada industri tebu.

Dengan menggunakan kumpulan data beberapa tahun dalam periode tertentu, diharapkan dapat mengidentifikasi efisiensi dan rasio energi serta memprediksi dampak yang mungkin ditimbulkan oleh limbah industri gula tebu khususnya ampas tebu, sehingga industri gula tebu dapat memperbaiki kinerja yang pada akhirnya mengakibatkan terjadinya pengurangan dampak lingkungan, terciptanya efisiensi energi dan teknologi yang ramah lingkungan dalam mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

Life Cycle Assessment untuk Ampas Tebu di PG Madukismo, Yogyakarta

Life Cycle Assessment (LCA) adalah metodologi untuk mengevaluasi dan mengkaji pengaruh lingkungan yang berhubungan dengan produk, pengolahan, dan aktivitas (Ciambone, 1997; dan Heller dkk., 2007). Setiap fase dari daur

hidup suatu produk dievaluasi dan dikaji, meliputi: ekstraksi dan pengolahan produk; proses produksi; transportasi dan distribusi; pemanfaatan, daur ulang, dan perawatan; serta manajemen limbah. Semua hal itu dilakukan sebagai upaya untuk menganjurkan suatu bentuk produksi dan konsumsi yang berkelanjutan (Heijungs dkk., 1996 dalam Searcy, 2000).

Terdapat empat komponen/tahap dalam standar metodologi *LCA* (Consoli dkk., 1993; dan Searcy, 2000), yaitu: Definisi tujuan dan lingkup kegiatan, analisis inventarisasi, analisis dampak, dan interpretasi.

Data Inventarisasi

Setelah menetapkan tujuan, satuan fungsi dan lingkup kegiatan dari penelitian, tahapan selanjutnya dari *LCA* adalah analisis inventarisasi, yang meliputi data keluaran dan data masukan dari setiap proses ataupun bahan yang ada pada stasiun penggilingan dan ketel uap di PG Madukismo, serta menghitung aliran bahan, energi, dan emisi yang dihasilkan.

Data keluaran dan masukan dari setiap proses tersebut dapat langsung di-input oleh pengguna ke dalam sub menu input pada perangkat lunak *LCA* ampas tebu yang dibuat. Data inventarisasi yang di-input adalah data sekunder dari pabrik mulai dari tahun 1999 sampai 2007. Untuk data pada

stasiun ketel terdapat beberapa data seperti data pemakaian listrik/daya, uap yang dihasilkan, dan suhu uap rata-rata, hanya terdapat data 2 tahun saja yaitu tahun 2006 dan 2007 yang merupakan data *real* dari PG. Madukismo, sedangkan data 7 tahun sebelumnya merupakan data asumsi yang mengacu pada data-data tahun 2006 dan 2007. Hal ini disebabkan karena data sebelum tahun 2006 sudah dimusnahkan (dibakar). Namun, dengan menggunakan data yang ada, tidak mempengaruhi proses pembuatan perangkat lunak.

Analisis Inventarisasi

Analisis Energi

Stasiun Gilingan. Hasil analisis energi di stasiun gilingan yang didapat dengan memasukan data inventarisasi pada perangkat lunak *LCA* yang dibuat adalah sebagai berikut: rata-rata pemakaian (konsumsi) energi per tahun adalah sebesar 2.037.988 GJ (giga joule), sedangkan rata-rata energi yang dihasilkan (produksi) per tahun dari stasiun gilingan sebesar 1.697.494 GJ, rasio energi rata-rata per tahun adalah sebesar 0,84.

Rata-rata konsumsi energi per tahun didapat dari penjumlahan energi yang diperlukan di stasiun gilingan dengan rincian sebagai berikut:

- Rata-rata energi tebu tergilang : 1.794.038 GJ
- Rata-rata pemakaian energi listrik : 1.183 GJ
- Rata-rata energi manusia : 190 GJ
- Rata-rata energi air imbibisi : 242.575 GJ

Sedangkan rata-rata produksi energi per tahun didapat dari penjumlahan energi yang dihasilkan dari stasiun gilingan dengan rincian sebagai berikut:

- Rata-rata energi nira mentah : 535.210 GJ
- Rata-rata energi ampas tebu : 1.162.283 GJ

Stasiun ketel. Hasil analisis energi di stasiun ketel yang didapat dengan memasukan data inventarisasi pada perangkat lunak *LCA* yang dibuat adalah sebagai berikut: rata-rata pemakaian (konsumsi) energi per tahun adalah sebesar 814.883 GJ, sedangkan rata-rata energi yang dihasilkan (produksi) per tahun dari stasiun ketel sebesar 381.885 GJ, rasio energi rata-rata adalah sebesar 0,47.

Rata-rata konsumsi energi per tahun didapat dari penjumlahan energi yang diperlukan di stasiun ketel dengan rincian sebagai berikut:

- Rata-rata energi ampas tebu : 697.370 GJ
- Rata-rata pemakaian energi listrik : 4.734 GJ
- Rata-rata energi manusia : 111 GJ
- Rata-rata energi *fuel oil* (FO) : 63.681 GJ
- Rata-rata energi kayu bakar : 48.984 GJ

Sedangkan rata-rata produksi energi per tahun didapat dari rata-rata energi uap panas (*steam*) yang dihasilkan dari stasiun ketel.

Ketel uap yang terdapat di stasiun ketel PG Madukismo berjumlah 6 buah. Dari data pemakaian energi di atas, terdapat energi *fuel oil* (minyak bakar) dan kayu bakar. *Fuel oil* digunakan sebagai bahan bakar ketel pada saat: *proef stoom* (percobaan/pemanasan ketel) sebelum dilakukan penggilingan, penggilingan awal dimana ampas belum dihasilkan, tekanan ketel uap turun sebagai pemancing agar tekanan kembali ke tekanan yang diinginkan, dan *afwerken* (penyelesaian).

Kayu bakar digunakan sebagai bahan bakar ketel pada saat: *proef stoom* (percobaan/pemanasan ketel), *afwerken* (penyelesaian), dan produksi ampas tidak memenuhi kapasitas bahan bakar ketel uap (terjadi suplesi). Tetapi secara keseluruhan proses, ampas tebu merupakan bahan bakar utama ketel uap.

Hasil analisis energi di atas menunjukkan energi yang dikonsumsi jauh lebih besar dibandingkan yang di produksi. Rasio energi yang hanya sebesar 0,47 menunjukkan bahwa aliran energi di stasiun ketel ini kurang efisien. Untuk meningkatkan rasio energi di stasiun ketel, maka perlu dilakukan minimalisasi penggunaan energi.

Nilai rasio energi di stasiun ketel yang dianalisis bukan merupakan nilai efisiensi ketel uap. Dalam perhitungan konsumsi energi pada analisis inventarisasi *LCA* ampas tebu melibatkan seluruh kebutuhan energi yang ada pada daur hidup ampas (termasuk energi listrik dan energi manusia), sedangkan untuk perhitungan efisiensi ketel uap hanya membandingkan energi dari bahan bakar yang digunakan dengan energi uap yang dihasilkan oleh ketel uap.

Rata-rata produksi uap yang dihasilkan ketel per tahun adalah sebesar 381.885,98 GJ. Apabila dikonversikan ke dalam satuan kilo watt hours (kWh) dengan menggunakan asumsi 5,5 kg uap/kWh (CDM, 2006), maka rata-rata daya listrik per tahun yang dihasilkan oleh ketel uap adalah sebesar 47.482.606,06 kWh. Rata-rata daya listrik yang dibutuhkan PT Madu Baru per tahun (termasuk didalamnya daya listrik untuk PG Madukismo, pabrik spiritus, perumahan, dan lain-lain) adalah sebesar 7.479.355,5 kWh.

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa produksi uap rata-rata per tahun sudah dapat memenuhi kebutuhan daya listrik di PT Madu Baru. Sisa uap yang tidak dipergunakan untuk listrik, dipergunakan untuk proses produksi gula secara keseluruhan.

Meskipun uap yang dihasilkan boiler cukup untuk memenuhi seluruh kebutuhan proses produksi, tetapi efisiensi energi di stasiun ketel sangat perlu untuk dilakukan guna meningkatkan rasio energi.

Dari hasil analisis didapatkan bahwa masih terdapat energi yang bersumber dari ampas tebu yang tidak digunakan untuk bahan bakar ketel uap dengan rata-rata energi sebesar

464.913,51 GJ. Di PG Madukismo, ampas yang sebagian besar adalah ampas halus ini sebagian dimanfaatkan sebagai bahan filtrasi dari nira kotor yang akan mengikat blotong (endapan padat) sehingga menjadi lebih padat, dan sisanya menjadi limbah.

Energi ampas yang tidak digunakan sebagai bahan bakar ketel uap tersebut dapat dimanfaatkan menjadi sesuatu yang bernilai ekonomis tinggi, misalnya sebagai bahan baku pembuatan papan partikel, kertas, atau plastik.

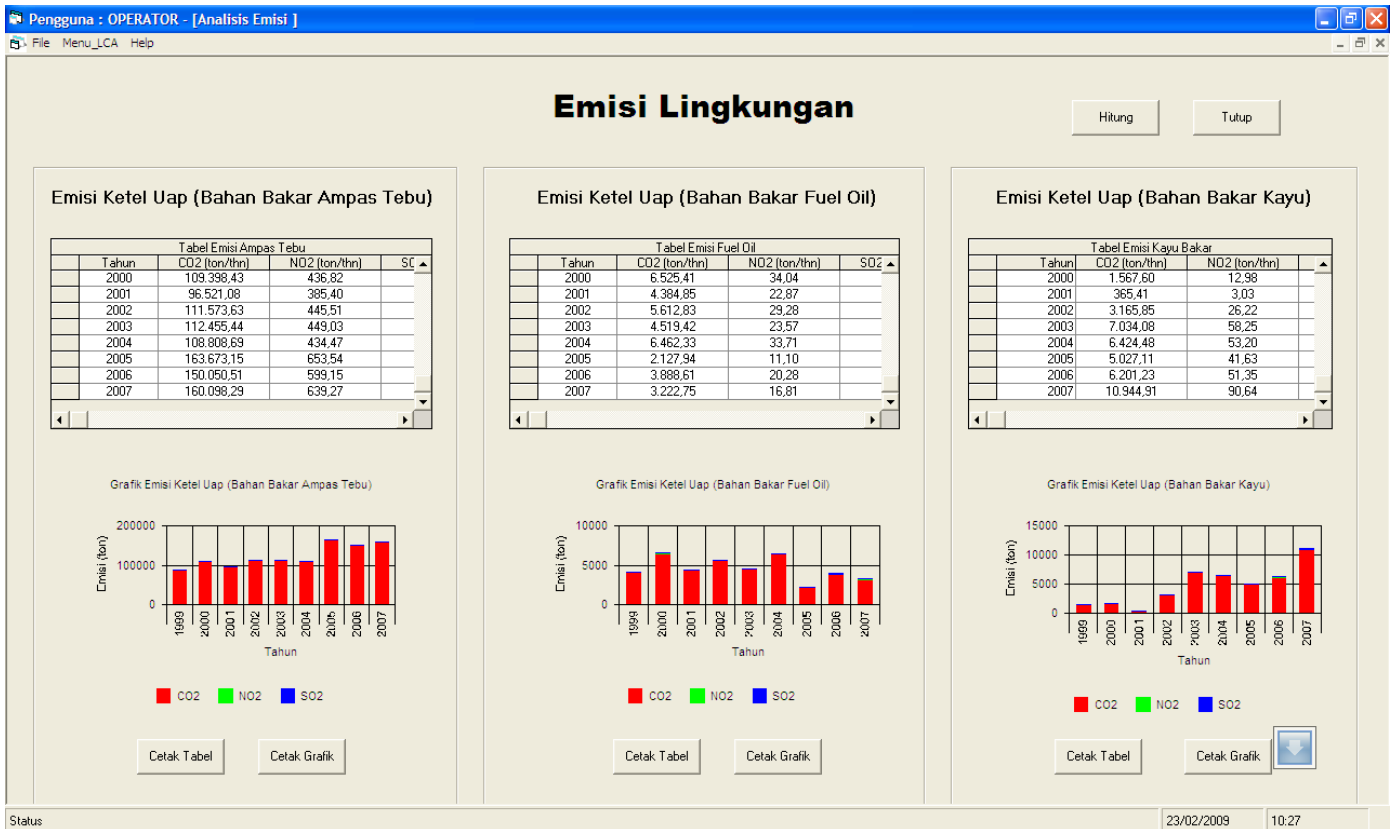
Analisis Emisi

Seperti yang sudah disebutkan di atas bahwa ketel uap di PG Madukismo menggunakan tiga macam bahan bakar yang berbeda, yaitu ampas tebu, *fuel oil*, dan kayu bakar. Bahan bakar utama yang dipakai tetap ampas tebu, dimana pemakaian bahan bakar secara bersamaan jarang digunakan. Sehingga proses analisis emisi bahan bakar dihitung secara terpisah. Emisi yang dihitung terbatas pada emisi CO₂, NO₂, dan SO₂. Hasil analisis emisi dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil analisis emisi di atas dapat dilihat bahwa untuk satuan emisi dalam ton per tahun, ampas tebu menyum-

bangkan emisi tertinggi, tetapi ini dikarenakan penggunaan ampas tebu sebagai bahan bakar ketel uap jauh lebih banyak dibandingkan dua bahan bakar lainnya, mengingat ampas tebu adalah bahan bakar utama ketel uap yang digunakan oleh PG Madukismo. Selain itu, CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran ampas tebu merupakan CO₂ *sequestration*, yang diasumsikan CO₂ tersebut akan diserap kembali oleh tanaman tebu sehingga tidak menimbulkan dampak yang negatif terhadap lingkungan.

Untuk satuan kg emisi per kg bahan bakar, *fuel oil* menghasilkan emisi tertinggi jika dibandingkan dengan ampas tebu dan kayu bakar. Sedangkan penyumbang emisi terendah adalah ampas tebu. Apabila *fuel oil* digunakan sebagai bahan bakar utama ketel uap, maka emisi yang dihasilkan per tahun akan jauh lebih besar dibandingkan dengan menggunakan ampas tebu. Demikian halnya apabila kayu bakar digunakan sebagai bahan bakar utama ketel uap. Oleh karena itu, ampas tebu merupakan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dua bahan bakar lainnya. Tampilan menu analisis emisi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan menu analisis emisi

Analisis Dampak dan Interpretasi

Efek rumah kaca. Beberapa emisi yang dapat memberi pengaruh terhadap efek rumah kaca diantaranya adalah CO₂,

CH₄, dan N₂O. Emisi tersebut dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global. Untuk mengetahui potensi terjadinya dampak efek rumah kaca yang ditimbulkan, emisi tersebut digolongkan dalam derajat kontribusi kerusakan, dimana semua data emisi

udara yang berpengaruh dikonversikan menjadi setara dengan CO₂ (CO₂ equivalent).

Seperti yang sudah diterangkan sebelumnya bahwa CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran ampas tebu merupakan CO₂ sequestration. Dalam LCA, CO₂ ini tidak berkontribusi pada terjadinya dampak efek rumah kaca.

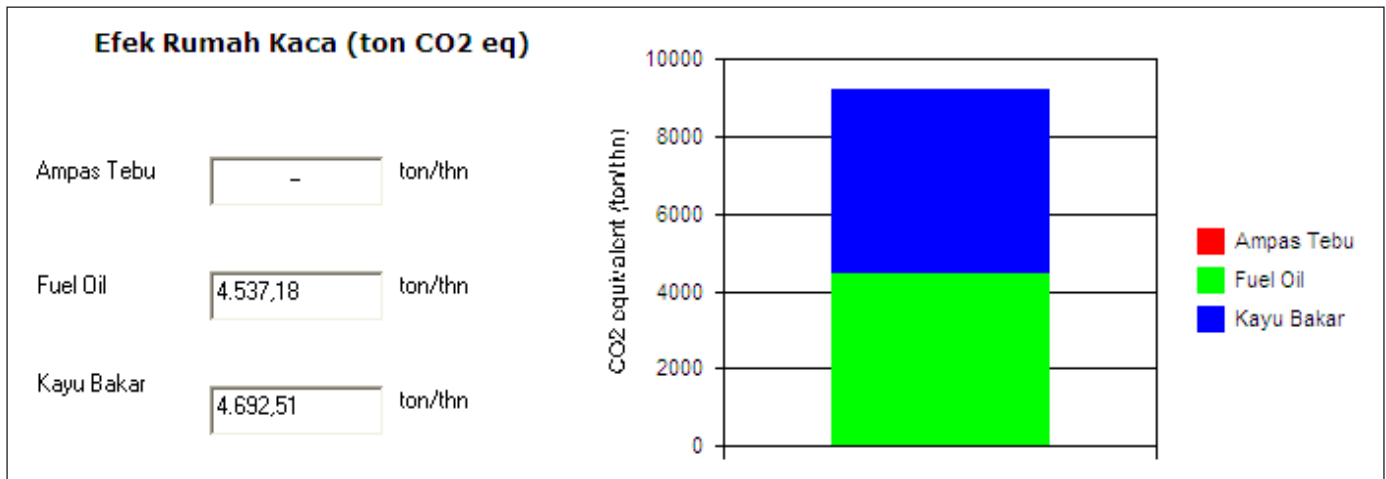
Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar utama ketel uap dapat menurunkan dampak efek rumah kaca menjadi sebesar 4.537,18 ton/tahun yang dihasilkan oleh fuel oil dan 4.692,51 ton/tahun yang dihasilkan oleh kayu bakar. Apabila bahan bakar yang digunakan ketel uap hanya ampas tebu saja, maka tidak akan terjadi dampak efek rumah kaca.

Acidification. Beberapa emisi yang dapat memberi pengaruh terhadap acidification diantaranya adalah SO₂ dan NO₂.

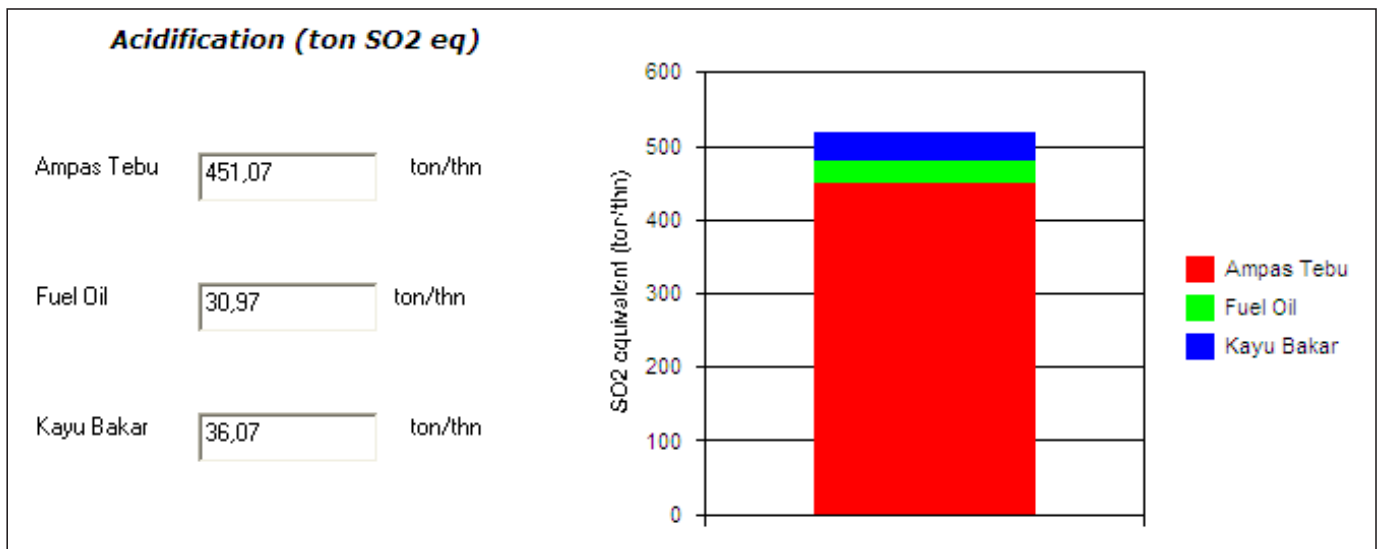
Emisi udara yang berpengaruh tersebut dikonversikan menjadi setara dengan SO₂ (SO₂ equivalent).

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa karena ampas tebu merupakan bahan bakar utama ketel uap (rata-rata ampas tebu yang digunakan sebagai bahan bakar sebanyak 79.770,10 ton per tahun, fuel oil sebanyak 1440,53 ton per tahun dan kayu bakar sebanyak 2488,84 ton per tahun), maka ampas tebu menyumbang dampak acidification terbanyak dibandingkan fuel oil dan kayu bakar.

Eutrophication. Dampak yang dapat ditimbulkan dari eutrophication adalah adanya emisi nitrat dan keracunan pada air bawah tanah (Goedkoop, 1995). Beberapa emisi yang dapat memberi pengaruh terhadap eutrophication diantaranya adalah NO₂ dan N. Emisi udara yang berpengaruh tersebut dikonversikan menjadi setara dengan PO₄ (PO₄ equivalent).



Gambar 7. Hasil analisis potensi terjadinya efek rumah kaca

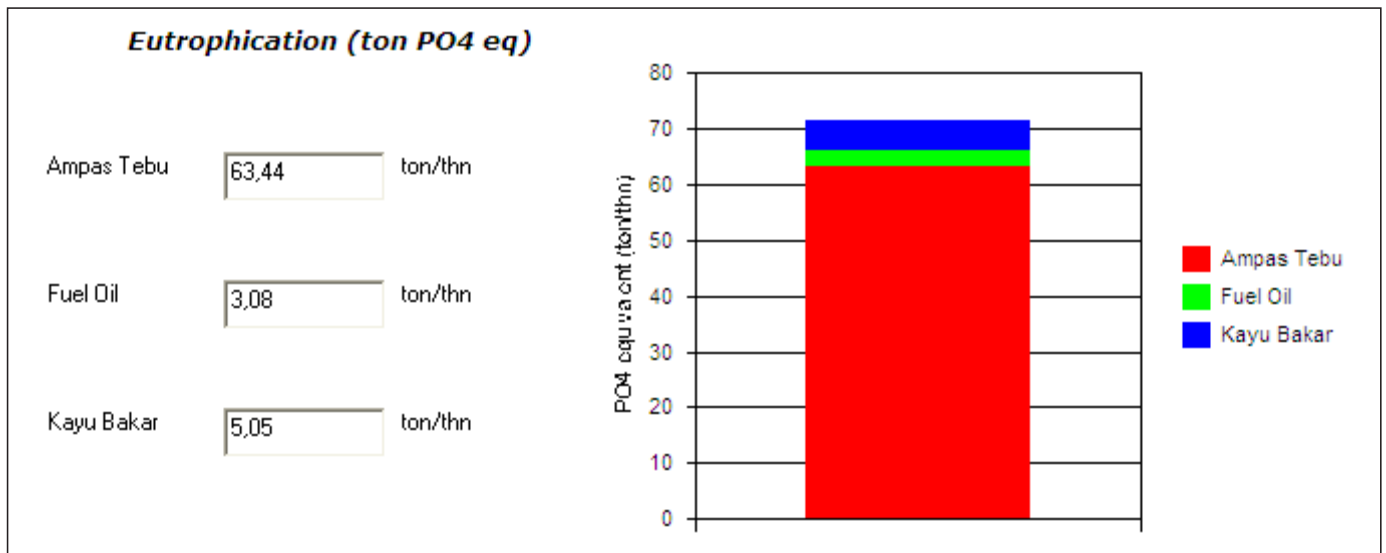


Gambar 8. Hasil analisis potensi terjadinya dampak acidification

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa karena ampas tebu merupakan bahan bakar utama ketel uap, maka ampas tebu menyumbangkan dampak *eutrophication* terbanyak dibandingkan *fuel oil* dan kayu bakar.

Dari hasil analisis potensi terjadinya dampak efek rumah kaca dapat dilihat bahwa penggunaan ampas tebu sebagai bahan bakar ketel uap dapat mengurangi potensi terjadinya dampak efek rumah kaca dibandingkan *fuel oil* dan kayu bakar. Sedangkan untuk *acidification*, dan *eutrophication*, ampas tebu

merupakan penyumbang terbesar terjadinya potensi dampak tersebut, tetapi ini disebabkan ampas tebu merupakan bahan bakar utama dari ketel uap. Jika dilihat dari hasil analisis emisi ketel uap (Tabel 1), untuk satuan kg emisi per kg bahan bakar, ampas tebu menghasilkan emisi jauh lebih rendah dibandingkan *fuel oil* maupun kayu bakar. Apabila *fuel oil* atau kayu bakar yang dijadikan bahan bakar utama ketel uap, tentunya potensi terjadinya dampak *acidification* dan *eutrophication* akan jauh lebih besar dibandingkan ampas tebu.



Gambar 9. Hasil analisis potensi terjadinya dampak eutrophication

Tabel 1. Hasil analisis emisi ketel uap di PG Madukismo

Parameter	Emisi		Ampas Tebu	Fuel Oil	Kayu Bakar
	Satuan				
CO ₂	ton/tahun		122,223.56	4,537.18	4,692.51
	kg emisi/kg bahan bakar		1.53	3.15	1.89
NO ₂	ton/tahun		505.40	23.67	38.86
	kg emisi/kg bahan bakar		0.0063	0.0164	0.0156
SO ₂	ton/tahun		109.44	14.41	8.87
	kg emisi/kg bahan bakar		0.0014	0.0100	0.0036

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat lunak *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk ampas tebu ini dapat memberikan kemudahan dalam menghitung input dan output energi, emisi, serta dampak yang dihasilkan dalam daur hidup ampas tebu pada industri pengolahan gula tebu.
2. Berdasarkan hasil analisis energi pada daur hidup ampas tebu di PG Madukismo menggunakan perangkat lunak ini, diperoleh bahwa rata-rata rasio energi per tahun di stasiun gilingan sebesar 0,84.
3. Input energi di stasiun ketel PG Madukismo jauh lebih besar dibandingkan output energinya. Meskipun produksi uap sudah memenuhi seluruh kebutuhan energi PT Madu Baru, tetapi untuk meningkatkan rasio energi di stasiun ketel diperlukan efisiensi energi dalam sistem ketel uap untuk meminimalisasi kehilangan energi, salah satunya dengan cara perbaikan isolasi yang dapat mengurangi kehilangan panas pada dinding ketel uap dan pemipaan.
4. Berdasarkan hasil analisis emisi dan dampak, ampas tebu merupakan produk yang ramah lingkungan dimana penggunaan ampas tebu sebagai bahan bakar ketel uap dapat mengurangi potensi terjadinya dampak efek rumah kaca dibandingkan *fuel oil* dan kayu bakar. Oleh karena itu, pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan bakar dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh pabrik gula tebu.
5. Perangkat Lunak *LCA* ini dapat digunakan dalam melakukan simulasi kondisi dalam input dan output energi, serta emisi dan dampak yang mungkin ditimbulkan dalam proses daur hidup ampas tebu pada industri gula tebu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ciambrone, D.F. (1997). *Environmental Life Cycle Analysis*, CRC Press LLC. Boca Raton, Florida.
- Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Seguin J. dan Vigon, B., (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice*. SETAC, Brussels.
- Darini, S. (2000). *Analisis Investasi Pembuatan Pabrik Particle Board dalam Memanfaatkan Kelebihan Ampas Tebu (Studi Kasus di PG. Madukismo)*. Tesis. Program Studi Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Goedkoop, M. (1995). *The Eco-indicator 95*. PRé Consultant. Plotterweg 12, 3821 BB-Amersfoort, The Netherlands.
- Haas, G., Wetterich, F. dan Köpke, U. (2000). *Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment*, Institute of Organic Agriculture, University of Bonn, Katzenburgweg 3, D-53115 Bonn.
- Heller, M.C., Keoleian, G.A., Volk, T.A. dan Mann, M.K. (2007). *Life Cycle Assessment of Willow Agriculture and Biomass Energy Conversion System: Methodology and Preliminary Results*, Center for Sustainable System. University of Michigan.
- Madjid, A. 2008. Boiler, Bagasse, dan Energi Listrik. http://abdulmadjid.multiply.com/boiler_PT_Gunung_Madu.htm. [28 November 2008].
- Samosir, M.G. (2006). *Penilaian Kualitas Kinerja Pabrik Gula Madukismo dengan Metode Statistical Quality Control*. Tesis. Program Studi Magister Manajemen Agribisnis. Program Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sawega, A.M. (2000). Paradigma Baru Bagi Limbah, Harian Kompas Edisi Rabu, 12 Juli 2000. <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0007/12/daerah/para22.htm>. [15 Oktober 2007].
- Searcy, C. (2000). An Introduction to Life Cycle Assessment. <http://www.i-clps.com/lca/>. [11 November 2007].
- Siflon Drugs Limited. (2006). Replacement of wood fired boiler with high efficiency coal or oil fired boiler. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. www.energyefficiencyasia.org. [12 Desember 2008].
- Sugiyono, A. (1995). Proses Hydrocarb untuk Biomas dan Bahan Bakar Fosil. Prosiding Prospek Pemanfaatan Biomasa Sebagai Energi di Indonesia, hal. 83-90, September 1995.
- U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation (2001). *LCA 101 – Introduction to LCA*. LCAccess – LCA 101. Cincinnati, Ohio, USA.