



PENGAJIAN DAUR HIDUP AMPAS TEBU DI PABRIK GULA MADUKISMO, YOGYAKARTA MENGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

(*Assessment of Bagasse Life Cycle at Madukismo Sugar Mill, Yogyakarta Using Life Cycle Assessment (LCA) Method*)

Rosmeika¹⁾, Lilik Sutiarmo²⁾, dan Bandul Suratmo²⁾

¹⁾Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian
Situgadung, P.O. Box 2, Serpong 15310, Tangerang, Banten
Telp./Fax : (021) 5376580,70936787; (021) 71695497

²⁾Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Sosio Yustisia, Bulaksumur, Yogyakarta 55281
Telp/fax: 0274-563542

ABSTRAK

Ampas Tebu sebagai hasil samping dari industri pengolahan gula tebu, memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Untuk memanfaatkan ampas tebu secara optimal dan efisien, perlu dilakukan suatu analisis yang dapat menghitung kebutuhan dan penggunaan energi, 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 yang terkait dengan produk, proses, dan aktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daur hidup ampas tebu di Pabrik Gula Madukismo dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengambilan data dan melakukan analisis data menggunakan standar analisis *LCA* berdasarkan ISO seri 14040. Data yang diambil adalah yang berhubungan dengan konsumsi dan produksi energi pada proses produksi gula tebu dan pemanfaatan ampasnya untuk bahan bakar ketel uap di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak *LCA* menunjukkan bahwa input energi di stasiun gilingan dan stasiun ketel PG Madukismo lebih besar dibandingkan output energinya, dengan rasio energi secara berurutan adalah 0,84 dan 0,25. Untuk meningkatkan rasio energi perlu dilakukan minimalisasi penggunaan energi.

Kata kunci : *Life cycle assessment (LCA)*, ampas tebu, pabrik gula tebu, energi.

ABSTRACT

As by product of sugarcane industry, bagasse has potency as an alternative energy source to substitute the fossil fuel. To utilize bagasse in an optimal and efficient condition, it is necessary to make an analysis by calculation of energy requirement, energy utilization, and energy availability of bagasse for environmental impact consideration. *Life Cycle Assessment (LCA)* is a method for compiling data comprehensively, evaluating, and assessing all impact related to products, processes, and activities. This study was conducted to analyze bagasse life cycle at Madukismo Sugar mill by *LCA* method. This study was conducted with data acquisition related to energy consumption and production in sugarcane production process and the utilization of bagasse as a boiler fuel at Madukismo Sugar Mill, Yogyakarta. Data analysis was utilized the *LCA* standard analysis based on ISO 14040 series. Results using *LCA* software has indicated that the energy input at the mill and boiler station in Madukismo Sugar Mill was higher than energy output, while energy ratio was 0.84 and 0.25 respectively. To increase the energy ratio it is necessary to minimize the energy utilization.

Keywords : *Life cycle assessment (LCA)*, bagasse, sugar mill, energy.

PENDAHULUAN

Hasil samping terbesar dari pengolahan tebu menjadi gula sukrosa adalah ampas tebu, yaitu sekitar 30 – 40% dari berat total batang tebu. Pada umumnya, sebagian besar dari ampas tebu tersebut digunakan sebagai bahan bakar ketel uap di pabrik gula dan sisanya digunakan untuk keperluan lain. Kelebihan ampas tebu biasanya akan ditimbun, sehingga dapat menimbulkan masalah bila sarana penimbunannya tidak ada (Sugiyono, 1995). 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).

Untuk mengurangi dampak lingkungan yang mungkin timbul dari limbah ampas tebu, perlu dilakukan daur ulang ampas tebu menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Berdasarkan susunan kimianya, ampas tebu terdiri dari protein, lemak, serat kasar (selulosa, petosan, dan lignin), ekstrak bebas nitrogen, dan abu yang berpotensi untuk 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.

Untuk memanfaatkan ampas tebu secara optimal dan efisien, perlu dilakukan 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) adalah metodologi untuk mengevaluasi dan mengkaji pengaruh lingkungan yang berhubungan dengan produk, pengolahan, dan aktivitas produksi (Ciambrone, 1997; dan Heller *et al.*, 2007). Fase dari daur hidup suatu produk yang dievaluasi dan dikaji meliputi ekstraksi dan pengolahan produk, proses produksi, transportasi dan distribusi, pemanfaatan, daur ulang, perawatan serta manajemen limbah. Semua hal itu dilakukan sebagai upaya untuk merumuskan suatu bentuk produksi dan konsumsi yang berkelanjutan (Searcy, 2000).

LCA dikembangkan 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. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis daur hidup ampas tebu di Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*.

BAHAN DAN METODE

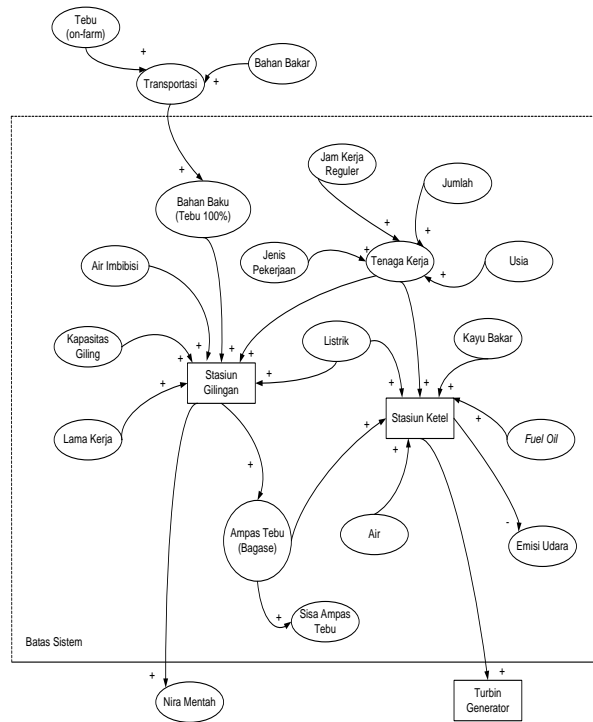
Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data pada proses produksi gula tebu dan pemanfaatan ampasnya untuk bahan bakar ketel uap di Pabrik Gula Madukismo. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada saat turun giling, bulan Juli 2008. Sedangkan seluruh kegiatan penelitian berlangsung mulai dari bulan April sampai dengan Desember 2008.

Bahan dan Peralatan

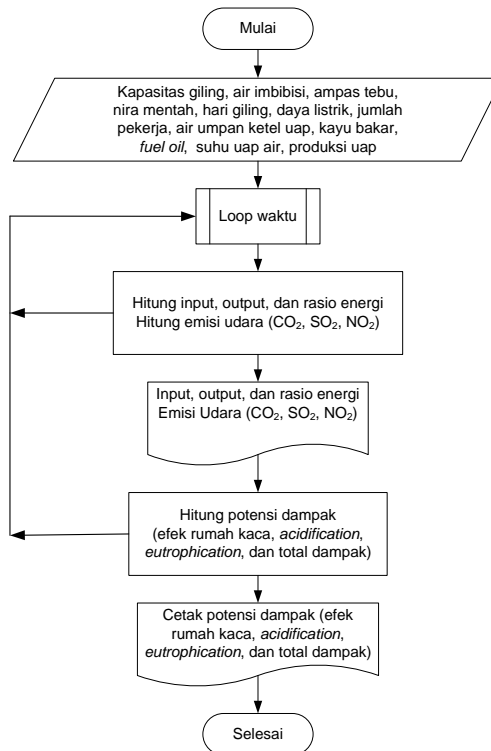
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semua data yang terkait dengan ampas tebu dan *LCA*, hasil wawancara, diskusi, data sekunder dan primer (kapasitas giling, kebutuhan air imbibisi, hari giling, daya listrik, suhu uap air, produksi uap, dan jumlah pekerja), bahan baku (tebu), ampas tebu, nira mentah dan *Fuel Oil (F.O)*. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah komputer dengan kecepatan 1,66 GHz dan memori 512 MB beserta perangkat lunak *LCA* untuk ampas tebu yang dirancang oleh penulis untuk melakukan analisis data.

Metodologi

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 1). Sedangkan proses analisis menggunakan metode *LCA*. Alur proses simulasi *LCA* ampas tebu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram *causal Life Cycle Assessment (LCA)* ampas tebu



Gambar 2. Alur proses simulasi *LCA* 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 *Life Cycle Assessment (LCA)*

Standar metodologi *LCA* terdiri dari empat komponen/tahap, yaitu: mendefinisikan tujuan dan lingkup kegiatan, menganalisis secara terperinci (analisis inventarisasi), menganalisis dampak, dan mengkaji perbaikan (interpretasi).

a. Definisi Tujuan dan Lingkup Kegiatan

Tahap ini merupakan dasar dalam menentukan batasan, asumsi, limitasi, dan prosedur pelaksanaan. Untuk mempermudah 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 laten; 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).

b. Analisis Inventarisasi

Proses pengumpulan data merupakan fokus utama dalam analisis inventarisasi. Pada tahap ini, input dan output yang berhubungan dengan sistem pada industri pengolahan gula tebu diidentifikasi dan diukur dalam satuan fungsi. Semua satuan fungsi dikonversikan kedalam satuan energi. Pada tahap analisis inventarisasi ini, selain menghitung input dan output energi juga dilakukan analisis emisi udara. Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$E = m \times GCV \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

E = energi total, kJ
 m = jumlah bahan yang digunakan, kg
 GCV = nilai energi pembakaran bahan, kJ/kg

Rumus di atas digunakan untuk menghitung energi dari tebu, nira mentah, ampas tebu, kayu bakar dan fuel oil.

$$\text{Energi listrik} = p \times t \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

p = daya listrik, W
 t = waktu, s

$$\text{Energi Air} = m \times L_p \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

m = jumlah air yang digunakan, kg
 L_p = panas laten penguapan air, kJ/kg

$$\text{Energi uap yang dihasilkan oleh boiler} = m \times (h_g - h_f) \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

m = jumlah steam yang dihasilkan, kg
 h_g = entalpi uap jenuh, kJ/kg uap
 h_f = entalpi air umpan, kJ/kg air

c. Analisis Dampak (*Life Cycle Impact Assessment/LCIA*)

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 (efek rumah kaca), *acidification*, dan *eutrophication*.

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 (*Life Cycle*) 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.

LCA Ampas Tebu di PG Madukismo, Yogyakarta

a. 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 gilingan dan stasiun ketel di PG Madukismo, serta menghitung aliran bahan, energi, dan emisi yang dihasilkan. Data inventarisasi yang digunakan adalah data sekunder dari pabrik mulai dari tahun 1999 sampai 2007 (Tabel 1 dan 2).

Tabel 1. Data Inventarisasi di Stasiun Gilingan, PG Madukismo

Tabel Input Data LCA Ampas Tebu								
	Tahun	Kapasitas Giling (TCD)	Air Imbibisi (Ton)	Ampas Tebu (Ton)	Nira Mentah (Ton)	Lama Giling (Hari)	Daya Listrik (Giling) (KWH)	Pekerja Penggilingan (Orang)
▶	1999	3.033,10	74.502,60	95.106,10	266.678,70	98,00	230.072,64	90
	2000	2.697,20	89.528,60	118.999,50	329.982,10	134,00	314.589,12	90
	2001	2.860,90	81.480,50	104.992,00	292.101,40	111,00	260.592,48	90
	2002	2.768,00	88.172,60	121.365,60	331.732,20	134,00	314.589,12	90
	2003	2.822,50	96.021,00	122.324,80	341.424,90	133,00	312.241,44	90
	2004	2.599,40	88.555,50	118.358,00	327.878,10	139,00	326.327,52	90
	2005	2.884,00	120.679,50	178.037,50	411.060,00	164,00	385.019,52	90
	2006	3.049,80	122.425,50	163.219,30	434.829,30	164,00	393.725,50	90
	2007	3.237,30	169.469,70	174.148,90	555.331,50	184,00	422.204,18	90
*								

Tabel 2. Data Inventarisasi di Stasiun Ketel, PG Madukismo

Tabel Input Data LCA Ampas Tebu							
	FO Ketel (Liter)	Pemakaian Air Ketel (Ton)	Produksi Uap (Ton)	Rata2 Suhu Uap Air (oC)	Daya Listrik (Ketel) (KWH)	Kayu Bakar (kg)	Pekerja Ketel Uap (Orang)
▶	1459000	210230	190078	331,70	920.289,58	796618	53
	2327500	263000	237784	318,50	1.258.355,14	831431	53
	1564000	230950	208802	320,30	1.042.368,81	193810	53
	2002000	266980	241382	332,50	1.258.355,14	1679120	53
	1612000	269100	243305	329,80	1.248.964,43	3730770	53
	2305000	261730	236625	319,10	1.305.308,69	3407450	53
	759000	341910	309148	313,30	1.540.076,44	2666306	53
	1387000	347200	313912	330,60	1.574.902,00	3289040	53
	1149500	408700	369353	316,60	1.688.816,72	5805017	53
*							

b. Analisis Inventarisasi

1. Analisis Energi

(1) Stasiun Gilingan

Hasil analisis energi di stasiun gilingan adalah sebagai berikut: rata-rata pemakaian (konsumsi) energi per tahun adalah sebesar 2.037.988,09 GJ (giga joule), sedangkan rata-rata energi yang dihasilkan (produksi) per tahun dari stasiun gilingan sebesar 1.697.494,76 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 tergiling : 1.794.038,52 GJ
- Rata-rata pemakaian energi listrik : 1.183,74 GJ
- Rata-rata energi manusia: 190,10 GJ
- Rata-rata energi air imbibisi : 242.575,73 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 : 535.210,97 GJ
- Rata-rata energi ampas tebu: 1.162.283,79 GJ

(2) Stasiun Ketel

Hasil analisis energi di stasiun ketel adalah sebagai berikut: rata-rata pemakaian (konsumsi) energi per tahun adalah sebesar 1.520.208,96 GJ, sedangkan rata-rata energi yang dihasilkan (produksi) per tahun dari stasiun ketel sebesar 381.885,98 GJ, rasio energi rata-rata adalah sebesar 0,25.

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

- Rata-rata energi ampas tebu: 697.370,27 GJ
- Rata-rata pemakaian energi listrik: 4.734,98 GJ
- Rata-rata energi manusia: 111,95 GJ
- Rata-rata energi air : 705.325,74 GJ
- Rata-rata energi *fuel oil* (FO) : 63.681,30 GJ
- Rata-rata energi kayu bakar : 48.984,71 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. Dimana konsumsi energi terbesar adalah energi air untuk ketel uap. Rasio energi yang hanya sebesar 0,25 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, energi manusia, dan energi air), 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.

2. 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 3.

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

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.

Tabel 3. 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

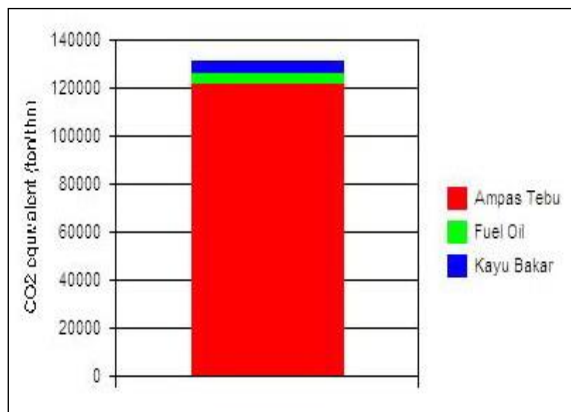
C. Analisis Dampak dan Interpretasi



Pada tahap ini, hasil dari analisis emisi pada tahap analisis inventarisasi diklasifikasikan berdasarkan kategori potensi terjadinya dampak yang ditimbulkan (tahap klasifikasi). Ada beberapa metode untuk menganalisis prediksi dampak pada LCA (tahap karakterisasi). Untuk memprediksi dampak pada penelitian ini menggunakan faktor karakterisasi untuk waktu 100 tahun horizon. Dampak yang dianalisis adalah potensi terjadinya efek rumah kaca, *acidification*, dan *eutrophication*.

1. 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).

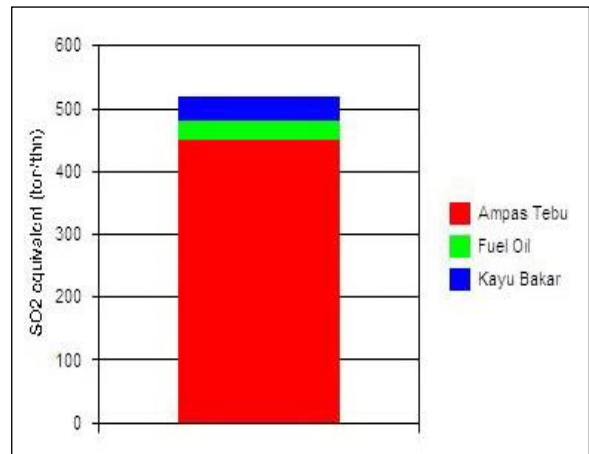


Gambar 3. Grafik kontribusi bahan bakar terhadap efek rumah Kaca

Dari Gambar 3 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 menjadi penyumbang terbesar pada terjadinya dampak efek rumah kaca (122.223,55 ton per tahun) dibandingkan *fuel oil* (4537,18 ton per tahun) dan kayu bakar (4.692,51 ton per tahun).

2. 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).



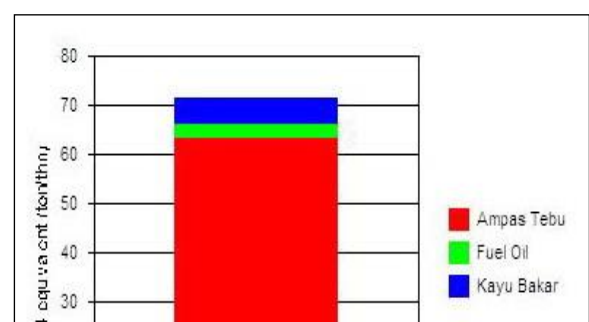
Gambar 4. Grafik kontribusi bahan bakar terhadap Acidification

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan hasil analisis potensi terjadinya dampak *acidification*.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa karena ampas tebu merupakan bahan bakar utama ketel uap, maka ampas tebu menjadi penyumbang terbesar pada terjadinya dampak *acidification* (451,07 ton per tahun) dibandingkan *fuel oil* (30,97 ton per tahun) dan kayu bakar (36,07 ton per tahun).

a. 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).



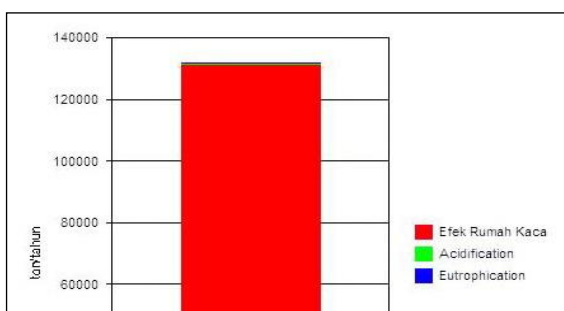
Gambar 5. Grafik kontribusi bahan bakar terhadap *Eutrophication*

Gambar 5 memperlihatkan perbandingan hasil analisis potensi terjadinya dampak *eutrophication*. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa karena ampas tebu merupakan bahan bakar utama ketel uap, maka ampas tebu menjadi penyumbang terbesar pada terjadinya dampak *eutrophication* (63,44 ton per tahun) dibandingkan *fuel oil* (ton 3,08 per tahun) dan kayu bakar (5,05 ton per tahun).

Dari hasil analisis potensi terjadinya dampak efek rumah kaca, *acidification*, dan *eutrophication*, dapat dilihat bahwa 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 3), 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 (efek rumah kaca, *acidification*, *eutrophication*) akan jauh lebih besar dibandingkan ampas tebu.

4. Total Dampak

Total dampak dihitung dengan menjumlahkan potensi terjadinya dampak (efek rumah kaca, *acidification*, *eutrophication*) yang ditimbulkan oleh bahan bakar ampas tebu, *fuel oil*, dan kayu bakar. Gambar 6 memperlihatkan perbandingan jumlah dampak yang ditimbulkan oleh PG Madukismo.



Gambar 6. Grafik total dampak

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa emisi yang dihasilkan oleh ketel uap di PG Madukismo berpotensi lebih besar pada terjadinya dampak efek rumah kaca (131.453,25 ton per tahun) dibandingkan dampak *acidification* (518,11 ton per tahun) dan *eutrophication* (71,57 ton per tahun).

KESIMPULAN

Dari tahapan analisis inventarisasi didapatkan rata-rata rasio energi per tahun di stasiun gilingan PG Madukismo adalah sebesar 0,84. Input energi di stasiun ketel PG Madukismo jauh lebih besar dibandingkan output energinya (rasio energi 0,25). 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.

Berdasarkan hasil analisis emisi dan dampak, ampas tebu merupakan produk yang ramah lingkungan dimana kg emisi per kg ampas tebu jauh lebih rendah dibandingkan kg emisi per kg *fuel oil* maupun kayu bakar. Pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan bakar dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh pabrik gula tebu. Oleh karena itu, pabrik-pabrik gula sebaiknya meminimalkan penggunaan bahan bakar fosil untuk ketel uap dan memanfaatkan semaksimal mungkin biomasa yang dihasilkan oleh pabrik, dalam hal ini adalah ampas tebu.

DAFTAR PUSTAKA

Clean Development Mechanism (CDM). 2006. *Promotion of Renewable Energy, Energy*



- Efficiency and Greenhouse Gas Abatement (PREGA)*. Joypurhat Bagasse Cogeneration Project (JBCP). A CDM Project Design Document. Bangladesh.
- Ciambrone, D.F. (1997). *“Environmental Life Cycle Analysis”*, CRC Press LLC. Boca Raton, Florida.
- 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*: Pre Consultant.
- Haas, G., F. Wetterich, and U. Köpke. (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, Germany.
- Heller, M.C., G.A. Keoleian, T.A. Volk, and M.K. Mann. (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 Biomasa dan Bahan Bakar Fosil*. Prosiding. Prospek Pemanfaatan Biomasa Sebagai Energi di Indonesia, hal. 83-90, September 1995.

