

EFISIENSI ENERGI PADA INDUSTRI BIOETANOL MENGGUNAKAN METODE COGENERATION SYSTEM

Susi Afriani¹, Nanda Putri Miefthawati², Muhammad Ilham³
^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
 Jl. H.R. Soebrantas Km. 15 Panam, Pekanbaru
¹susi.afriani@uin-suska.ac.id,²nandamiefthawati@uin-suska.ac.id

Abstrak— Efisiensi energi pada skala Industri berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan energi. Hal ini yang mendorong industri bioetanol melakukan efisiensi energi, diantaranya dengan menggunakan metode *cogeneration system*. *Cogeneration system* yang dikenal dengan *combined heat and power* (CHP) adalah produksi bersamaan dari energi listrik dan uap atau fluida panas lainnya dengan satu peralatan konversi energi dengan bahan bakar energi terbarukan seperti biogas. Pemanfaatan limbah industri menjadi biogas sebagai bahan bakar pada boiler yang menghasilkan *steam* yang digunakan untuk memutar turbin sehingga generator menghasilkan listrik dan sebagian *steam* yang di hasilkan digunakan untuk pemanasan produk pada suatu rancangan industri bioetanol pada penelitian sebelumnya. Hasil dari perhitungan ini berupa potensi limbah industri sebesar 1.371.980 kg/hari dengan menghasilkan volume produksi biogas sebesar 50.763,26 m³/hari. Sehingga jumlah uap yang dapat dihasilkan sebesar 22.723,894 kg steam/jam. Nilai efisiensi energi yang didapatkan sebesar 46,7% dan total pengurangan emisi yang dapat dilakukan sebesar 178.685,782 tCO₂

Kata Kunci : *Cogeneration system*, Bioetanol, Efisiensi Energi, Emisi

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi mempunyai keterkaitan erat dengan berkembangnya kegiatan ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali. Berdasarkan data *outlook* pengolahan energi nasional tahun 2012 – 2025 maka total konsumsi energi final pada tahun 2012 mencapai 1.017 juta SBM dengan laju pertumbuhan antara tahun 2012 – 2025 sebesar 4,5% per tahun. Berdasarkan data penggunaan energi nasional tahun 2013 terdapat empat sektor utama pengguna energi terbesar yaitu sektor industri sebesar 37,17%, rumah tangga sebesar 29,43%, transportasi 28,10% dan komersial 5,28%. Sampai saat ini, sumber energi yang digunakan sebagian besar masih berasal dari fosil yaitu minyak bumi sebesar 46,9%, batu bara sebanyak 26,4% dan gas alam sebesar 21,9%. [1][2]

Bioetanol merupakan etanol yang berbahan utamanya dari tumbuhan dan umumnya menggunakan proses fermentasi, kemudian dimurnikan dengan destilasi. Indonesia sendiri banyak terdapat tumbuhan yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang konservasi energi yang mewajibkan setiap pengguna energi di atas 6000 TOE/tahun untuk

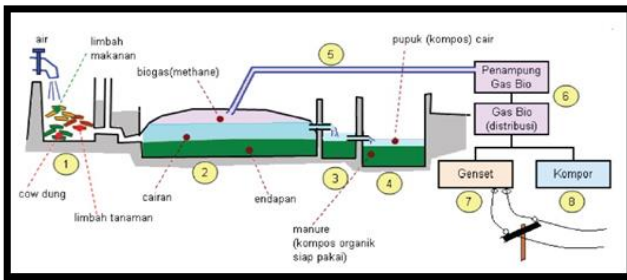
melakukan manajemen energi. Salah satunya penggunaan energi listrik pada rancangan Industri bioetanol pada penelitian sebelumnya dengan total produksi etanol sebesar 10.000 ton/tahun. Rancangan industri bioetanol ini mengandalkan ubi kayu sebagai bahan utama dalam pembuatan bioetanol. Dalam proses produksinya rancangan industri ini membutuhkan suplai listrik dari PLN dan generator kapasitas 60 kWh dalam unit proses pengolahan, manufaktur, pengemasan maupun untuk unit utilitas pendukungnya. Pada industri ini *steam* dihasilkan dari boiler yang berbahan bakar solar dengan kapasitas keluaran *steam* sebesar 2585,9872 kg/jam. Hal itu yang mendorong industri bioetanol harus melakukan efisiensi energi mengingat krisis energi yang terjadi pada saat sekarang ini, maka industri di tuntut menjadi industri yang mandiri energi. [3][4]

Untuk menjadikan industri yang mandiri energi serta upaya dalam menghadapi krisis energi maka salah satu caranya ialah dengan memanfaatkan ampas dan kulit ubi kayu yang dihasilkan dari proses pembuatan bioetanol yang selama ini belum dimanfaatkan dengan baik. Ampas dan kulit ubi kayu memiliki kadar karbohidrat yang cukup tinggi namun hanya digunakan sebagai pakan ternak atau sebagai pupuk. Sekitar 18,9 juta ton per tahun penggunaan ubi kayu dapat menghasilkan ampas sekitar 1,89 – 3,78 juta ton sedangkan kulit luar mencapai 0,3 – 0,9 juta ton. *Cogeneration system* yang dikenal dengan *combined heat and power* (CHP) adalah produksi bersamaan dari energi listrik dan uap atau fluida panas lainnya dengan satu peralatan konversi energi. Limbah ubi kayu berupa ampas dan kulit ubi kayu dapat dikelola secara anaerobik untuk dimanfaatkan sebagai sumber biogas. [5][6]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembentukan Biogas

Limbah industri bioetanol seperti ampas, kulit luar serta air limbah bekas pencucian ubi kayu merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Biogas merupakan *renewable energy* yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti minyak tanah dan gas alam. Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan – bahan organik seperti limbah industri bioetanol, jerami dan kotoran ternak. [14].



Gambar. 1 Instalasi Digestifikasi Anaerobik PLTBg [14]
 Dalam mendesain digester yang diperlukan adalah menghitung potensi energi yang ada pada limbah industri bioetanol ubi kayu. Perhitungan pembangkit biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari parameter input yang didapat dari pabrik. Parameter itu meliputi total limbah, setiap pengolahan satu ton ubi kayu dihasilkan limbah padat berupa kulit ubi kayu sebanyak 300 kg. sehingga setiap hari industri bioetanol ini menghasilkan limbah sebesar. Dari pengertian diatas didapat persamaan : [14]

$$\text{Total Limbah (kg/hari)} = \text{banyaknya produksi (ton/jam)} \times 0,3 \text{ ton} \quad (1)$$

B. Total Solid Content (Ts) dan Volatile Solid (Vs)

Pengertian *total solid content* (Ts) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik.

$$\%Ts = 4,2 \text{ kg/hari} : 20 \text{ kg/hari} = 21 \quad (2)$$

$$Ts = \%Ts (\%) \times \text{bahan baku harian (kg/hari)} \quad (3)$$

Contoh %Vs dengan total limbah 20 kg/hari. Sehingga didapat persamaan : [14]

$$\%Vs = 3,8 \text{ kg/hari} : 20 \text{ kg/hari} = 19\% \quad (4)$$

$$Vs = \%Vs (\%) \times \text{bahan baku harian (kg/hari)} \quad (5)$$

Untuk mendapatkan potensi volume biogas untuk limbah ubi kayu dapat menggunakan persamaan : [14]

$$\text{Potensi Volume Biogas} = \text{Potensi biogas} \times \text{bahan baku harian} \quad (6)$$

Untuk menghitung laju produksi gas tiap m³ perhari (K) dapat menggunakan persamaan: [14]

$$\text{Volume Produksi Biogas} = K \times Vs \quad (7)$$

Sehingga dapat diketahui perhitungan produksi Gas metana dengan persamaan : [14]

$$\text{VGM} = 70\% (\text{tabel 2 komposisi biogas limbah}) \times \text{VBS} \quad (8)$$

Dalam menghitung jumlah bahan baku dapat menggunakan persamaan : [14]

$$\text{Jumlah bahan baku } Q = \text{Jumlah limbah Ubi kayu} + \text{air} \quad (9)$$

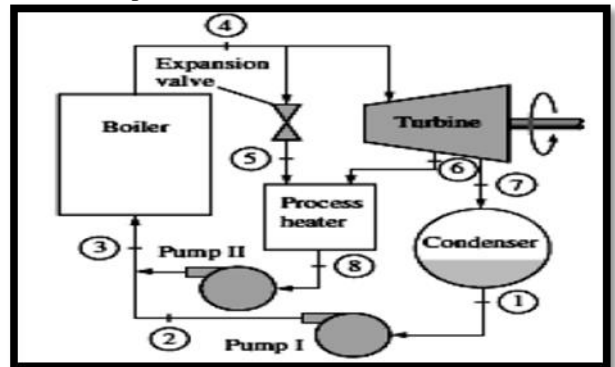
Total Volume Digester (V) menggunakan persamaan : [14]
 $V = Vc + Vgs + Vf + Vs$ (10)

Berdasarkan jumlah volume bahan baku (Q), maka dapat ditentukan volume kerja digester (*working volume digester*) yang merupakan penjumlahan volume ruangan penyimpanan (Vgs) dan volume ruangan fermentasi (Vs) dengan persamaan : [14]

$$\text{Volume Kerja Digester} = Vgs + Vf \quad (11)$$

C. Pengertian Cogeneration System

Cogeneration adalah produksi bersamaan dari uap (fluida panas lainnya) dan listrik dengan satu peralatan konversi energi. *Cogeneration* selain dapat beroperasi dengan bahan bakar fosil juga dapat digabungkan/dikawinkan dengan sumber energi terbarukan (gas atau padat). Seperti untuk gas terdiri dari biogas yang dihasilkan dari sampah pertanian dan limbah organik yang mengandung gas seperti jerami. Sedangkan untuk limbah padat terdiri dari limbah hutan dan limbah perkotaan. [17].



Gambar.2 Skema Pembangkit Cogeneration[21]

Enthalpi uap diambil dari data tabel uap (*steam table*) untuk uap *superheated* 400°C , 32 barg didapat h₁ sebesar 3226,3 kJ/kg. enthalpi air masuk dihitung pada kondisi cair, temperatur 105°C, 32 barg didapat h₀ sebesar 442,28 kJ/kg. Dengan mengambil asumsi efisiensi boiler 85% yang dapat dibangkitkan dari bahan bakar tersedia adalah sebagai berikut : [23]

$$E_{BB} = \text{VBS (m}^3/\text{jam)} \times \text{nilai kalor pembakaran biogas (kJ/m}^3) \quad (12)$$

Sehingga dapat menentukan jumlah laju aliran uap yang dapat dihasilkan dari pembakaran biogas dengan persamaan : [10]

$$\pi = Q(h_1-h_0)/E_{BB} \quad (13)$$

kalor yang dihasilkan oleh *steam* yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan : [10]

$$Q_{in} = m (h_1 - h_0) \quad (14)$$

Sehingga uap yang digunakan untuk pemanasan produk dapat dihitung dengan sebagai berikut : [10]

$$Q_p = m (h_4 - h_6) \quad (15)$$

Sehingga kalor masuk untuk memutar turbin dapat dihitung dengan persamaan [10]

$$W_{\text{turb in}} = m (W_{\text{pump in}}) \quad (16)$$

Sehingga kalor keluaran turbin dapat dihitung dengan tekanan dan suhu tetap h₁ = h₃ dan sisa uap dari turbin dalam keadaan *saturated mixture* dengan tekanan 0,14 Mpa sebesar 2122,94 kJ/kg. menggunakan persamaan : [10]

$$W_{\text{turb out}} = m (h_3 - h_5) \quad (17)$$

Sehingga kerja total turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut : [10]

$$W_{\text{net}} = W_{\text{turb out}} - W_{\text{turb in}} \quad (18)$$

D. Pengurangan emisi

Pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Selain sumber – sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ dan CH₄ termasuk dari beberapa emisi penghasil gas rumah kaca. CH₄ mempunyai sifat polutan 21 kali jika dibandingkan CO₂. Dalam menghitung pengurangan emisi dari mengganti bahan bakar fosil dapat menggunakan beberapa persamaan berikut : [24]

$$\text{Energi listrik per tahun} = \text{kapasitas terpasang} \times 24/\text{hari} \times 330 \text{ hr/tahun} \quad (19)$$

Untuk menghitung emisi faktor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : [24]

$$\text{emission faktor (tCO}_2\text{/MWh)} = \text{volume bhn bakar fosil/energi yang dihasilkan} \times \text{faktor emisi bahan bakar} \times \text{kandungan bahan bakar} \quad (20)$$

Sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan akibat penggantian bahan bakar dapat dihitung dengan persamaan : [24]

$$\text{emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} = \frac{\text{energi listrik pertahun}}{\text{emission factor}} \times \quad (21)$$

Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan dapat menggunakan persamaan berikut : [24]

$$\text{Jumlah Gas Metan} = \frac{\text{volume gas metan yang dihasilkan}}{\quad} \quad (22)$$

$$\text{Jumlah Gas Metana} = \text{jumlah gas metan} \times \text{massa jenis gas} \quad (23)$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \frac{\text{jumlah gas metan} \times \text{GWPI}}{10^{-3}} \quad (24)$$

GWPI (*Global Warming Potential Index*) CH₄ = 21

Total pengurangan emisi = penggantian bahan bakar+pembakaran gas metana.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan tahapan :

A. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan langkah awal setelah studi literatur. Data produksi dan total limbah industri bioetanol dari penelitian sebelumnya serta mengetahui karakteristik dan kebutuhan steam dan listrik pada.

B. Pengolahan data

Perhitungan data meliputi perhitungan potensi limbah dan gas metana yang dihasilkan,serta pemilihan sistem PLTBg yang tepat untuk menghasilkan biogas. Perhitungan selanjutnya adalah konversi steam menggunakan sistem *cogeneration*.

C. Analisis Efisiensi sistem cogeneration dan penurunan emisi.

Berdasarkan perhitungan dan pengolahan data yang sudah dilakukan, tahap selanjutnya adalah menganalisis efisiensi sistem secara keseluruhan dengan adanya *cogeneration*. Hal ini ditinjau dari subsistem pembakaran dan boiler, turbin uap dan sistem generator. Analisis pengurangan emisi dilihat dari perhitungan secara matematis yang terdapat pada tinjauan pustaka dari substitusi bahan bakar fosil serta pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi sisa limbah ubi kayu di Industri Bioetanol

Industri bioetanol berkapasitas produksi 10.000 Ton pertahun dengan waktu beroperasi 330 hari dalam setahun sehingga basis 190553,2828 kg/jam. [4] Berdasarkan penelitian sebelumnya setiap 1 ton ubi kayu dihasilkan limbah padat berupa kulit ubi kayu sebanyak 300 kg sehingga berdasarkan persamaan 2.1 setiap hari industri bioetanol ini menghasilkan limbah sebesar. [18]

$$\begin{aligned} \text{Total Limbah harian} &= 190,5533 \text{ ton/jam} \times 0,3 \text{ ton} \\ &= 57,165 \text{ ton/jam} \\ &= 57,165 \text{ ton/jam} \times 24 \\ &= 1371,98 \text{ ton/hari} \\ &= 1.371.980 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan data potensi yang ada didapat hasil sebagai berikut :

Tabel . Hasil perhitungan kapasitas biogas dan PLT Biogas

No	Jenis Proses Perhitungan	Hasil Perhitungan
1	Potensi Limbah Industri (Q)	1.371.980 kg/hari
2	Perhitungan jumlah dari <i>total solid</i> (Ts)	411.594 kg/hari
3	Perhitungan jumlah dari <i>volatile solid</i> (Vs)	384.154,4 kg/hari
4	Perhitungan jumlah volume produksi biogas (VBS)	50.763,26 m ³ /hari
5	Perhitungan jumlah volume gas metan (VGM)	35.534,282 m ³ /hari

Sehingga diketahui volume masing – masing bagian digester, yaitu :

Tabel 2. Volume masing – masing bagian digester

Jenis Proses Perhitungan	Hasil Perhitungan
Volume Total Digester (V)	20.500 m ³
Volume Ruang penampungan gas (Vc)	1.025 m ³
Volume ruang penyimpanan gas (Vgs)	1.265,875 m ³
Volume ruang fermentasi (Vf)	15.134,125 m ³
Volume rang hidrolis (VH)	1.265,875 m ³
Volume lapisan penampungan lumpur (Vs)	3.075 m ³

Tabel 3. Dimensi Ukuran Rancangan Digester

Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai	Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai
V1	$0,0827 \times D^3$	3.794,5 m ³	f1	D/5	7,16 m
V2	$0,05011 \times D^3$	2.299 m ³	f2	D/8	4,475 m
V3	$0,3142 \times D^3$	14.416 m ³	S1	$0,911 \times D^2$	1.167,5 m ²
R1	$0,725 \times D$	26 m	S2	$0,8345 \times D^2$	1.069,5 m ²
R2	$1,0625 \times D$	38 m			

B. Perhitungan Konversi Steam/Uap panas yang dihasilkan dari pembakaran Gas Metana dengan Cogeneration system

$$Q = \frac{\eta \times E_{BB}}{h_1 - h_0}$$

$$Q = \frac{0,85 \times 74.427.971 \text{ kJ/jam}}{(3226,3 \text{ kJ/kg} - 442,28 \text{ kJ/kg})} = \frac{63.263.775,4 \text{ kJ/jam}}{2.784,02 \text{ kJ/kg}} = 22.723,894 \text{ kg uap/jam}$$

$$Q = 22.723,894 \text{ kg uap/jam}$$

kalor yang dihasilkan oleh boiler dengan laju aliran uap/steam 22.723,894 kg uap /jam

$$Q_{in} = m (h_1 - h_0)$$

$$Q_{in} = 22.723,894 \text{ kg/jam} (3.226,3 \text{ kJ/kg} - 442,28 \text{ kJ/kg})$$

$$= 22.723,894 \text{ kg/jam} (2.784,02 \text{ kJ/kg})$$

$$= 63.263.775,4 \text{ kJ/jam}$$

Dimana 1 kJ/jam = 0,27 watt sehingga 1 kJ/jam = 0,00027 kW

$$= 17.573,27 \text{ kW}$$

Berdasarkan data tersebut maka dapat dihitung kalor pemanasan produk

$$Q_p = m (h_4 - h_6)$$

$$= 3.000 \text{ kg/jam} (2.805,7 \text{ kJ/kg} - 837,25 \text{ kJ/kg})$$

$$= 3.000 \text{ kg/jam} (1.968,45 \text{ kJ/kg})$$

$$= 5.905.350 \text{ kJ/jam}$$

$$= 1.640,375 \text{ kW}$$

Sehingga kalor masuk untuk memutar turbin

$$W_{\text{turb in}} = m (W_{\text{pump in}})$$

$$= 19.723,894 \text{ kg/jam} (W_{\text{pump in}})$$

$$= 19.723,894 \text{ kg/jam} (4,16 \text{ kJ/kg})$$

$$= 82.051,399 \text{ kJ/jam}$$

$$= 22,79 \text{ kW}$$

Menghitung daya kalor keluaran turbin

$$W_{\text{turb out}} = m (h_3 - h_5)$$

$$= 19.723,894 \text{ kg/jam} (3.226,3 \text{ kJ/kg} - 2022,94 \text{ kJ/kg})$$

$$= 19.723,894 \text{ kg/jam} (1.203,36 \text{ kJ/kg})$$

$$= 23.734.945,1 \text{ kJ/jam}$$

$$= 6.593,04 \text{ kW}$$

Sehingga kerja total turbin generator

$$\begin{aligned} W_{\text{net}} &= W_{\text{turb out}} - W_{\text{pm out}} \\ &= 6.593,04 \text{ kW} - 22,79 \text{ kW} \\ &= 6.570,25 \text{ kW} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan total kerja turbin dan kalor steam untuk pemanasan produk yang dibutuhkan industri. Maka efisiensi dari pembangkit cogeneration system dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{\text{co}} = \frac{W_{\text{net}} + Q_p}{Q_{\text{in}}} = \frac{6.570,25 \text{ kW} + 1.640,375 \text{ kW}}{17.573,27 \text{ kW}}$$

$$\eta_{\text{co}} = \frac{8.210,625 \text{ kW}}{17.573,27 \text{ kW}}$$

$$\eta_{\text{co}} = 0,467 = 46,7\%$$

C. Keterpenuhinya Kebutuhan Steam dan Listrik Industri Bioetanol dengan Menggunakan Cogeneration system

Dengan diketahuinya input pembakaran biogas pada boiler yang terdapat pada cogeneration system sebesar 22.723,894 kg uap/jam dapat menghasilkan panas kalor sebesar 17.573,27 kW. Pada industri bioetanol kalor untuk pemanasan produk dalam produksi dibutuhkan sebesar 2585,9872 kg/jam. Dengan menggunakan cogeneration system dengan pembakaran biogas hasil limbah industri bioetanol dapat menghasilkan total kalor pembakaran sebesar 17.573,27 kW dengan menggunakan valve maka sebagian kalor pemanasan sebesar 3000 kg/jam atau setara 1.640,375 kW dipisahkan agar steam dalam pengoperasian industri dapat terpenuhi. Sedangkan sebagian steam lainnya sebesar 19.723,894 kg/jam atau setara 6.593,04 kW di salurkan menuju turbin untuk memutar sudu – sudu turbin sehingga menghasilkan keluaran listrik sebesar 6.570,25 kW maka dapat terpenuhinya kebutuhan listrik industri bioetanol. Sehingga dengan terpenuhinya kebutuhan steam dan listrik industri bioetanol dengan menggunakan cogeneration system maka system ini dapat dikatakan layak.

D. Analisis Efisiensi yang dihasilkan Cogeneration system

Sistem pembangkit pada industri bioetanol merupakan sistem pembangkit cogeneration dimana kalor panas dimanfaatkan untuk pemanasan produk. Uap yang berasal dari boiler dengan laju aliran 22.723,894 kg uap/jam yang menghasilkan daya kalor sebesar 17.573,27 kW dialirkan untuk pemanasan produk dan pembangkit. Pada pemanasan produk steam yang dibutuhkan industri bioetanol dialirkan massa uap dengan laju aliran sebesar 2585,9872 Kg/jam untuk mempertimbangkan ketika sewaktu – waktu industri mengejar produksi maka pada penelitian ini uap pemanasan menjadi 3000 kg/jam. Uap yang menuju pemanasan produk (Medium Pressure Steam) memiliki 230°C dan tekanan 13,5 bar. Sehingga daya kalor yang masuk pada valve pemanasan produk sebesar 1.640,375 kW. Sedangkan sebesar 19.723,894 kg/jam massa uap lainnya dialirkan menuju HP stage turbin dengan tekanan 40 bar dan suhu 400°C yang digunakan untuk memutar turbin yang kemudian energi kinetik tersebut diubah menjadi listrik menggunakan generator yang menghasilkan daya listrik sebesar 6.570,25 kW.

Berdasarkan tabel perhitungan daya kalor diatas, Dengan terpenuhinya kebutuhan steam industri sebesar 2585,9872 kg/jam atau 3000 kg/jam dan terpenuhinya

kebutuhan listrik pada industri sebesar 60 kWh. Maka dengan menggunakan *cogeneration system* yang memanfaatkan limbah industri bioetanol sebagai bahan bakar dapat menghasilkan efisiensi energi sebesar 46,7% dimana total kalor energi untuk menghasilkan listrik dan kalor untuk pemanasan produk di bagi dengan total kalor energi hasil pembakaran biogas seluruhnya pada boiler. Sehingga didapat 46,7% sebagai efisiensi keseluruhan *cogeneration system*. Berdasarkan penelitian terdahulu nilai efisiensi PLTU dapat dikatakan baik apabila mencapai nilai efisiensi sebesar 35%. [27] Sehingga pemakaian *cogeneration system* pada industri bioetanol ini dapat dikatakan layak dikarenakan efisiensi yang dapat dilakukan industri dengan memanfaatkan limbah yang tidak di manfaatkan sebelumnya untuk menghasilkan energi bersih dengan total efisiensi sebesar 46,7%.

E. Perhitungan Pengurangan Emisi

Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil adalah sebagai berikut :

- Menghitung besarnya energi listrik per tahun yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga biogas dengan persamaan 2.19 yaitu :

$$\text{Energi listrik per tahun (MWh)} = \text{kapasitas terpasang pembangkit (MW)} \times 8760 \text{ h}$$

$$\text{Kapasitas terpasang pembangkit} = 8.210,625 \text{ kW}$$
 Sehingga,

$$\text{Energi Listrik per tahun (MWh)} = 8.210,625 \text{ kW} \times 24 \text{ h/hari} \times 333 \text{ hari/tahun}$$

$$= 65.619,315 \text{ MWh/tahun}$$
- Menghitung emission factor CO₂ pembangkit dengan menggunakan persamaan 2.20 yaitu :
 Untuk menghitung emission factor, digunakan asumsi sebagai berikut :
 - Bahan bakar yang digunakan adalah solar/MFO

Tabel 4. Spesifikasi Bahan Bakar [14]

Fuel Type	(A)	(B)			(C)
	Density Kg/m ³	NVC		EF KgCO ₂ /TJ	
Data		TJ/Gg	TJ/liter		
PERTA MINA	PERTA MINA	IP CC	-	-	
HS D	845	42,73	-	0,000 038	74,10 0
MF O	990	41,02	-	0,000 041	77,40 0
Natural Gas	-		48,00	-	58,10 0

- Energi yang dihasilkan = 65.619,315 MWh/tahun
- Emission Faktor Bahan Bakar = 77,400 KgCO₂/TJ = 77,400 x 10⁻³ tCO₂/TJ
- 1 TJ = 277,778 MWh

Sehingga,

$$\text{Emission factor (tCO}_2\text{/MWh)} = 77,400 \times 10^{-3} \text{ tCO}_2 / \text{TJ} : 277,778 \text{ MWh/TJ} = 0,0002786 \text{ tCO}_2\text{/MWh}$$

- Menghitung emisi CO₂ dengan persamaan 2.22 sebagai berikut :

$$\text{Emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = \text{energi listrik per tahun (MWh)} \times \text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)}$$

$$\text{Emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = 65.619,315 \text{ MWh} \times 0,0002786 \text{ tCO}_2\text{/MWh}$$

$$= 18,28 \text{ tCO}_2\text{/tahun}$$

Perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana adalah sebagai berikut :

- Menghitung besarnya gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari instalasi biogas berdasarkan persamaan 2.22 yaitu :

$$\text{Jumlah Gas Metana (m}^3\text{)} = \text{Volume gas metana yang dihasilkan}$$

$$\text{Jumlah Gas metana (m}^3\text{)} = 35.534,282 \text{ m}^3\text{/hari}$$

- Menghitung besarnya gas metana (CH₄) dalam satuan Kg gas berdasarkan persamaan 2.24 yaitu :

$$\text{Jumlah Gas Metana (Kg)} = \text{Jumlah gas metana (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis gas}$$

$$\text{Sesuai Massa Jenis Gas Metana adalah } 0,656 \text{ kg/m}^3, \text{ sehingga}$$

$$\text{Jumlah gas metana (Kg)} = 35.534,282 \text{ m}^3\text{/hari} \times 0,656 \text{ kg/m}^3$$

$$= 23.310,4 \text{ kg/hari}$$

- Menghitung gas metana (CH₄) yang dikonversi menjadi CO₂ berdasarkan persamaan 2.25 yaitu :

$$\text{Emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = (\text{jumlah gas metana (kg)} \times \text{GWPI CH}_4) \times 10^{-3}$$

$$\text{GWPI (Global Warming Potential Index) CH}_4 \text{ adalah:}$$

$$\text{Emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = 23.310,4 \times 21 \times 10^{-3}$$

$$= 489,5 \text{ tCO}_2\text{/hari}$$

Dalam satu tahun, emisi yang dikurangi adalah :

$$\text{Emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = 365 \times 489,5 \text{ tCO}_2$$

$$= 178.667,5 \text{ tCO}_2$$

Sehingga total pengurangan emisi CO₂ pembangkit listrik tenaga biogas adalah :

$$\text{Total pengurangan emisi} = \text{Pengurangan emisi akibat mengganti bahan bakar fosil}$$

$$+ \text{Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana}$$

$$= 18,28 \text{ tCO}_2 +$$

$$178.667,5 \text{ tCO}_2$$

$$= 178.685,782 \text{ tCO}_2$$

Setelah dilakukan suatu perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar biogas maka didapatkan total pengurangan emisi yang dapat dilakukan sebesar 178.685,782 tCO₂. Analisis lingkungan berkaitan dengan pengaruh antara lingkungan sekitar dengan daerah pendirian PLT Biogas. Dengan pendirian biogas menciptakan perubahan bentuk lingkungan sekitar baik itu dalam bentuk positif maupun negatif tergantung dari dampak yang dihasilkan dari PLT Biogas. Dari analisis

lingkungan PLT Biogas dengan *cogeneration system* memberikan dampak : [24]

1. Menjaga ekosistem lingkungan sekitar karena dalam proses mendapatkan sumber energi tidak merusak lingkungan dan dapat selalu diperbarui.
2. Bersifat ramah lingkungan dikarenakan dalam menghasilkan energi listrik tidak menimbulkan asap yang menyebabkan polusi udara.
3. Tidak menimbulkan efek gas rumah kaca dibandingkan dengan penggunaan pembangkit listrik dari energi fosil.
4. Menciptakan lingkungan di sekitarnya menjadi daerah yang bersih dan sehat. Dikarenakan limbah yang berpotensi menimbulkan bau serta tempat berkembangnya bibit penyakit.
5. Memaksimalkan proses daur ulang limbah industri bioetanol.

Dengan diketahuinya besar total pengurangan emisi dan dampak keuntungan yang didapatkan dengan menggunakan biogas sebagai bahan bakar pada *cogeneration system* pada industri maka dapat dikatakan sistem ini baik untuk dikembangkan dalam mencapai efisiensi..

V. KESIMPULAN

Penerapan *cogeneration system* pada industri bioetanol dari potensi jumlah limbah padat ubi kayu sebesar 1.371.980 kg/hari dapat menghasilkan gas metana sebesar 35.534,282 m³/hari, dapat menghasilkan potensi *steam boiler* sebesar 22.723,894 kg uap/jam dengan total kerja turbin 23.734.945,1 kJ/jam dan kalor pemanasan produk sebesar 5.905.350 kJ/jam. Dengan total kerja turbin 23.734.945,1 kJ/jam dapat menghasilkan keluaran listrik *cogeneration system* sebesar 6.593,04 kW. Efisiensi energi yang dapat dihasilkan sebesar 46,7 %. Dengan memanfaatkan kalor untuk pemanasan produk sebesar 5.905.350 kJ/jam. Diketahuinya jumlah pembakaran gas metana yang dapat dilakukan sebesar 35.534,282 m³/hari dengan mengganti bahan bakar fosil maka dapat mengurangi emisi sebesar 18,28 tCO₂ dan mengurangi emisi akibat pembakaran gas metana sebesar 489,5 tCO₂/hari. Sehingga dalam setahun total pengurangan emisi yang dapat dilakukan sebesar 178.685,782 tCO₂.

REFERENSI

- [1] Anonim, *Data Outlook Pengolahan Energi Nasional*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2008.
- [2] Anonim, *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta: Departemen ESDM, 2008.
- [3] Anonim., "Konservasi Energi". <http://konservasi.energiIndonesia.info>. [Diakses april 2012].
- [4] Yurnalis., "Studi Kelayakan dan Perencanaan Produksi Industri Bioetanol Skala Komersil di Provinsi Riau sebagai Alternative Pengganti Bahan Bakar". Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2015.
- [5] Hikmiyati, N., & Yantie, N. S. "Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong melalui Proses Hidrolisa Asam dan Enzimatis". Universitas Diponegoro, 2008.
- [6] Aden et all, "Lignocellulosic biomass to ethanol proses design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis for corn stover", *National Renewable Energy Laboratory*, Report No TP-510-32438, 2002.

- [7] T. Haryati, "Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif" *Jurnal Wartazoa*. Vol 16: 160-169, 2006.
- [8] Joaquim E.A. Seabra, Isaias C. Macedo., "Comparative analysis for power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in brazil". Faculdade de Engenharia Mecanica, Brazil, 2010.
- [9] Mahmud., "Analisis Tekno Ekonomi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Anaerobik Biogas dengan Memanfaatkan Kotoran Sapi di Desa Galang", *Jurnal ELKHA Vol.7 No.2 Jurusan Teknik Elektronika Industri*, Pontianak, 2015.
- [10] Lamsihar S. Tamba, Harmen, dan A. Yudi Eka Risano., "Kajian Analitis Sistem Pembangkit Uap Kogenerasi", *Jurnal FEMA. Volume 1 No. 3 Jurusan Teknik Mesin*, Universitas Lampung, 2013.
- [11] Febijanto.Irhan., "Optimasi Pemanfaatan Gas Metana sebagai Sumber Energi di Pabrik Kelapa Sawit", *Jurnal Teknologi Lingkungan. Vo.19 No.01*, Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia, 2018.
- [12] Adan, Helmi. "Optimasi Sistem Kogenerasi pada Ketel Uap di Pabrik Gula". *Jurnal Simki-Techsain Vol.01 No.10.*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri, 2017.
- [13] Dea I. A., "Kajian Awal Biokonversi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menjadi Etanol melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Alkoholik. Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [14] Waskito, Didit. "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Perternakan Sapi", Jurusan Manajemen Energi dan Ketenaga Listrikian, Universitas Indonesia, 2011.
- [15] Budiman R.Saragih. "Analisis Potensi Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik dan Termal pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan", Thesis Universitas Indonesia, 2010.
- [16] Sulisty, A. "Analisis Kapasitas Pembangkit dan Perhitungan Pengurangan Emisi pada Pemanfaatan Sampah Organik di Pasar Induk Keramat Jati", Thesis Universitas Indonesia, 2010.
- [17] Yunus, Asyari, "Mesin Konversi Energi". Universitas Darma Persada Jakarta, 2007.
- [18] ESCAP, "Proceeding of the workshop on co-generation of electricity and proses heat United Nation". New York, 1983.
- [19] Morgan., "Cogeneration and System Turbine". *Tribology Transsaction*. Volume 35. 2006.
- [20] UNEP., "Pedoman efisiensi energi untuk industri di Asia". Genava Switzerland, 2004.
- [21] UNESCO., "Efisiensi Energi Advantage pada Sistem Kogenerasi". Asian, 2000.
- [22] Anonim., "Cogeneration memangkas biaya dan emisi". *Majalah listrik Indonesia* edisi Iltahun III april 1998. Jakarta, 1998.
- [23] Wibowo, Ari, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Sawit (PLTBS) Kapasitas 5 MW, jurnal mekanika dan sistem termal vol 1(2), jurusan teknik mesin, Politeknik LPP Yogyakarta, 2016.
- [24] Gusvita, Rinda dkk., Analisis Potensi Energi dan Pengurangan Emisi CO₂ dengan Pengolahan Limbah Perternakan Sapi Rakyat di Kecamatan Jati Agung Kabupaten Lampung Selatan, *Journal of Science and Applicative Technology Vol.1 No 2*, Institut Teknologi Sumatera, 2017