

# Swa-Sembada Energi dan Air Proses Produksi Gula Tebu

Gunawan<sup>1</sup>, Rahmawati<sup>2\*</sup>, Rudy Syahputra

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup>gunawanelektro@pnl.ac.id

<sup>2\*</sup>rahmawatielektronika@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

**Abstrak**— Kebutuhan energi dan air proses produksi gula kristal putih (GKP) relatif besar. Sumber energi dan air pabrik gula dapat dipenuhi sendiri melalui konsep berkelanjutan dengan upaya mengoptimalkan semua potensi pabrik gula demi tercapainya peningkatan daya saing global. Pengukuran dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, menganalisa dan menghitung kebutuhan dan potensi energi dan air berdasarkan material input dan output produksi GKP. Tujuan penelitian adalah menganalisis kebutuhan dan potensi energi dan air dalam proses produksi gula kristal putih (GKP). Kebutuhan dan potensi energi dan air dalam proses produksi GKP menggunakan pendekatan keseimbangan massa. Aliran energi dihitung dari segi kebutuhan energi pada kebun tebu, transportasi dan produksi gula. Material produksi meliputi bahan bakar dan listrik sebagai energi utama, dan energi tambahan yang digunakan dalam produksi bahan kimia yang digunakan dalam proses pertanian dan industri. Potensi energi diperoleh dari produk dan hasil samping sebagai energi output. Penelitian ini menilai energi input, energi output dan rasio energi selama kegiatan produksi gula. Kebutuhan energi pabrik gula 29.87 GJ/ton GKP. Total potensi energi pabrik gula 52 GJ/ton GKP. Perbandingan energi output terhadap input disebut dengan Net Energy Ratio (NER) gula sebesar 1.7 menunjukkan bahwa pabrik gula mampu menghasilkan surplus energi. Pabrik gula membutuhkan air 5 ton/ton GKP, potensi air sebesar 9.73 ton/ton GKP, sehingga pabrik gula menghasilkan surplus air sebesar 4 ton/ton GKP.

*Kata kunci*— air, energi, gula, keseimbangan massa

**Abstract**— The energy and water needs of the white crystal sugar (GKP) production process are relatively large. Energy and water sources for sugar factories can be fulfilled by themselves through a sustainable concept by optimizing all the potential of sugar factories in order to achieve increased global competitiveness. Measurements are made by identifying, measuring, analyzing and calculating the demand and potential for energy and water based on the input and output materials of GKP. The research objective was to analyze the needs and potentials of energy and water in the production process of white crystal sugar (GKP). The demand and potential for energy and water in the GKP production process uses a mass balance approach. The energy flow is calculated in terms of energy demand in sugarcane plantations, transportation and sugar production. Production materials include fuel and electricity as the main energy, and additional energy used in the production of chemicals used in agricultural and industrial processes. The energy potential is obtained from products and by-products as energy output. This study assesses the energy input, energy output and energy ratio during sugar production activities. Sugar factory energy needs 29.87 GJ/ton GKP. The total energy potential of the sugar factory is 52 GJ/ton GKP. The ratio of output energy to input is called the Net Energy Ratio (NER) of sugar of 1.7, indicating that sugar factories are able to produce a surplus of energy. Sugar factories need 5 tonnes of water/tonne of GKP, the potential for water is 9.73 tonnes/tonne of GKP, so that sugar mills produce a water surplus of 4 tonnes/tonne of GKP.

*Keywords*— energy, mass balance, sugar, water

## I. PENDAHULUAN

Proses produksi gula kristal putih (GKP) menggunakan energi dan air dalam jumlah besar, sehingga pasokan energi mempengaruhi kelancaran produksi. Pabrik gula (PG) Indonesia umumnya memenuhi kebutuhan energi dari ampas tebu dan energi fosil yang dikenal sebagai Industrial Diesel Oil (IDO) dan solar. Pabrik gula Subang menggunakan 170 258 liter IDO dan 84 820 liter solar untuk jumlah tebu 343 646.88 ton atau 0.74l/ton tebu pada tahun 2011[1]. Pabrik gula di Indonesia mempunyai kapasitas giling 3 000-7 000 TCD, membutuhkan 1 650-3 850 ton uap per hari dengan asumsi pabrik membutuhkan 550 kg uap per ton tebu [2, 3]. Penggunaan air selama proses produksi gula sekitar 2.1-2.8 m<sup>3</sup> per ton tebu [4, 5]. Pabrik gula membutuhkan air sebagai air imbibisi, pencucian dan pendinginan peralatan. Kebutuhan energi dan air tersebut terus meningkat seiring pertambahan jumlah kebutuhan gula.

Kebutuhan dan potensi energi dan air dalam proses produksi gula kristal putih (GKP) menggunakan pendekatan keseimbangan massa. Aliran energi dihitung dari segi kebutuhan energi pada kebun tebu, transportasi dan produksi gula meliputi bahan bakar dan listrik sebagai energi utama, dan energi tambahan yang digunakan dalam produksi bahan kimia yang digunakan dalam proses pertanian dan industri.

Potensi energi diperoleh dari produk dan hasil samping sebagai energi output.

Tujuan penelitian adalah menganalisis kebutuhan dan potensi energi dan air dalam proses produksi gula kristal putih (GKP). Diharapkan PG menjadi efisien energi dan air sehingga tidak menggunakan sumber dari luar, tetapi memanfaatkan seluruh potensi hasil samping. Dalam hal ini swasembada diartikan sebagai kemampuan PG untuk memenuhi kebutuhan energi dan air secara mandiri. Keberlanjutan efisiensi industri juga dikaitkan dengan indikator lingkungan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Model keseimbangan massa proses produksi gula diperoleh melalui identifikasi kompartemen dan persamaan keseimbangan massa. Persamaan untuk menentukan masuknya tebu dan bahan tambahan (input) serta keluaran berupa produk dan hasil samping (output) antar kompartemen. Model tersebut dibangun berdasarkan kompartemen pada tahapan proses. Persamaan umum keseimbangan massa (Persamaan 1):

$$\text{Input (I)} = \text{Produk (P)} + \text{Hasil samping (C)} \quad (1)$$

Perhitungan aliran dan neraca massa dalam penelitian ini menggunakan model yang dikembangkan oleh [6]. Dari setiap

kompertemen dibuat persamaan neraca massa dan persamaan efisiensi (nisbah output terhadap input dari kompartemen).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Keseimbangan massa proses produksi GKP

Proses produksi GKP meliputi input, output (produk, produk samping) berdasarkan data inventori pabrik gula. Model keseimbangan massa proses produksi gula diperoleh melalui identifikasi kompartemen masuknya tebu, bahan tambahan dan keluaran antar kompartemen. Langkah awal pembuatan model kesetimbangan massa adalah mengidentifikasi proses setiap kompartemen produksi. Persamaan kesetimbangan massa adalah untuk menentukan masukan bahan baku dan bahan tambahan, serta keluaran antar kompartemen. Langkah pertama pembuatan model keseimbangan massa adalah mengidentifikasi proses setiap kompartemen produksi. Model keseimbangan dikembangkan menjadi dua tahap, yaitu model sederhana dan kompleks. Model sederhana dibangun dengan asumsi bahwa sistem produksi merupakan satu kompartemen yang terbuat dari input dan output berupa produk dan produk sampingan. Model kompleks dibangun sesuai tahapan proses produksi [7].

Proses pengolahan tebu menjadi gula kristal putih terdiri dari beberapa unit operasi penggilingan, pemurnian, penguapan, masakan dan kristalisasi. Pada tahap ini diperoleh aliran input output material, potensi dan kebutuhan energi dan air pabrik gula. Analisis neraca massa berdasarkan proses produksi GKP dilakukan pada setiap kompartemen untuk periode satu tahun dengan masa giling 180 hari (12 periode). Data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder pabrik gula berupa kebutuhan energi, bahan baku dan hasil samping yang dihasilkan. Data primer dari hasil wawancara dan observasi pabrik gula kristal putih, data sekunder diperoleh melalui tinjauan pustaka. Aliran massa setiap pabrik gula dapat berbeda tergantung dari kinerja pabrik gula. Indikator efisiensi pabrik gula adalah rendemen yang diwakili oleh kinerja pabrik gula (efisiensi teknis), perkebunan tebu (kualitas tebu), dan produktivitas [8]. Aliran massa proses pembuatan gula ditunjukkan pada Gambar 1.

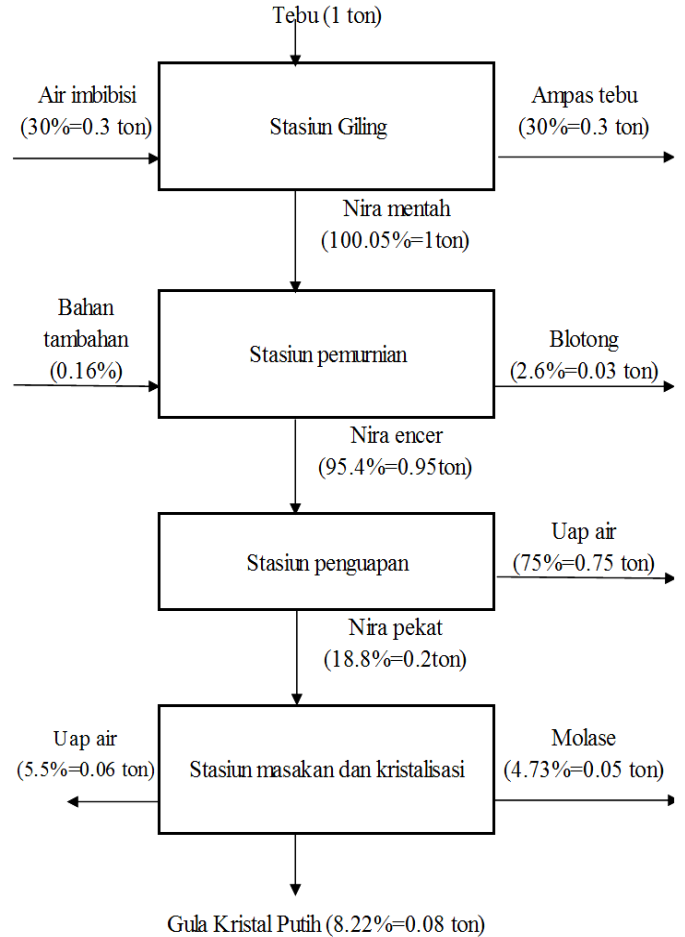
Proses stasiun giling merupakan proses penggilingan tebu yang diperah menggunakan mesin giling untuk menghasilkan nira mentah dan ampas tebu secara optimal. Kehilangan nira di stasiun penggilingan mengakibatkan berkurangnya nira mentah yang di proses di stasiun pengolahan dan pada akhirnya mengurangi hasil GKP. Dalam proses penggilingan, nira mentah yang dihasilkan dapat tercecer karena tumpah atau luber.

Proses pemurnian menggunakan bahan tambahan asam fosfat, flokulan, belerang (SO<sub>2</sub>), kapur, surfactan, soda caustic dan biocide. Output stasiun pemurnian adalah nira jernih dan blotong. Perolehan nira jernih dipengaruhi jumlah kapur saat proses pemurnian. Semakin tinggi jumlah dan kandungan kapur akan mempersulit proses kristalisasi, sehingga meningkatkan pembentukan molase.

Proses penguapan adalah proses nira jernih menjadi nira kental dengan menggunakan uap bekas. Proses penguapan menghasilkan air kondensat yang digunakan kembali sebagai umpan boiler dan penggunaan air imbibisi. Tekanan pada evaporator dijaga konstan, digunakan untuk menurunkan suhu didih air yang diuapkan agar proses penguapan berjalan optimal. Jika tekanan steam tidak konstan, berpengaruh

terhadap hasil serta waktu proses yang semakin lama. Pengotor atau kerak pada pipa-pipa evaporator dapat mengurangi kinerja evaporator sehingga perlu dibersihkan secara berkala. Pembersihan sebagai tindakan perawatan dilakukan secara kimia dan mekanis.

Pada stasiun masakan dan kristalisasi terjadi pengentalan nira yang dimasak, kemudian didinginkan, dan disentrifugasi menghasilkan GKP dan molase. Bila suatu pabrik gula menghasilkan tetes lebih banyak, maka akan menurunkan produksi GKP. Keseimbangan massa produksi gula, seperti negara Brazil menghasilkan gula, ampas, blotong dan tetes sebanyak 13%, 30%, 4% dan 2.8% dari tebu [9]. Nepal menghasilkan gula, ampas, blotong dan tetes 8.9%, 34.9%, 3.1% dan 4.6% [10].



Gambar 1 Aliran massa proses pembuatan gula

#### B. Kebutuhan dan potensi energi proses produksi (GKP)

PG yang efisien energi dan air tidak menggunakan sumber dari luar, tetapi memanfaatkan seluruh potensi hasil samping. Studi ini untuk mendapatkan informasi mengenai besar kebutuhan dan potensi energi pabrik gula. Beberapa pabrik gula mampu mandiri energi dan air. Brazil, India, dan Mauritius sudah surplus energi listrik yang dapat disuplai ke lingkungan sekitar pabrik bahkan dijual ke perusahaan pembangkit listrik. Pemanfaatan molase sebagai bahan dasar etanol di Indonesia sangat minim dimana kontribusi produksi bio-etanol di bawah 1% [11].

Penggunaan energi diklasifikasikan berdasarkan sumber energi langsung dan tidak langsung. Energi langsung yang diperhitungkan meliputi berupa bahan bakar dan listrik, energi tidak langsung berasal dari bahan yang digunakan. Perhitungan energi meliputi pada tiga bagian kegiatan yaitu

kebun tebu, transportasi dan pabrikasi gula. Kegiatan budi daya tebu pada penggunaan bibit, pupuk dan pestisida. Kegiatan transportasi membawa tebu dari kebun menuju pabrik. *Input* dan *Output* material proses produksi GKP PG. X ditunjukkan pada Tabel I dan Tabel II. PG. X beroperasi selama 180 hari dalam setahun. Produksi gula PG. X menggunakan tebu giling sebanyak 915 521.20 ton setara dengan 5 086 TCD (ton tebu per hari). Penggunaan ampas tebu (bagase) sebagai bahan bakar boiler sekitar 80% dari total ampas yang tersedia.

TABEL I  
MATERIAL INPUT PROSES PRODUKSI GKP PG. X

Input material	Satuan	Nilai
Tebu giling	ton	915 521.20
Air imbibisi	ton	274 656.36
Solar di kebun	liter	12 861.87
Solar transportasi	liter	172 301.56
Solar di pengolahan	liter	50 378.00
Ampas tebu	ton	241 861.87
Listrik	kWh	191 068.73
Bahan kimia:		
Asam fosfat	ton	48.34
Flokulan	ton	2.11
Belerang	ton	452.73
Kapur	ton	865.53
Surfactan	ton	15.01
Soda caustic	ton	55.02
Biocide	ton	1.46

TABEL II  
MATERIAL OUTPUT PROSES PRODUKSI GKP PG. X

Output material	Satuan	Nilai
Gula kristal putih	ton	79 009.48
Molase	ton	44 043.51
Blotong	ton	27 465.64
Ampas tebu	ton	560 424.40
Uap air	ton	753,473.95

Kebutuhan energi PG bersumber dari penggunaan listrik, bahan bakar dan bahan kimia. Perhitungan kebutuhan energi proses produksi gula menggunakan Persamaan 2 dan 3.

$$KE = JKB \times NE \tag{2}$$

KE = Kebutuhan Energi (Joule)

JKB = Jumlah konsumsi material (unit satuan)

NE = Faktor konversi (Joule/unit satuan)

$$TKE = K+T+P \tag{3}$$

TKE = Total Kebutuhan energi (Joule)

K = Penggunaan energi di kebun (Joule)

T = Penggunaan energi transportasi kebun ke pabrik (Joule)

P = Penggunaan energi di pabrik (Joule)

Faktor konversi digunakan untuk mengubah besaran bahan bakar antara satuan alam (massa atau volume) dengan satuan energi (kandungan energi). Jumlah hasil samping yang diperoleh dari model neraca massa kemudian dikalikan dengan kandungan energi masing-masing hasil samping untuk mendapatkan potensi energi. Konversi energi digunakan untuk menghitung uap (panas) dan listrik yang dibutuhkan untuk mendukung proses produksi [12]. Kebutuhan energi pengolahan gula ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III  
KEBUTUHAN ENERGI PROSES PRODUKSI GKP PG. X

Material Input	Energi/ton GKP (MJ)
<b>Budidaya tebu</b>	
Bibit	842.0
Listrik	38.2
Diesel	7.5
Pupuk	2 352.1
Pestisida	754.3
Total di kebun	3 994.1
<b>Transportasi</b>	
<b>Diesel Transportasi</b>	<b>101.1</b>
<b>Pengolahan</b>	
Solar	29.5
Ampas	22 943.2
Bahan tambahan	23 046.2
Total Pengolahan	23 046.2
<b>Total Kebutuhan Energi</b>	<b>27 141.4</b>

Penggunaan energi pada budi daya tebu tanpa memperhitungkan energi manusia dan mesin peralatan. Penggunaan energi pada budidaya tebu 3.99 GJ/ton GKP setara dengan 344 MJ/ton tebu dengan energi penggunaan pupuk menyumbang terbesar (59%). PG Jatitujuh (732.12 MJ/ton tebu) dengan energi terbesar pada pemupukan 58% [13]. Energi budi daya PG Gula madu plantation (GMP) sebesar 15.8 GJ/ha [14]. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan metode perhitungan energi PG Jati tujuh memperhitungkan energi manusia, alat dan mesin pertanian. PG GMP tidak menggunakan perhitungan energi bibit. Menurut [15], kebutuhan energi kebun tebu tanpa energi manusia dan mesin di Maroko 59.4 GJ/ha, Brazil 22.3 GJ/ha dan Australia 36.1 GJ/ha.

Satuan kebutuhan transportasi adalah ton km (tkm) yaitu jumlah ton tebu kali jarak tempuh kebun ke pabrik. Batang tebu diangkut dari kebun ke pabrik gula menggunakan truk diesel dengan kapasitas 7 ton. Jarak rata-rata yang ditempuh truk adalah 18.8 km. Kebutuhan bahan bakar 0.5 liter/km solar sama dengan 0.07 liter/tkm. Untuk jumlah tebu 915 521.2 ton maka transportasi 2 458 828.4 tkm membutuhkan solar sebesar 172 118.0 liter. Transportasi kebun ke pabrik membutuhkan energi sebesar 101 MJ/ton GKP.

PG. X menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar boiler. Kebutuhan energi memproses gula pada PG. X sebesar

25.6 GJ/ton GKP. PG GMP sebesar 38.5 GJ/ton GKP. PG GMP membutuhkan energi lebih besar karena penggunaan bahan bakar tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan energi pada pabrik gula tetapi juga pabrik etanol. Penggunaan energi pabrik gula dalam kasus ini menggunakan ampas tebu sebagai bahan bakar boiler. Ampas yang digunakan sekitar 90% dari potensi ampas yang ada, sementara sisanya sebagai cadangan untuk penggilingan berikutnya. Total kebutuhan energi PG di kebun, transportasi dan pengolahan GKP di pabrik sebesar 27.1 GJ/ton GKP. PG Mauritius membutuhkan energi sebesar 14.2 GJ/ton GKP [16]. Perbedaan penggunaan energi dapat disebabkan kuantitas penggunaan pupuk di kebun, efisiensi mesin pengolahan dan jarak kebun ke pabrik. Menurut [14], kebutuhan energi pabrik gula terintegrasi dengan etanol sebesar 41.31 GJ/ton GKP. Proses produksi gula kristal putih membutuhkan energi, namun PG memiliki potensi yang cukup besar untuk menghasilkan energi. Potensi energi ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL IV  
POTENSI ENERGI PROSES PRODUKSI GKP PG. X

Material Output	Energi/ton GKP
	MJ
Gula kristal putih	16,180.0
Molase	6,941.0
Blotong	3,059.1
Ampas tebu	5,735.8
Total Potensi	31,915.9
<b>NER</b>	<b>1.2</b>

Perbandingan potensi dan kebutuhan energi dinyatakan dalam Net Energy Ratio (NER). NER yang diperoleh sebesar 1.2. Pada kasus ini potensi energi ampas tebu yang diperhitungkan pada material output adalah sisa ampas sebesar 20%. PG Djatiroto memiliki nilai NER sebesar 1.39, PG GMP sebesar 1.88 [14] dan PG Ngadirejo 1.7 dengan potensi energi hasil samping 35.8 GJ/ton GKP. Pada umumnya PG mempunyai angka NER lebih besar dari satu. NER lebih besar dari satu menunjukkan bahwa pabrik gula merupakan industri yang surplus energi berasal dari potensi biomassa menjadi energi. Surplus energi yang terdapat dalam PG dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk listrik maupun integrasi ke pabrik lainnya.

Energi hasil samping pabrik gula berupa blotong dan sisa ampas selama satu tahun sebesar 694,880,590.8 MJ. Jika dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik biomassa dengan efisiensi 50% akan menghasilkan energi sebesar 97 GWh. Asumsi kebutuhan listrik per rumah tangga 5 kWh/hari setara dengan 1 825 kWh/tahun maka mampu memenuhi kebutuhan listrik sebanyak 53 ribu rumah tangga. Pabrik gula merupakan agroindustri berpotensi menjadi industri yang mandiri energi dengan menerapkan prinsip *less input* dan *multiple output* melalui penggunaan kembali hasil samping.

C. Kebutuhan dan potensi air proses produksi (GKP)

Kebutuhan dan potensi air umumnya dinyatakan dalam besaran liter. Pengertian dari liter sendiri ialah sebuah satuan

volume, tetapi bukan satuan volume dalam sistem internasional (SI). Dalam SI, satuan volume diturunkan dari satuan panjang ialah meter kubik (m<sup>3</sup>). Mengubah besaran volume ke besaran massa, dibutuhkan sebuah besaran lain yakni massa jenis (Persamaan 4). Massa jenis air 1 kg/liter artinya 1 liter air sama dengan 1 kg air.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{4}$$

$\rho$  : massa Jenis (kg/liter)

$m$  : massa (kg)

$V$  : Volume (liter)

Kebutuhan air digunakan untuk air imbibisi dan proses pengolahan. Kebutuhan air imbibisi 30% dari total tebu dan untuk pengolahan sebesar 0.1 m<sup>3</sup>/ton tebu [17]. Potensi air proses pembuatan GKP sangat besar karena tebu memiliki kandungan air sebanyak 0.7 ton/ton tebu. Potensi air berasal dari uap air yang dihasilkan pada evaporator dan vacuum pan. Kebutuhan dan potensi air pada PG. X ditunjukkan pada Tabel V.

TABEL V  
KEBUTUHAN DAN POTENSI AIR PG. X PER HARI

Lokasi	ton
Kebutuhan air	
Imbibisi	1 525.9
Proses pengolahan gula	508.6
Kebutuhan air total/hari	2 034.5
<b>Potensi</b>	
Evaporator 1	1 167.3
Evaporator 2	930.3
Evaporator 3	813.3
Evaporator 4	694.7
Vaccum pan A	193.4
Vaccum pan C	46.4
Vaccum pan D	36.0
Total potensi air/hari	3 881.4
<b>Surplus air/hari</b>	<b>1 846.9</b>

Kebutuhan air/hari 2 034.5 ton setara dengan 0.4 ton/ton tebu atau 4.6 ton GKP. Potensi air pada PG. X sebesar 0.8 m<sup>3</sup>/ton tebu atau 8.8 m<sup>3</sup>/ton GKP. Dengan demikian surplus air sebesar 0.4 ton/ton tebu atau 4.2 ton/ton GKP sama dengan 1.8 juta liter per hari. Pabrik gula kapasitas 3 000 TCD menghasilkan kelebihan air sebesar 1.4 juta liter per hari [6]. Kelebihan air pabrik gula di Afrika Selatan (5 500 TCD) sebesar 2.3 juta liter per hari [17].

Air merupakan kebutuhan pokok bagi manusia. Sumber air umumnya berasal dari permukaan tanah misalnya air sungai, air danau, sumur dangkal dan PDAM yang sebelum digunakan harus diolah terlebih dahulu. Selain sumber air yang telah disebutkan, pabrik gula berpotensi menghasilkan air bersih. Pemanfaatan air teruapkan memerlukan proses pendinginan dan penyaringan untuk mendapatkan air bersih. Kelebihan air dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air

selama proses produksi sebagai air pencuci peralatan dan pendingin mesin produksi. Kelebihan air dapat disalurkan sebagai bahan pengolahan blotong dan molase serta diolah menjadi bahan baku air bersih maupun air dalam kemasan. Potensi air berasal dari uap air yang didinginkan menjadi air selama proses pengolahan GKP. Air tersebut masuk ke IPAL dengan asumsi kehilangan sebesar 10%, kemudian digunakan kembali pada pabrik gula. Kelebihan air selama proses di pabrik gula dapat dimanfaatkan melalui proses *water treatment* untuk menghasilkan air bersih layak minum.

Sistem pengolahan air bersih sangat berpotensi diterapkan di pabrik gula. Kebutuhan air per orang sekitar 20 liter per hari setara dengan 7 300 liter per tahun [18]. Asumsi kelebihan air yang diolah menjadi air minum sebesar 30% dari potensi air per hari maka ketersediaan air minum sebesar 437 ton setara dengan 437 000 liter. Sehingga produksi air bersih ini mampu memenuhi kebutuhan air minum untuk 21 881 orang per hari atau 10 790 orang sepanjang tahun (masa giling 180 hari). Pembangunan IPAL dan teknologi *water treatment* sangat layak dikembangkan, namun masih banyak tantangan. Sehingga diperlukan upaya lebih banyak terutama dalam hal teknologi, biaya, dan masalah perlindungan lingkungan [19].

Pemanfaatan hasil samping sebagai sumber energi dan air untuk memenuhi kebutuhan proses produksi gula dapat membentuk sistem produksi tertutup. PG sangat potensial menjadi industri yang swa-sembada energi dan air, yaitu PG tidak menggunakan masukan baru dari luar pabrik. Sehingga ke depan kita dapat mengatakan pabrik gula menjadi industri tebu yaitu mampu menghasilkan gula, energi dan air. Potensi energi ampas dapat memenuhi kebutuhan uap dan listrik pabrik secara mandiri bahkan surplus energi dan air yang dapat dijual atau menjadi pasokan perusahaan lain. Penerapan kebijakan pemberian insentif kepada industri yang mampu menggunakan energi terbaharukan seperti energi biomass perlu diperhatikan [20]. Hal ini untuk merangsang industri untuk meninggalkan pemakaian energi fosil. Penelitian lain yang berkaitan dengan sistem tertutup dengan memanfaatkan hasil samping sebagai sumber energi, seperti penggilingan padi memanfaatkan sekam [21], pengolahan tepung jagung menggunakan tongkol dan kulit jagung [22], pengolahan CPO menggunakan cangkang, serat dan tanda kosong kelapa sawit [23]. Kecukupan energi bergantung pada jumlah hasil samping yang dihasilkan. Selanjutnya penerapan pengembangan agroindustri prinsip surplus energi maka perlu dianalisis kelayakan teknis dan ekonomis [12]. Dengan demikian sangat dimungkinkan untuk melakukan penelitian selanjutnya mengenai penerapan swasembada energi pada agroindustri. Penelitian selanjutnya kinerja lingkungan terhadap praktik efisiensi industri. Empat metodologi pelengkap diintegrasikan ke dalam indikator lingkungan yaitu *Water Footprint*, *Water Pinch*, *Life Cycle Assessment*, dan *Exergy Analysis* [24]. Selain mengurangi konsumsi energi, air dan sumber daya, juga mengarah pada kontribusi industri ke tingkat kelestarian lingkungan yang lebih tinggi.

#### IV. KESIMPULAN

Potensi energi dan air dalam proses produksi gula kristal putih (GKP) lebih besar dari pada kebutuhan energi dan air yang diperlukan. Pemanfaatan potensi energi dan air secara optimal digunakan untuk keberlangsungan pabrik gula. Pabrik gula mampu mandiri bahkan surplus energi dan air. Besarnya potensi kelebihan energi dan air sangat bergantung

pada kondisi kualitas tebu dan teknologi peralatan di pabrik yang dinyatakan dalam penilaian kinerja dan efisiensi teknis pabrik gula.

#### REFERENSI

- [1] M. Yani, "Life cycle assessment of sugar at cane sugar industry," *E-jurnal Agro-Industri Indonesia*, vol. 1, 2012.
- [2] C. Mbohwa, "Energy management in the South African sugar industry," 2013.
- [3] C. Mbohwa, "Bagasse energy cogeneration potential in the Zimbabwean sugar industry," *Renewable energy*, vol. 28, pp. 191-204, 2003.
- [4] G. Deshmukh and N. Sonaje, "Water Conservation in Sugar Industry: A Case Study of Lokmangal Sugar, Ethanol and Co-Generation Industries LTD, Bhandarkavathe," *International Journal Of Innovations In Engineering Research And Technology*, vol. 4, pp. 20-26, 2017.
- [5] B. Gunjal and A. Gunjal, "Water conservation in sugar industry," *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 12, p. 325, 2013.
- [6] T. Bantacut and D. Novitasari, "Energy and water self-sufficiency assessment of the white sugar production process in Indonesia using a complex mass balance model," *Journal of cleaner production*, vol. 126, pp. 478-492, 2016.
- [7] Y. H. Asnawi, A. Nuraisyah, Zulfiandri, V. I. Sari, Rahmawati, Gunawan, *et al.*, "Engineering and Technology Challenges of The Energy Usage: An Estimation for Agro-Industrial In Indonesia," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, p. 012034.
- [8] Gunawan, T. Bantacut, M. Romli, and E. Noor, "Biomass by-product from crystal sugar production: a comparative study between Ngadirejo and Mauritius sugar mill," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, p. 012009.
- [9] L. L. Campiteli, R. M. Santos, G. Lazarovits, and E. C. Rigobelo, "The impact of applications of sugar cane filter cake and vinasse on soil fertility factors in fields having four different crop rotations practices in Brazil," *Cientifica*, vol. 46, pp. 42-48, 2018.
- [10] D. Khatiwada and S. Silveira, "Net energy balance of molasses based ethanol: the case of Nepal," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 2515-2524, 2009.
- [11] W. Gerbens-Leenes, A. Y. Hoekstra, and T. H. van der Meer, "The water footprint of bioenergy," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, pp. 10219-10223, 2009.
- [12] T. Bantacut and M. Romli, "Development of energy self-sufficiency of agroindustry," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, p. 012039.
- [13] A. R. Abdalla, T. Herwanto, M. Saukat, and H. Handarto, "Analisis Energi Pada Proses Prapanen Tebu (Studi Kasus Di PT. PG. Rajawali II Unit PG. Jatitujuh, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat)," *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, vol. 11, pp. 11-23, 2017.
- [14] A. L. S. Sihombing, I. M. A. D. Susila, and D. R. Pribadi, "Keseimbangan energi pada budidaya tanaman tebu dan industri gula; the energy balance in sugar cane cultivation and sugar industry," *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 14, pp. 95-102, 2015.
- [15] M. Mrini, F. Senhaji, and D. Pimentel, "Energy analysis of sugarcane production in Morocco," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 3, pp. 109-126, 2001.
- [16] T. Ramjeawon, "Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, pp. 1727-1734, 2008.
- [17] P. Esmeris, "Water Balance and Source of Wastewater Sugar Mill and Refinery," *Lopez Sugar Corp*, 2000.
- [18] J. Fogden and G. Wood, "Access to Safe Drinking Water and Its Impact on Global Economic Growth. A study for Halosource," *Inc. The Open Corrosion Journal*, vol. 2, pp. 45-50, 2009.
- [19] Y. Gu, Y. Li, X. Li, P. Luo, H. Wang, X. Wang, *et al.*, "Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 3741-3751, 2017.
- [20] Gunawan, T. Bantacut, M. Romli, and E. Noor, "Life cycle assessment of cane-sugar in Indonesian sugar mill: energy use and GHG emissions," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, p. 012059.
- [21] T. Bantacut and M. Nurdiansyah, "A closed model of production system for energy self-sufficiency rice mill," *Journal of Energy Technologies and Policy*, vol. 7, pp. 34-48, 2017.

- [22] T. Bantacut and A. Zuriel, "A closed model of production system for independent energy in corn flours industry," *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, vol. 6, pp. 173-186, 2018.
- [23] T. Bantacut and H. Pasaribu, "Aliran Tertutup Massa Dan Potensi Mandiri Energi pada Produksi CPO," *Journal of Agroindustrial Technology*, vol. 25, 2015.
- [24] B. Carrasquer, J. Uche, and A. Martínez-Gracia, "A new indicator to estimate the efficiency of water and energy use in agro-industries," *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 462-473, 2017.