

Penilaian Proses Produksi Gula Berbasis Kinerja dan Penggunaan Energi

Gunawan¹, Darmein², Arief Mardiyanto^{3*}, Rudy Syahputra⁴, Amir D⁵

^{1,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹gunawanelektro@pnl.ac.id

^{3*}ariefmardiyanto@pnl.ac.id@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

Abstrak—Produksi gula kristal putih (GKP) sangat bergantung pada kinerja pabrik gula (PG) yaitu pada kinerja kebun tebu, efisiensi teknis pabrik gula dan penggunaan energi. Kinerja keseluruhan dalam pabrik gula didefinisikan sebagai efisiensi pabrik gula dalam mengolah tebu menjadi gula. Kinerja kebun tebu tercermin dari angka pol tebu yang dihasilkan. Efisiensi pabrik gula dinyatakan dalam besaran Overall Recovery (OR) yang diperoleh dengan mengalikan tingkat efisiensi di stasiun giling (Mill Extraction, ME) dan tingkat efisiensi perolehan GKP (Boiling House Recovery, BHR). Proses produksi GKP di kebun, transportasi dan pabrik membutuhkan energi. Tujuan penelitian menghasilkan pemodelan perbaikan kinerja pabrik gula berbasis kinerja dan penggunaan energi. Metode yang digunakan adalah penelitian deskriptif yaitu analisis perbaikan kinerja produksi gula berdasarkan kinerja kebun tebu, efisiensi teknis pabrik dan penggunaan energi. Pemodelan menggunakan tiga skenario yaitu skenario_1 merupakan data faktual PG X, skenario_2 yaitu berdasarkan kondisi pol tebu standar menggunakan mesin PG X dan skenario_3 yaitu kondisi pol tebu PG X menggunakan mesin standar. Hasil penelitian adalah model penilaian efisiensi teknis dan lingkungan pabrik gula. Kebutuhan energi per ton GKP skenario_1, 2 dan 3 adalah 29.8 GJ, 22.4 GJ dan 24.9 GJ, dan angka NER 1.74, 1.95 dan 1.85 dengan rendemen sebesar 8.2%, 10.6%, dan 9.6% berturut-turut. Pada skenario 2, rendemen, angka NER lebih tinggi dan kebutuhan energi lebih rendah dibandingkan skenario_1 dan skenario_3. Sehingga rekomendasi perbaikan pabrik gula adalah mengikuti skenario 2 yaitu peningkatan kinerja kebun tebu dengan meningkatkan kualitas tebu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk meningkatkan kualitas hidup GKP sehingga mengoptimalkan output dan mereduksi konsumsi energi.

Kata kunci—efisiensi teknis, energi, gula kristal putih, kinerja, rendemen

Abstract— The production of white crystal sugar (GKP) is highly dependent on the performance of the sugar factory (PG), namely the performance of the sugar cane plantation, the technical efficiency of the sugar factory and the use of energy. Overall performance in a sugar mill is defined as the efficiency of a sugar mill in processing sugar cane into sugar. The performance of sugarcane plantations is reflected in the sugarcane poll numbers produced. The efficiency of a sugar mill is expressed in terms of Overall Recovery (OR) which is obtained by multiplying the efficiency level at the milling station (Mill Extraction, ME) and the efficiency level of GKP (Boiling House Recovery, BHR). The GKP production process in plantations, transportation and factories requires energy. The aim of the research is to produce a modeling of performance improvement of sugar mills based on performance and energy use. The method used is descriptive research, namely the analysis of sugar production performance improvement based on the performance of sugarcane plantations, factory technical efficiency and energy use. The modeling uses three scenarios, namely scenario_1 which is the factual data of PG X, scenario_2 which is based on the condition of the standard sugarcane poll using a PG X machine and scenario_3 which is the condition of the sugarcane poll of PG X using a standard machine. The result of this research is a model for evaluating the technical and environmental efficiency of a sugar factory. Energy requirements per tonne of GKP scenario_1, 2 and 3 are 29.8 GJ, 22.4 GJ and 24.9 GJ, and NER figures are 1.74, 1.95 and 1.85 with yields of 8.2%, 10.6%, and 9.6%, respectively. In scenario 2, the yield, the NER number is higher and the energy requirement is lower than scenario_1 and scenario_3. So the recommendation for the improvement of the sugar factory is to follow scenario 2, namely increasing the performance of sugarcane plantations by increasing the quality of sugar cane. The results of this study are expected to be a reference for improving the quality of life of GKP so as to optimize output and reduce energy consumption.

Keywords— energy, performance, technical efficiency, white crystal sugar, yield

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi gula kristal putih (GKP) sangat bergantung pada kinerja pabrik gula (PG) yaitu pada kinerja kebun tebu dan efisiensi teknis pabrik gula. Parameter utama yang sering dijadikan indikator efisiensi pabrik gula adalah rendemen yaitu perbandingan berat gula kristal putih (sukrosa) terhadap berat tebu yang digiling. Mayoritas petani tebu lebih memilih pabrik dengan tingkat efisiensi teknis yang relatif lebih tinggi dari pabrik lainnya, dengan harapan rendemen yang diperoleh juga lebih tinggi.

Kinerja pabrik gula didefinisikan sebagai efisiensi pabrik gula dalam mengolah tebu menjadi gula. Permasalahan pabrik gula di Indonesia adalah terjadinya inefisiensi energi dan air sehingga produksi gula tidak sesuai dengan kapasitasnya [1,

2]. Penyebabnya antara lain karena rendahnya kualitas tebu belum sesuai standar SNI dan rendahnya efisiensi teknis pabrik. Kinerja kebun tebu tercermin dari angka pol tebu yang dihasilkan. Efisiensi pabrik gula dinyatakan dalam besaran Overall Recovery (OR) yang diperoleh dengan mengalikan tingkat efisiensi di stasiun giling (Mill Extraction, ME) dan tingkat efisiensi perolehan GKP (Boiling House Recovery, BHR). Indonesia menentukan standar capaian efisiensi teknis pabrik gula dengan indikator $ME \geq 95\%$, $BHR \geq 90\%$, $OR \geq 85\%$, pol tebu $\geq 14\%$ dan rendemen $\geq 12\%$. Efisiensi pabrik sangat berkaitan dengan penggunaan energi yang dibutuhkan dalam proses produksi GKP. Proses produksi gula mulai dari kebun sampai tahap produksi akhir membutuhkan energi. Kinerja keseluruhan dalam pabrik gula didefinisikan sebagai efisiensi pabrik gula dan penggunaan energi.

I.2 Tinjauan Pustaka

Kualitas tebu yang mempengaruhi kandungan gula dalam tebu tergantung dari jenis tebu, keadaan tanaman, cara pemeliharaan dan tingkat kemasakan tebu [3]. Penentuan efisiensi teknis pabrik gula didasarkan pada indikator-indikator teknis:

1. ME: hasil kerja stasiun gilingan menggambarkan persentase gula yang berhasil diekstraksi dalam nira mentah terhadap gula yang terkandung di dalam tebu.
2. BHR: hasil kerja stasiun pengolahan mencerminkan persentase gula riil yang diperoleh terhadap gula yang berada dalam nira mentah.
3. OR: menunjukkan hasil kinerja gabungan antara stasiun gilingan (ME) dengan stasiun pengolahan (BHR) atau efisiensi secara keseluruhan. OR mencerminkan efisiensi PG karena menggambarkan jumlah gula yang dapat diperoleh dari tebu.
4. Pol Tebu, jumlah gula yang terlarut pada setiap 100 gram larutan.
5. Rendemen, merupakan rasio berat gula dari setiap berat tebu yang digiling.

Proses produksi GKP baik di lokasi kebun, transportasi dan pabrik membutuhkan energi. Semakin efisien kinerja pabrik maka semakin sedikit penggunaan energi yang dibutuhkan. Kebutuhan energi unit operasi berdasarkan sumber energi:

1. Unit operasi menggunakan energi listrik

$$E (J) = 3.6 \times p (kW) \times t (h) \tag{1}$$

2. Unit operasi menggunakan energi bahan bakar

$$E (J) = m_{\text{bahan bakar}} (\text{unit satuan}) \times q_{\text{bahan bakar}} \left(\frac{J}{\text{unit satuan}} \right) \tag{2}$$

3. Unit operasi menggunakan energi listrik

$$E (MJ) = 3.6 \times p (kW) \times t (h) \tag{3}$$

4. Total energi untuk mengkonversi tebu menjadi gula kristal putih:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{bahan baku}} + E_{\text{penggilingan}} + E_{\text{pemurnian}} + E_{\text{penguapan}} + E_{\text{kristalisasi}} + E_{\text{sentrifugasi}} + E_{\text{transportasi}} \tag{4}$$

Keterangan:

- E = Kebutuhan energi unit operasi (MJ, Mega Joule)
- p = Daya listrik peralatan unit operasi (kW, kilo watt)
- t = Lama proses penggunaan listrik (h, hour)
- m = jumlah bahan bakar (unit satuan)
- qbahan bakar = nilai kalor spesifik bahan bakar (J/unit satuan)

Kebutuhan energi listrik (p), bahan bakar yang dibutuhkan (m), nilai kalor dari bahan bakar yang digunakan (q), jumlah bahan yang diproses (kg), dan waktu operasi (t). Kebutuhan energi (E) untuk mengkonversi tebu menjadi gula kristal putih dirumuskan: $E = f (p,m,q,t)$ [4].

Pada penelitian ini, tingkat efisiensi pabrik gula dihitung berdasarkan kebutuhan dan potensi energi menggunakan nilai *Net Energi Ratio* (NER). NER sebagai rasio banyaknya energi

yang tersedia dan siap dimanfaatkan dari hasil produksi terhadap banyaknya energi yang diperlukan untuk memproduksi produk tersebut [5]. Semakin besar NER, maka dapat dikatakan industri tersebut semakin efisien. Hal ini dikarenakan energi yang dapat dimanfaatkan lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk menghasilkannya.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menghasilkan model perbaikan kinerja produksi GKP dan analisis penggunaan energi pada pabrik gula. Model kajian perbaikan efisiensi teknis diharapkan dapat diterapkan untuk memperbaiki kinerja pabrik gula. Tahapan penelitian:

1. Evaluasi kinerja produksi gula pada pol tebu, ME, BHR dan penggunaan energi.
2. Evaluasi penggunaan energi pada pabrik gula.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Efisiensi teknis PG dilihat dari indikator efisiensi teknis dan rendemen yang dihasilkan. Kajian efisiensi PG dengan melakukan evaluasi kinerja produksi gula pada pol tebu, ME dan BHR. Peraturan Gubernur Jawa Timur No.45 Tahun 2006 mengenai petunjuk teknis gerakan peningkatan rendemen tebu di Jawa Timur. Parameter tersebut dijadikan acuan untuk menganalisis kinerja PG.

Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif deskriptif. Evaluasi kinerja produksi gula pada pol tebu, ME dan BHR berdasarkan kondisi kinerja kebun tebu, teknis PG dan penggunaan energi. Perbaikan kinerja pabrik gula pada kebun tebu dan efisiensi teknis menggunakan analisis kesenjangan yang berkaitan dengan peningkatan rendemen berdasarkan pol tebu, ME dan BHR. Metode yang digunakan untuk perhitungan energi adalah dengan mengkonversi energi yang diubah ke satuan energi standar (Joule) [6].

Penilaian kinerja teknis dan lingkungan PG dinyatakan dalam tiga skenario yaitu: 1) skenario 1 merupakan data faktual PG X; 2) skenario 2 yaitu berdasarkan kondisi pol tebu standar menggunakan mesin PG X (rekomendasi perbaikan rendemen pada kebun tebu); dan 3) skenario 3 yaitu kondisi pol tebu PG X menggunakan mesin standar (rekomendasi perbaikan kinerja teknis pabrik gula).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Kinerja Produksi Gula

Parameter utama yang sering dijadikan indikator efisiensi pabrik gula adalah rendemen yaitu perbandingan berat gula kristal putih (sukrosa) terhadap berat tebu yang digiling. Kinerja keseluruhan dalam pabrik gula didefinisikan sebagai efisiensi pabrik gula dalam mengolah tebu menjadi gula. Mayoritas petani tebu lebih memilih pabrik dengan tingkat efisiensi teknis yang relatif lebih tinggi dari pabrik lainnya, dengan harapan rendemen yang diperoleh juga lebih tinggi.

Efisiensi teknis PG dilihat dari indikator efisiensi teknis dan rendemen yang dihasilkan. Kinerja PG diketahui

berdasarkan nilai pol tebu, OR, ME dan BHR [7]. Parameter tersebut dijadikan acuan untuk menganalisis kinerja PG. Efisiensi PG X diuji dengan membandingkan nilai indikator efisiensi teknis PG X dengan standar, jika nilai indikator efisiensi PG X berada di bawah standar maka PG X inefisiensi teknis atau tidak efisiensi teknis. Kinerja produksi gula menggunakan data faktual ditunjukkan pada Tabel I merupakan perhitungan dan analisis pada skenario 1.

TABEL I
KINERJA PABRIK GULA X

Parameter	Stasiun Proses	PG X	PG Stan dar SNI	Relatif terhadap standar SNI	Gap
A	B	C	D	E	F
Pol Tebu	Pra penggilingan	10.78	14	77.00	-23
Mill Extraction (ME)	Penggilingan	92.61	95	97.48	-3
Boiling House Recovery (BHR)	Pemurnian s/d putaran	82.67	90	91.86	-8
Overall Recovery (OR)	Penggilingan s/d putaran	76.55	85	90.06	-10

Analisis kesenjangan (*gap analysis*) digunakan untuk menilai kinerja pabrik gula X terhadap standar sebagai evaluasi efisiensi teknis untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan pada proses produksi gula. Gap capaian bernilai negatif (-) menunjukkan capaian pabrik gula X berada di bawah nilai standar, sebaliknya positif (+) capaiannya berada di atas nilai standar.

Penyebab kehilangan gula selama proses diantaranya karena terbawa dalam ampas, blotong dan molase. Hal ini terjadi karena beberapa kondisi mesin berusia tua sehingga tidak dapat berproduksi secara maksimal. Perawatan yang kurang terhadap mesin juga menyebabkan pabrik gula harus memberhentikan produksinya sementara akibat terjadi kerusakan pada saat produksi sedang berlangsung. Proses produksi berhenti menyebabkan tebu di pabrik gula mengalami penundaan penggilingan berdampak buruk terhadap kualitas tebu semakin jelek seperti menurunnya kadar gula (pol) tebu dan menyebabkan kadar gula (pol) nira tidak maksimal menyebabkan penurunan rendemen.

Parameter yang sering digunakan untuk mengetahui sejauh mana proses pengolahan pada sebuah pabrik gula sudah berlangsung efektif adalah nilai pol, yang didefinisikan sebagai berat sukrosa (gula) yang terkandung dalam 100 g larutan. Nilai pol tebu di PG X 10.78% lebih kecil dibandingkan standar. Gap yang diperoleh bernilai negatif dengan selisih 23 point artinya bahwa capaian PG X berada di bawah nilai standar. Pol tebu Indonesia rata-rata pada angka 10% jauh lebih rendah dari tingkat dunia 14-16%. Perbedaan nilai pol yang cukup signifikan ini menunjukkan bahwa kualitas tebu yang diolah tergolong buruk. Sebagian

penyebabnya adalah faktor kemasakan tebu dan manajemen tebu yang sudah ditebang, masa tunggu tebu terlalu lama untuk dilakukan proses penggilingan, menyebabkan penurunan kadar sukrosa [8]. Kemasakan tebu dipengaruhi oleh sifat genetik varietas yang ditanam, umur tebu pada saat ditebang dan kondisi iklim saat memanen. Toleransi tebu bersih mengandung kotoran sebesar <5% [9].

Suatu pabrik gula dinyatakan efisien apabila nilai ME berada pada angka normal 95%. ME menunjukkan persentase gula yang berhasil diekstraksi dalam nira mentah terhadap gula yang terkandung di dalam tebu pada saat proses penggilingan. Semakin besar nilai ME maka kinerja stasiun penggilingan semakin efisien. Gap yang diperoleh bernilai negatif untuk nilai ME dengan selisih 3 persen yang artinya bahwa ME PG X dibawah standar. Nilai ME PG X sebesar 92.61% lebih kecil dibandingkan dengan ME standar Indonesia 95%. Hal ini menunjukkan kemampuan ekstraksi stasiun penggilingan masih belum efisien mengambil pol nira mentah. Nilai ME kurang optimal disebabkan karena kondisi mesin penggilingan pabrik kurang baik seperti berhenti giling atas perbaikan mesin.

BHR PG X (82.67%) di bawah standar (90%). BHR menunjukkan persentase gula riil yang diperoleh terhadap gula didalam nira mentah yang diperoleh dari stasiun pengolahan. Hal itu disebabkan adanya penurunan kinerja kemampuan alat pada pabrik gula dalam mengolah nira mentah menjadi GKP. Nilai gap antara PG X dan standar bernilai negatif dengan selisih 8 artinya capaian PG X berada di bawah nilai standar sebesar 16%.

OR adalah penilaian kinerja secara keseluruhan bergantung pada nilai ME dan BHR. Kinerja ini sebagai indikator efisiensi pabrik yang mempunyai nilai standar normal 85%. Semakin tinggi OR maka kinerja pabrik gula semakin baik. Nilai OR PG Ngadirejo 76.55% artinya kinerja PG X dalam menghasilkan GKP dari tebu tidak efisien karena kehilangan terhadap pol 23.5%.

Pabrik gula X memiliki nilai efisiensi dibawah standar SNI. Inefisiensi energi dan air pabrik gula di Indonesia ditunjukkan dengan kualitas tebu rendah belum sesuai standar SNI, proses pengolahan gula menggunakan teknologi usang, utilitas dan efisiensi pabrik gula belum optimal (OR < 80%) sehingga konsumsi energi pengolahan gula tinggi. Penyebab rendahnya efisiensi PG X, adalah rendahnya angka pol tebu dan kondisi mesin di pabrik. Penilaian gap capaian menunjukkan kinerja PG X belum efisien sehingga menghasilkan nilai rendemen lebih kecil.

Hasil evaluasi kinerja berdasarkan kesenjangan menjadi salah satu dasar pengambilan keputusan terkait prioritas perbaikan. Parameter proses penentuan rendemen secara umum menunjukkan bahwa parameter yang dibandingkan berada di bawah capaian standar. Bila analisis capaian kinerja teknologi proses gula menggunakan toleransi 5%, maka parameter penyumbang rendahnya angka rendemen yang perlu diperhatikan adalah pol tebu dan *Boiling House Recovery* (BHR). Parameter kinerja pabrik gula akan mempengaruhi hasil rendemen dan menjadi pertimbangan dalam penyusunan prediksi rendemen.

III.2 Perbaikan kinerja kebun tebu dan efisiensi teknis

Perbaikan kinerja kebun tebu dan efisiensi teknis menggunakan perbandingan dua skenario. Penyusunan kondisi skenario ke-2 dan ke-3 dan perolehan GKP (Tabel II).

TABEL II
PENYUSUNAN SKENARIO TEKNIS DAN PEROLEHAN GKP

	Pol tebu (%)	ME (%)	BHR (%)	Rendemen (%)	GKP/tahun (ton)
PG X Skenario 1 ^a	11	93	83	8.3	82 890
PG Standar SNI	12	98	99	11.9	119 021
Skenario ke-2 ^b	12	93	83	10.6	106 226
Skenario ke-3 ^c	11	98	99	9.6	95 684

^aSkenario 1, data faktual PG X

^bSkenario 2, kondisi pol tebu PG Standar SNI menggunakan mesin PG X.

^cSkenario 3, kondisi pol tebu PG X menggunakan mesin PG Standar SNI

Skenario 1 adalah kondisi faktual PG X. Skenario 2 adalah perbaikan kinerja kebun tebu dan skenario 3 adalah perbaikan efisiensi teknis. Skenario ke-2 dan ke-3 menghasilkan simulasi dengan mengontrol kondisi PG X dan standar SNI. Perolehan GKP dipengaruhi oleh ME (%), BHR (%), dan pol tebu. Skenario 2, perolehan GKP berdasarkan kondisi pol tebu standar SNI menggunakan mesin PG X (perbaikan kualitas tebu di kebun tebu). Skenario 3, perolehan GKP berdasarkan kondisi pol tebu PG X menggunakan mesin sesuai standar SNI (perbaikan mesin pabrik gula).

Berdasarkan kondisi faktual PG X (skenario 1) mengolah tebu per tahun sebanyak 995 898.7 ton, rendemen skenario 2 meningkat menjadi 10.6%, skenario 3 meningkatkan rendemen menjadi 9.6%. Jika kualitas tebu sesuai SNI menggunakan mesin PG X pada skenario ke-2, nilai rendemen lebih besar dibandingkan dengan skenario ke-3. Produksi GKP berdasarkan skenario tersebut menunjukkan bahwa perolehan GKP tergantung pada kualitas tebu, kondisi mesin dan peralatan proses pengolahan GKP.

Pol tebu sangat dipengaruhi kualitas tebu dari kebun. Kualitas tebu meningkat sebanding dengan penggunaan teknik budidaya tebu sesuai standar baku teknis. Pol tebu Indonesia rata-rata pada angka 10% jauh lebih rendah dari tingkat dunia 14-16%. Perbedaan nilai pol yang cukup signifikan ini menunjukkan bahwa kualitas tebu yang diolah tergolong buruk. Sebagian penyebabnya adalah faktor kemasakan tebu dan manajemen tebu yang sudah ditebang, masa tunggu tebu terlalu lama untuk dilakukan proses penggilingan, menyebabkan penurunan kadar sukrosa.

ME mewakili kondisi dari kemampuan mesin penggilingan untuk mengambil pol nira mentah dalam tebu. Kondisi ME di bawah nilai standar maka akan mempengaruhi perolehan GKP. Kondisi BHR menunjukkan hasil kerja stasiun pengolahan mencerminkan persentase gula riil yang diperoleh terhadap gula yang berada dalam nira mentah. Indikator kinerja dan efisiensi mempengaruhi besarnya kerugian pabrik gula yang menunjukkan penurunan kinerja kemampuan alat dalam mengolah nira mentah menjadi GKP sehingga menurunkan produksi GKP. Indikator kinerja dan efisiensi tersebut sangat

dipengaruhi oleh besarnya *losses* yang dihasilkan pabrik gula [10, 11]. Tingginya *losses* menyebabkan efisiensi PG (OR) menjadi rendah. OR menunjukkan hasil kinerja gabungan antara stasiun gilingan (ME) dengan stasiun pengolahan (BHR) atau efisiensi secara keseluruhan. OR mencerminkan efisiensi PG karena menggambarkan jumlah gula yang dapat diperoleh dari tebu. Perolehan GKP semakin tinggi dipengaruhi oleh pol nira mentah yang tinggi, dan pol nira mentah dipengaruhi ME dan pol tebu. Produksi GKP menurun menunjukkan rendahnya nilai ME, BHR dan OR dan jumlah kehilangan gula yang tinggi. Efisiensi teknis sangat berkaitan dengan penggunaan energi pada proses produksi GKP.

III.3 Kebutuhan Energi Untuk Produksi GKP

Proses produksi GKP mulai dari kebun, transportasi dan pengolahan di pabrik membutuhkan energi. Semakin efisien suatu pabrik maka semakin kecil energi yang dibutuhkan.. Penggunaan energi pada kebun tebu ditunjukkan pada Tabel III [12].

TABEL III
PENGUNAAN ENERGI DI KEBUN TEBU

Input material	Nilai	Unit	Koefisien energi
Luas areal tanam	11 088.5	ha	
Tebu Giling	995 898.7	ton	
Produktivitas tebu	89.8	ton/ha	
Bibit tebu	6.0	ton/ha	1.0 MJ/kg
ZA	0.4	ton/ha	0.4 MJ/kg
Phonska	0.5	ton/ha	33.2 MJ/kg
Organik	1.0	ton/ha	0.2 MJ/kg
Pestisida	25.0	kg/ha	215.0 MJ/kg
Solar	1.2	liter/ha	44.5 MJ/kg

Penggunaan budi daya tebu tanpa memperhitungkan energi manusia dan mesin peralatan sebesar 28.7 GJ/ha setara 323.7 MJ/ton tebu dengan penggunaan pupuk menyumbang energi terbesar yaitu 59%. Meningkatkan pol tebu berarti menghasilkan rendemen yang lebih besar. Pada skenario 2, PG menghasilkan GKP yang sama dengan skenario 1 tetapi membutuhkan tebu yang lebih sedikit. Dalam perhitungan berdasarkan produktivitas yang sama maka untuk menghasilkan tebu yang lebih sedikit akan mengurangi kebutuhan lahan. Material proses GKP berkurang karena jumlah tebu yang diolah berkurang. Penggunaan energi setiap skenario ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL IV
INPUT MATERIAL KEBUN TEBU PADA PG X

Input material	Unit	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Luas areal tanam	ha	11 088.5	9 464.4	11 088.5
Tebu Giling	ton	995 898.7	770,412.2	995 898.7
Produktivitas tebu	ton/ha	89.8	89.8	89.8
Bibit tebu	ton	66 530.9	56 786.3	66 530.9
ZA	ton	4 435.4	3 785.8	4 435.4
Phonska	ton	5 544.2	4 732.2	5 544.2
Organik	ton	11 088.5	9 464.4	11 088.5
Pestisida	ton	277.2	236.6	277.2
Solar	liter	12 862.6	10 978.7	12 862.6

Peningkatan rendemen melalui perbaikan efisiensi pabrik pada skenario 3, dengan menggunakan jumlah tebu yang sama dihasilkan GKP yang lebih banyak. Untuk mencapai target rendemen 12% dengan jumlah tebu 1,000,786.3 ton maka GKP yang dihasilkan 120.094,4 ton artinya produktivitas menjadi 10,5 ton GKP per ha.

Penggunaan energi transportasi ditunjukkan pada Tabel V. Transportasi pengangkutan tebu dari kebun ke pabrik membutuhkan energi solar sebagai bahan bakar pengangkutan. Untuk jumlah tebu 995 898.7 ton maka transportasi 3 058 831.6 tkm membutuhkan solar 218 488.0 liter.

TABEL V
INPUT TRANSPORTASI PADA SKENARIO PG X

Kondisi PG	Tebu (ton)	Transportasi (tkm)	Solar (liter)
Skenario 1	995 898.7	3 058 831.7	218 488.0
Skenario 2	770,412.2	2 610 812.3	186 486.6
Skenario 3	995 898.7	3 058 831.7	218 488.0

Penggunaan energi pada pengolahan gula kristal putih ditunjukkan pada Tabel VI dan Tabel VII.

TABEL VI
PENGUNAAN ENERGI PENGOLAHAN GULA PG X

Material	Nilai	Unit	Koefisien energi
Asam fospat	6.2	kg/100 ton tebu	0.1 MJ/kg
Flokulan	0.3	kg/100 ton tebu	2.1 MJ/kg
Belarang	47.3	kg/100 ton tebu	2.1 MJ/kg
Kapur	109.2	kg/100 ton tebu	4.3 MJ/kg
Surfactan	1.8	kg/100 ton tebu	16.0 MJ/kg
Soda caustic	3.4	kg/100 ton tebu	16.0 MJ/kg
Biocide	0.5	kg/100 ton tebu	0.1 MJ/kg

TABEL VII
INPUT MATERIAL PENGOLAHAN GULA PG X

Material	Satuan	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Solar	Liter	64 552.7	55 252.1	64 552.7
Ampas	ton	272 911.8	229 508.5	272 911.8
Asam fospat	kg	61 903.0	52 702.0	61 903.0
Flokulan	kg	2 756.7	2 380.1	2 756.7
Belarang	kg	471 360.0	402 320.0	471 360.0
Kapur	kg	1 087 843.3	928 489.5	1 087 843.3
Surfactan	kg	17 928.7	15 300.6	17 928.7
Soda caustic	kg	33 785.0	28 816.1	33 785.0
Biocide	kg	4 730.0	3 995.1	4 730.0

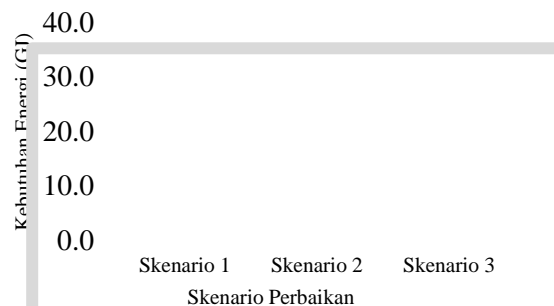
Penggunaan bahan baku tebu dan potensi hasil samping setiap skenario PG ditunjukkan pada Tabel VIII.

TABEL VIII
POTENSI PRODUK GKP DAN HASIL SAMPING PG X

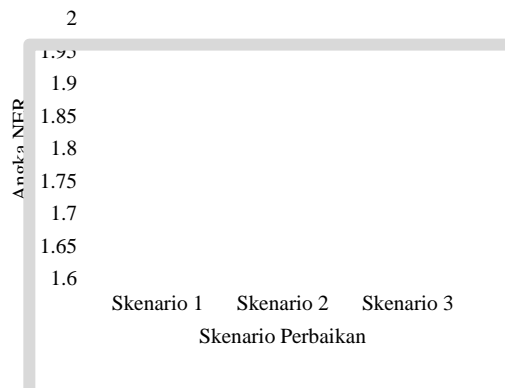
P G	Tebu (k ton)	Rendemen (%)	Gula (k ton)	Hasil samping (k ton)			NER
				Ampas	Blotong	Molase	
1	995.9	8.2	81.7	281.8	22.6	48.5	1.74
2	770.4	10.6	81.7	218.0	17.5	37.5	1.95
3	995.9	9.6	95.63	281.8	22.6	48.5	1.85

Keterangan PG. 1: Skenario 1 ; 2: Skenario 2 ; 3: Skenario 3

PG X menghasilkan rendemen sebesar 8,3, 10,6, dan 9,6 berturut-turut untuk skenario 1, 2 dan 3. Berdasarkan perhitungan energi pabrik gula, kebutuhan energi per ton GKP skenario 1, 2 dan 3 adalah 29.8 GJ, 22.4 GJ dan 24.9 GJ berturut-turut (Gambar 1). Potensi energi per ton GKP skenario 1, 2 dan 3 adalah 51.9 GJ, 43.8 GJ dan 46.1 GJ dengan menghasilkan angka NER sebesar 1.74, 1.95 dan 1.85 berturut-turut (Gambar 2). Perbaikan skenario 2 menunjukkan pemakaian energi terendah, angka NER tertinggi dan rendemen tertinggi.



Gambar 1. Kebutuhan energi produksi GKP



Gambar 2. Capaian angka NER PG X

III.4 Rekomendasi Perbaikan Rendemen Proses Produksi GKP

Untuk memperbaiki tingkat rendemen gula maka perlu perbaikan di sisi *on farm* (kebun) dan *off farm* (pabrik). Produktivitas perkebunan tebu ditentukan oleh kesuburan tanah, ketersediaan tenaga kerja, sistem irigasi dan penerapan teknologi. Sementara itu, dari sisi *off farm*, pemerintah perlu menjalankan upaya revitalisasi pabrik gula dan penggilingan tebu.

Rendemen adalah parameter yang dapat mewakili efisiensi teknis karena menunjukkan kemampuan pabrik mengambil gula yang terdapat dalam tebu sebagai pembentuk penentuan nilai ekonomis dan lingkungan. Pengendalian rendemen dapat menjadi parameter penting dalam evaluasi kinerja. Perbaikan kondisi pol tebu dan efisiensi teknis pabrik gula selain untuk mengurangi kebutuhan energi dan meningkatkan rendemen diharapkan juga meningkatkan kinerja lingkungan.

Peningkatan rendemen dapat menurunkan biaya proses produksi gula, karena dengan efisiensi teknis yang sama gula yang dihasilkan lebih banyak. Peningkatan rendemen melalui perbaikan efisiensi pabrik, dengan menggunakan jumlah tebu yang sama dihasilkan GKP yang lebih banyak. Penelitian ini membuktikan bahwa perbaikan kinerja PG X dapat meningkatkan rendemen GKP. Berdasarkan kondisi faktual PG X (skenario 1) mengolah tebu per tahun sebanyak 995 898.7 ton, pada rendemen 8.2%, 10.6% dan 9.6% PG X menghasilkan gula 82 485 ton, 105 707 ton, dan 95 217 ton berturut-turut. Dengan demikian dengan menggunakan skenario 2 menghasilkan peningkatan produksi GKP sebesar 28.2% dan skenario 3 menghasilkan peningkatan GKP sebesar 15.4%.

Peningkatan rendemen dapat dilakukan dengan menaikkan produktivitas gula melalui peningkatan pol tebu dan efisiensi pabrik tanpa perlu meningkatkan kapasitas PG. Jika kualitas tebu sesuai SNI menggunakan mesin PG X pada skenario ke-2, nilai GKP lebih besar dibandingkan dengan skenario ke-3. Rendemen gula yang dihasilkan tidak hanya ditentukan oleh efisiensi pabrik tetapi sangat dipengaruhi oleh kualitas tebu yaitu pol tebu di kebun. Mesin yang berkualitas baik selain meningkatkan rendemen juga meningkatkan kualitas ampas tebu yaitu memiliki sukrosa dan kelembaban

air yang rendah akan menghasilkan nilai kalor ampas tebu yang tinggi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis gap menunjukkan kinerja PG X pada pol tebu, ME dan BHR memiliki nilai di bawah nilai standar SNI, sehingga proses pembuatan GKP dinyatakan belum efisien. Kebutuhan energi per ton GKP skenario 1, 2 dan 3 adalah 29.8 GJ, 22.4 GJ dan 24.9 GJ, dan angka NER 1.74, 1.95 dan 1.85 dengan rendemen sebesar 8.2%, 10.6%, dan 9.6% berturut-turut. Kebutuhan energi skenario 2 (perbaikan pol tebu) lebih rendah, demikian juga rendemen yang dihasilkan pada skenario 2 lebih tinggi dibandingkan skenario 1 (faktual kogenerasi ampas) dan skenario 3 (perbaikan efisiensi pabrik ME dan BHR). Rekomendasi perbaikan pabrik gula yang diutamakan adalah mengikuti skenario 2 yaitu peningkatan kualitas tebu dengan meningkatkan angka pol tebu yang sangat dipengaruhi kualitas tebu dari kebun. Kualitas tebu meningkat sebanding dengan penggunaan teknik budidaya tebu sesuai standar baku teknis.

REFERENSI

- [1] T. Bantacut, "Swasembada gula: prospek dan strategi pencapaiannya," *Jurnal Pangan*, vol. 19, no. 3, pp. 245-256, 2010.
- [2] T. Bantacut, "Pengembangan Pabrik Gula Mini untuk Mencapai Swasembada Gula (Mini Sugar Mills Development to Achieve Sugar Self-Sufficiency)," *Jurnal Pangan*, vol. 22, no. 4, pp. 299-316, 2013.
- [3] M. Syakir, "Peran dan pengelolaan hara nitrogen pada tanaman tebu untuk peningkatan produktivitas tebu," *Perspektif*, vol. 14, no. 2, pp. 73-86, 2015.
- [4] A. V. Ensinas, S. A. Nebra, M. A. Lozano, and L. Serra, "Optimization of thermal energy consumption in sugar cane factories," *ECOS*, pp. 569-576, 2006.
- [5] H. Shahrukh, A. O. Oyedun, A. Kumar, B. Ghiasi, L. Kumar, and S. Sokhansanj, "Comparative net energy ratio analysis of pellet produced from steam pretreated biomass from agricultural residues and energy crops," *Biomass and Bioenergy*, vol. 90, pp. 50-59, 2016.
- [6] Gunawan, B. Tajuddin, M. Romli, and E. Noor, "Life Cycle Assessment of Cane-sugar in Indonesian Sugar Mill: Energy Use and GHG Emissions. IOP Conf. Series," *Materials Science and Engineering*, vol. 536, p. 012059, 2019.
- [7] H. Santoso and A. R. Pratiwi, "Analisis Faktor Produksi Pabrik Gula Kebon Agung Malang," *Agricultural Socio-Economics Journal*, vol. 8, no. 1, p. 39, 2008.
- [8] T. Bantacut, Sukardi, and I. A. Supatma, "Kehilangan Sukrosa Dalam Sistem Tebang Muat Angkut Di Pabrik Gula," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 22, no. 2, pp. 115-121, 2012.
- [9] C. Indrawanto, S. Purwono, M. Syakir, and W. Rumini, "Budidaya dan pasca panen tebu," *Eska Media, Jakarta*, 2010.
- [10] E. D. Winata and W. H. Susanto, "Pengaruh penambahan antiinversi dan suhu imbibisi terhadap tingkat kesegaran nira tebu," *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, vol. 3, no. 1, pp. 271-280, 2014.
- [11] R. Evizal, "Pengelolaan Perkebunan Tebu," ed: Graha Ilmu, 2018.
- [12] 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, vol. 141, no. 1: IOP Publishing, p. 012009.