

Perancangan sistem pembangkit kogenerasi pada pabrik gula kapasitas 4.000 tcd, studi kasus revitalisasi pabrik gula modjo sragen

Ari Wibowo¹

¹Staff Program Studi Teknik Mesin, Politeknik LPP
Jl. LPP no 1A Balapan Yogyakarta 55222 telp. 0274 555776
Email korespondensi: ariwibowo.lpp@gmail.com

Abstrak

Industri gula merupakan industri yang memasok energinya sendiri (*self sufficiency energy*), dimana energi dibangkitkan dari pembakaran biomassa yang berasal dari ampas tebu menghasilkan energi listrik dan uap. Sistem ini disebut sebagai sistem kogenerasi, artinya pembangkitan dua macam bentuk energi yang berbeda secara bersama-sama dari satu sumber energi utama. Dengan perancangan sistem pembangkit yang tepat, pabrik gula memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar dari kebutuhan internal, sehingga dapat menjadi energi berlebih (*excess power*) yang dapat dialirkan ke jaringan listrik PLN. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang peralatan dalam sistem pembangkit uap kogenerasi dengan mengacu kepada potensi energi yang terkandung didalam ampas tebu. Hasil penelitian menunjukkan dengan perhitungan dan perancangan peralatan yang dilakukan, didapatkan potensi energi dari ampas sebesar 381.818.182 kJ/jam yang dapat menghasilkan uap di boiler sebanyak 100.000 kg/jam pada tekanan 45 barg 400°C. Di dalam turbin dan generator dapat dikonversi menjadi energi listrik sebesar 11 MW.

Kata kunci: pabrik gula, energi terbarukan, pembangkit listrik, kogenerasi.

Abstract

The sugar industry is an industry that supplies its own energy, in which energy is generated from burning biomass in the form of bagasse to produce electricity and steam. This system is referred to as a cogeneration system, meaning the generation of two different forms of energy together from one main energy source. By designing the right generating system, sugar mills have the potential to generate electrical energy greater than the internal requirement, so the excess power that can be transferred into PLN electricity network. The purpose of this research is to design the equipment in cogeneration steam generation system with reference to the energy potential contained in bagasse. The results showed by calculation and design of equipment, the energy potential from the bagasse of 381.818.182 kJ / hour which can produce steam in the boiler as much as 100.000 kg / hour at a pressure of 45 barg 400°C. Than the turbine and generator can convert into electrical energy of 11 MW.

Keywords: sugar mills, renewable energy, powerplant, cogeneration.

1. Pendahuluan

Gula merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat Indonesia. Pada tahun 2016, tingkat konsumsi gula nasional mencapai 4 juta ton, yang dipenuhi dari produksi gula dalam negeri dan gula impor. Hal ini menunjukkan Indonesia belum mampu untuk memenuhi sendiri kebutuhan gula, atau belum mampu swasembada gula, yang sudah dicanangkan oleh pemerintah. Salah satu yang menjadi alasan kegagalan swasembada gula adalah kondisi pabrik gula Indonesia yang rata-rata sudah berusia tua dan dengan kinerja yang kurang memuaskan. Untuk itu, pemerintah melakukan upaya perbaikan melalui program revitalisasi pabrik gula, yaitu perbaikan pabrik-pabrik gula BUMN agar memiliki kinerja yang lebih baik.

Tantangan bisnis pabrik gula memang cukup berat. Gula, yang menjadi produk utama pabrik gula merupakan kebutuhan pokok, dimana harga gula selalu dikendalikan oleh pemerintah, sehingga

berada pada batas yang wajar. Di sisi lain, tebu yang merupakan bahan baku pabrik gula berasal dari petani rakyat. Jika harga tebu tidak menarik bagi petani, maka ada kecenderungan petani untuk beralih ke komoditas pertanian yang lain. Hal ini sudah tampak, dimana beberapa pabrik gula di Jawa sudah mulai kesulitan untuk mendapatkan bahan baku tebu dari petani. Dengan lahan tebu yang semakin sempit dan tantangan dari komoditas lain, memaksa pabrik gula untuk memperbaiki kinerjanya, baik melalui efisiensi produksi maupun diversifikasi usaha.

Tebu telah dikenal sebagai tanaman yang mampu menghasilkan multi produk. Lebih dari 150 produk turunan dari tebu telah ditemukan, dan kurang lebih 50 jenis diantaranya telah diproduksi secara komersial. [1] Di luar negeri, seperti di India, Thailand dan Australia, pabrik gula bukan hanya memproduksi gula dan tetes seperti di Indonesia, tetapi juga menghasilkan produk lain secara komersial, seperti minuman, ethanol dan listrik.

Industri gula dikenal sebagai industri yang memasok energinya sendiri (*self sufficiency energy*), dimana energi dibangkitkan dari pembakaran biomassa yang berasal dari ampas tebu. [2] Pembakaran dilakukan di dalam boiler untuk mengubah air menjadi uap bertekanan. Selanjutnya uap bertekanan dialirkan ke turbin yang menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Uap keluar turbin masih memiliki tekanan yang cukup untuk digunakan sebagai pemanas di dalam proses. Sistem ini disebut sebagai sistem kogenerasi, artinya pembangkitan dua macam bentuk energi yang berbeda secara bersamaan dari satu sumber energi utama. Dengan perancangan sistem pembangkit yang tepat, pabrik gula memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar dari kebutuhan internal, sehingga dapat menjadi energi berlebih (*excess power*) yang dapat dialirkan ke jaringan listrik PLN.

Pabrik Gula Modjo (PG Modjo) di Sragen Jawa Tengah, merupakan salah satu pabrik gula milik BUMN, PT Perkebunan Nusantara IX, yang masuk ke dalam program revitalisasi pabrik gula pada tahun 2017. Melalui program tersebut, PG Modjo akan ditingkatkan kapasitasnya dari semula 2.750 TCD (*Ton Cane per Day/Ton Tebu per Hari*) menjadi 4.000 TCD. Untuk itu diperlukan perancangan sistem pembangkit yang tepat untuk mendapatkan energi kogenerasi yang optimal dari bahan bakar ampas tebu yang tersedia dengan kapasitas olah 4.000 TCD.

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan melakukan pengumpulan data-data dari lapangan, percobaan di laboratorium dan analisis data untuk mendapatkan kesimpulan.

Metode Pengumpulan Data

Untuk melaksanakan penelitian ini, dilakukan pengumpulan data lapangan dalam bentuk survey dan percobaan di laboratorium. Data lapangan berupa data produksi pabrik Pabrik Gula Modjo, yang terdiri dari data Produksi Kapasitas Olah Pabrik, Neraca Massa, Konsumsi Energi Uap dan Konsumsi Energi Listrik.

Data neraca bahan diambil untuk melihat komposisi dan potensi bahan bakar ampas tebu di Pabrik Gula. Untuk mengetahui kandungan energi dari ampas, maka dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai kalor dari ampas tersebut, sekaligus juga dilakukan perhitungan. Sampel ampas tebu diambil secara acak, selama penelitian dan kemudian diuji untuk menentukan rerata harga nilai kalornya.

Metode Analisis Data

Dari data kuantitatif yang dihasilkan baik data primer dari hasil pengujian maupun data sekunder dari data kinerja pabrik, selanjutnya dianalisis

secara kuantitatif untuk mendapatkan nilai potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari ampas tebu yang dihasilkan oleh Pabrik Gula Modjo dengan peningkatan kapasitas ke 4.000 TCD.

Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis ketersediaan bahan bakar. Analisis dilakukan melalui data-data produksi dan neraca masa pabrik untuk menentukan produksi ampas dan potensi bahan bakar tersedia.

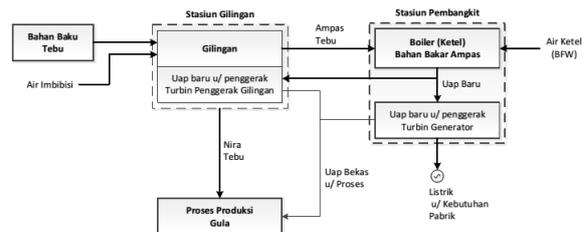
Analisis kedua adalah analisis potensi energi yang dikandung dalam ampas tebu yang dihasilkan oleh PG Modjo. Rangkaian analisis meliputi pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai kalor sampel ampas dari PG Modjo. Pengujian nilai kalor dilakukan berdasarkan Hukum I Termodinamika Tertutup, dengan menggunakan alat bom kalorimeter. Pengujian nilai kalor juga dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan melihat kondisi fisik.

Analisis ketiga adalah perancangan sistem peralatan pendukung pembangkit kogenerasi pabrik gula. Dalam tahap ini dilakukan perancangan peralatan-peralatan utama sesuai dengan siklus pembangkit uap Rankine, terutama untuk peralatan Boiler, Turbine dan Generator.

3. Hasil dan Pembahasan

Ketersediaan Ampas

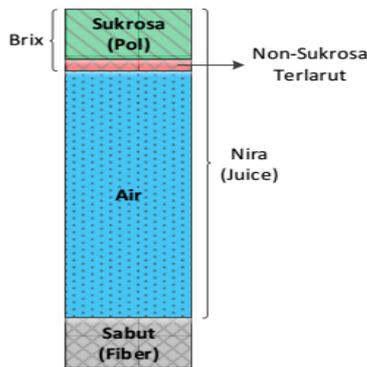
Proses produksi gula di pabrik gula dimulai dari proses penggilingan tebu, yaitu memeras tebu yang telah dicacah, sehingga terpisah antara nira tebu dan ampas tebu. Nira selanjutnya diproses untuk menjadi gula, sedangkan ampas tebu menjadi bahan bakar di boiler. Gambar 1 menunjukkan gambaran umum proses dan sistem pembangkit di pabrik gula.



Gambar 1. Gambaran umum proses dan sistem pembangkit di pabrik gula [3]

Komposisi tebu yang digiling terdiri dari Zat Padat Terlarut (Brix), Air, dan Sabut (fiber), seperti pada gambar 2. Sabut merupakan komponen penting dari tebu yang menentukan jumlah ampas yang dihasilkan. Pada umumnya, pabrik gula di Jawa, tebu yang digiling memiliki kadar sabut 11 s/d 16 %, sedangkan kadar ampas berkisar 27 s/d 38 %. [4] Dari perhitungan neraca massa di PG Modjo, didapatkan kadar sabut tebu empat tahun terakhir berkisar antara 12 s/d 13,5 %. Sedangkan ampas didapatkan berkisar antara 27 s/d 34 %, pada

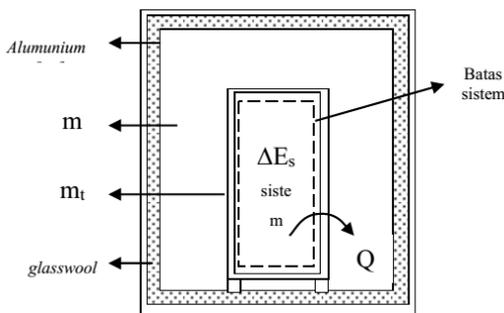
kapasitas giling terpasang 2.750 TCD. Dengan mengambil asumsi yang sama, maka diambil rata-rata kadar ampas dari tebu digiling pada 30%. Dari kapasitas giling 4.000 TCD, diasumsikan dalam satu hari menggiling selama 22 jam, dimana 2 jam sisanya digunakan sebagai jam berhenti untuk maintenance, maka perjam pabrik gula menggiling tebu sebanyak 181,8 ton. Dengan jumlah ampas sebanyak 30%, maka akan tersedia ampas sebanyak 54,5 ton/jam.



Gambar 2. Komposisi tebu [3]

Potensi Energi Ampas

Selanjutnya dilakukan pengujian nilai kalor ampas untuk mengetahui potensi energi yang terkandung dalam ampas. Untuk mendapatkan nilai kalor, dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu pengujian di laboratorium dan penghitungan menggunakan persamaan. Pengujian nilai kalor di laboratorium dilakukan dengan mengambil sampel ampas secara acak kemudian diuji dengan menggunakan alat *calorimeter bomb*.



Gambar 3. Analisa termodinamika sistem tertutup dalam *Calorimeter Bomb* [5]

Penentuan nilai kalor bahan bakar dilakukan berdasarkan pada Hukum I Thermodinamika Tertutup, dimana Hukum I Termodinamika menyatakan bahwa “Energi adalah Kekal, tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan”. Pada kasus ini energi kimia setelah terjadi proses pembakaran akan berubah menjadi energi panas. Energi ini selanjutnya diterima oleh media lain dengan indikasi kenaikan suhu media penyerap

energi tersebut. Dalam *Calorimeter Bomb* media penyerap energi kimia bahan bakar adalah air, material bejana sebelah dalam (*bomb*) dan material sebelah luar (*pail*).

Persamaan untuk Hukum I Termodinamika dengan sistem tertutup adalah:

$$\sum E_{dilepas} = \sum E_{diterima} \tag{1}$$

Berdasarkan analisa gambar 3 maka didapat:

$$m_{BB} \cdot HHV_{BB} = C_v \cdot \Delta T - m_{stimulan} \cdot HHV_{stimulan} \tag{2}$$

Dimana

$$C_v = (m_a \cdot C_{p_a}) + (m_{tb} \cdot C_{p_{tb}}) \tag{3}$$

Sehingga

$$HHV_{BB} = \frac{C_v \cdot \Delta T - m_{stimulan} \cdot HHV_{stimulan}}{m_{BB}} \tag{4}$$

Dengan, $m_{BB} = m_0 - m_1$

dimana:

- m_{BB} : Massa bahan bakar (kg)
- HHV : Nilai kalor pembakaran bahan bakar (kJ/kg)
- m_a : Massa air (kg)
- C_{p_a} : Kalor jenis rata-rata air (= 4,18 kJ/kg.K)
- $C_{p_{tb}}$: Kalor spesifik tabung (= 0,46 kJ/kg.K)
- T_0 : Suhu awal air (°C)
- T_1 : Suhu maksimum air (°C)
- m_0 : Massa bahan bakar sebelum pembakaran (kg)
- m_1 : Massa bahan bakar setelah pembakaran (kg)

Sampel yang di uji adalah ampas tebu dari PG Modjo. Selain diuji nilai kalor, masing-masing sampel juga diuji *moisture content* (MC) dan kadar sucrose dalam ampas (pol ampas). Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian nilai kalor untuk masing-masing sampel.

Tabel 1 Nilai kalor hasil pengujian dengan *calorimeter bomb*

Sampel	MC (%)	pol (%)	Nilai Kalor (kJ/kg)
Ampas Modjo I	52,56	3,25	7.320
Ampas Modjo II	53,13	2,63	7.032
Ampas Modjo III	52,91	2,39	7.102
Ampas Modjo IV	52,52	2,33	7.289
Rata-Rata			7185,75

Nilai kalor ampas juga dapat dihitung dengan memperhitungkan *moisture content* dan pol ampas [6] dengan persamaan berikut:

$$\text{Nilai Kalor} = 18.309 - 31,1S - 207,3W - 196,1A \quad (5)$$

dimana:

- S : nilai pol ampas (%)
- W : zat kering ampas (%) = 100%-MC
- A : kadar abu (%)

Dengan memperhitungkan hasil pengujian dan laboratorium, maka didapat nilai kalor hasil perhitungan seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai kalor hasil perhitungan

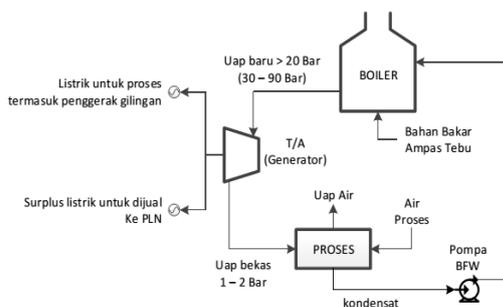
Sampel	MC (%)	pol (%)	Nilai Kalor (kJ/kg)
Ampas Modjo I	52,56	3,25	6.920
Ampas Modjo II	53,13	2,63	6.821
Ampas Modjo III	52,91	2,39	6.874
Ampas Modjo IV	52,52	2,33	6.957
Rata-Rata			6.893

Dari hasil pengujian dan perhitungan, maka diambil nilai kalor untuk ampas dari PG Modjo adalah sebesar 7.000 kJ/kg. Total potensi energi yang dimiliki ampas adalah :

$$\begin{aligned} \text{Energi Ampas} &= \text{Jml ampas} \times \text{NK ampas} \\ &= 54.545 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 7.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 381.818.182 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Perancangan Pembangkit

Pembangkit energi di pabrik gula menerapkan prinsip-prinsip termodinamika dalam bentuk siklus pembangkit uap atau yang biasa disebut siklus Rankine. Namun dalam sistem kogenerasi, dimana uap juga digunakan sebagai pemanas dalam proses produksi, maka siklus pembangkit yang digunakan sedikit dimodifikasi, dimana peran kondenser sebagai pendingin dihilangkan diganti dengan sistem pemanas untuk proses produksi gula. secara umum gambar 4 menunjukkan sistem pembangkit di pabrik gula.



Gambar 4. Skema pembangkit kogenerasi di pabrik gula [3]

Boiler merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap (penguapan) melalui proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar boiler. Uap yang terbentuk dari boiler memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi, sehingga memiliki energi yang tinggi. Energi tersebut kemudian diekstrak oleh turbine dan dikonversi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran dan torsi. Putaran dari turbin tersebut digunakan untuk memutar generator yang menghasilkan energi listrik. Uap yang keluar dari turbin masih memiliki tekanan yang cukup (1-2 bar) untuk digunakan sebagai pemanas dalam proses yang menghasilkan air kondensat yang selanjutnya dipompa kembali ke boiler untuk diuapkan.

Perancangan sistem pembangkit kogenerasi pabrik gula adalah penentuan spesifikasi teknis peralatan-peralatan dalam sistem pembangkit uap kogenerasi dengan mempertimbangkan kesediaan bahan bakar dan potensi energi yang telah dianalisis sebelumnya.

Boiler

Boiler merupakan peralatan utama sebagai pembangkit uap. Bahan bakar boiler menggunakan ampas tebu dari hasil penggilingan tebu. Dari analisis sebelumnya terdapat potensi energi pada kapasitas giling 4.000 TCD sebesar 381.818.182 kJ/jam.

Spesifikasi yang pertama ditentukan adalah tekanan dan temperatur uap boiler, yaitu ditentukan tekanan 45 barg dan temperatur 400°C dengan jenis uap *superheated steam*. Sedangkan air masuk boiler ditentukan memiliki temperatur 105°C. Penentuan didasarkan kepada ketersediaan spesifikasi peralatan yang umum dimiliki oleh pabrikan. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan kapasitas uap dibangkitkan, dengan menggunakan persamaan efisiensi, yaitu:

$$\eta = \frac{Q (h_1 - h_0)}{E_{BB}} \quad (6)$$

dimana:

- η : Efisiensi boiler (%)
- Q : Kapasitas boiler (kg/jam)
- h_1 : Enthalpy Uap (kJ/kg)
- h_0 : Enthalpy Air (kJ/kg)
- E_{BB} : Energi bahan bakar (kJ/jam)

Enthalpy uap diambil dari data tabel uap (*steam table*) untuk uap *superheated* 400°C, 45 barg, didapat h_1 sebesar 3203,4 kJ/kg. Enthalpy air masuk dihitung pada kondisi cair, temperatur 105°C, 45 barg, didapat h_0 sebesar 443,23 kJ/kg. Dengan mengambil asumsi efisiensi boiler biomassa sebesar 75%, maka kapasitas uap boiler yang dapat dibangkitkan dari bahan bakar tersedia adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{0,75 \times 381.818.182}{(3203,4 - 443,23)}$$

$$= 103.748 \text{ kg uap/jam}$$

Potensi uap yang dapat dibangkitkan dari bahan bakar tersedia adalah 103.748 kg uap/jam. Rasio uap per jumlah ampas adalah:

$$\text{Rasio uap - ampas} = \frac{103.748 \text{ kg/jam}}{54.545 \text{ kg/jam}}$$

$$= 1,90$$

Berdasarkan norma, untuk boiler bertekanan 45 barg, untuk setiap ton ampas akan dapat menghasilkan 2,21 ton uap [7], sehingga dengan rasio 1,90 perhitungan perancangan ini masih dapat diterima. Namun dengan melihat ketersediaan spesifikasi di lapangan dan potensi fluktuasi produksi, maka kapasitas boiler ditentukan sebesar 100.000 kg/jam. Dengan demikian spesifikasi boiler hasil rancangan seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Boiler hasil rancangan

Keterangan	Spesifikasi
Jenis Boiler	Pipa Air
Tekanan uap	45 barg
Temperatur uap	400 °C
Jenis Uap	Superheated
Temperatur Air	105°C
Efisiensi	75%
Kapasitas uap	100.000 kg/jam
Bahan Bakar	Ampas Tebu
Konsumsi bahan bakar	50 ton/jam
Jenis Grate	Traveling grate

Turbine-Generator

Turbin merupakan peralatan yang mengkonversi energi dari uap dari boiler menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Turbin yang digunakan di pabrik gula adalah tipe *back pressure*, dimana uap keluar turbin masih memiliki tekanan yang cukup untuk mendukung proses pemanasan. Pada perancangan ini digunakan tekanan *back pressure* adalah 1,2 barg, sesuai dengan kebutuhan proses.

Dengan asumsi bahwa semua aliran masa dan energi yang *steady*, sehingga berlaku hukum konservasi energi, Dengan mendasarkan pada hukum pertama Termodinamika :

$$dQ = dU - dW \tag{7}$$

dimana :

dQ : kalor yang diterima sistem,

dU : $U_2 - U_1$ = perubahan energi

dW : usaha yang dilakukan sistem

Dengan menerapkan konsep diatas bahwa internal energy (U) sebanding dengan entalphy (h) dan Turbin melakukan kerja ekspansi isentropis, maka diperoleh daya turbin uap :

$$W_T = Q (h_1 - h_2) \tag{8}$$

Dimana :

W_T : Daya Turbin (kW)

Q : Jumlah uap masuk turbin, kg/detik

h_1 : Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_2 : Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

Dalam sistem turbin terdapat efisiensi isentropis, dimana selisih entalpy dibandingkan dengan selisih enthalpy pada kasus ideal isentropis. Persamaan efisiensi isentropis adalah:

$$\eta_s = \frac{(h_1-h_2)}{(h_1-h_{2s})} \times 100\% \tag{9}$$

Sehingga: $(h_1-h_2)=\eta_s (h_1-h_{2s})$

Dimana :

η_s : Efisiensi Isentropik (%)

h_1 : Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_2 : Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

h_{2s} : Entalpi uap keluar turbin pada kondisi isentropis (kJ/kg)

Dari persamaan (8) dan (9), maka didapatkan daya turbin adalah

$$W_T = Q \eta_s (h_1 - h_{2s}) \tag{10}$$

Kapasitas uap didapat dari kapasitas uap terbangkit, yaitu 100.000 kg/jam. Enthalpy uap masuk adalah enthalpy uap yang dihasilkan boiler pada tekanan 45 barg, temperatur 400°C, yaitu sebesar 3203,4 kJ/kg. Enthalpi isentropik adalah enthalpy pada saat uap keluar turbin dengan kondisi isentropik pada tekanan 1,2 barg, yaitu sebesar 2553,4 kJ/kg. Dengan asumsi efisiensi isentropik sebesar 70%, maka daya dapat dihitung sebagai berikut:

$$W_T = 100.000.0,7 (3203,4 - 2553,4)$$

$$= 45.500.000 \text{ kJ/jam}$$

$$= 45.500.000 \times 0,000278 \text{ kWh}$$

$$W_T = 12.649 \text{ kWh}$$

Daya turbin digunakan untuk menggerakkan generator, dengan asumsi efisiensi generator dan gearbox sebesar 90%, maka potensi daya listrik terbangkit adalah:

$$P = W_T \times 90\%$$

$$= 12.649 \times 90\%$$

$$= 11.384,1 \text{ kWh}$$

Tabel 4 Spesifikasi Turbin-Generator hasil rancangan

Keterangan	Spesifikasi
Jenis Turbine	Backpressure Turbine
Jenis Valve	Multistage
Tekanan uap masuk	45 barg
Temperatur uap masuk	400 °C
Jenis Uap	Superheated
Tekanan uap exhaust	1,2 barg
Effisiensi isentropik	70%
SSC	8,78
Daya Generator	11 MW

Selanjutnya dihitung nilai *Spesific Steam Consumption* (SSC) untuk menilai efisiensi sistem pembangkit, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{SSC} &= Q/P \\ &= 100.000/11.384,1 \\ &= 8,78 \text{ kg uap/kWh} \end{aligned}$$

Dengan SSC sebesar 8,78 kg uap/kWh hanya dapat dipenuhi dengan turbine jenis *Multistage-Back pressure*. Dengan melihat potensi daya dan ketersediaan spesifikasi maka ditentukan daya turbin-generator sebesar 11.000 kWh. Tabel 4 menunjukkan spesifikasi hasil rancangan.

Potensi Excess Power

Dari perancangan diatas menunjukkan adanya potensi energi listrik yang dibangkitkan oleh pabrik gula kapasitas 4.000 TCD hingga mencapai 11 MW. Daya total terbangkit ini digunakan untuk konsumsi internal pabrik gula selama proses. Sedangkan sisa daya merupakan excess power yang dapat disalurkan ke jaringan listrik PLN.

Konsumsi internal pabrik gula, khususnya untuk pabrik modern dimana seluruh penggerak menggunakan motor listrik ditargetkan memiliki konsumsi sebesar 30 kW/ton tebu. Dengan demikian, untuk kapasitas giling 4.000 TCD, maka konsumsi listrik internal sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Listrik internal} &= 181,8 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times 30 \frac{\text{kW}}{\text{ton}} \\ &= 5.454 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Maka potensi daya sisa (*excess power*) adalah:

$$\begin{aligned} \text{Excess Power} &= 11.000 \text{ kWh} - 5.454 \text{ kWh} \\ &= 5.546 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dengan demikian, terdapat potensi daya sebesar sisa *excess power* kurang lebih **5,5 MW** yang dapat disalurkan ke jaringan listrik PLN dari Pabrik Gula kapasitas 4.000 TCD, selama musim giling berlangsung, yaitu rata-rata 150 hari pada sekitar bulan Mei s/d Oktober.

4. Kesimpulan

Berdasarkan proses pengujian dan analisis perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (a) Pabrik Gula memiliki potensi sebagai penghasil energi listrik terbarukan dengan berbasis kepada biomassa ampas tebu sebagai bahan bakar pembangkit. (b) Perbaikan kinerja pabrik gula melalui revitalisasi pabrik gula memungkinkan pabrik gula untuk memperbaiki teknologi prosesnya untuk mendapatkan potensi ekonomi yang lebih besar melalui produk-produk sampingan yang memiliki nilai komersil tinggi, salah satunya adalah energi listrik. (c) Dengan mengambil dasar pada revitalisasi Pabrik Gula Modjo, dengan kapasitas olah 4.000 TCD dan menerapkan teknologi kogenerasi sesuai rancangan, pabrik gula memiliki potensi energi listrik dibangkitkan mencapai 11 MW dan terdapat sisa (*excess power*) yang dapat dijual ke jaringan listrik PLN sebesar 5,5 MW. Energi listrik ini hanya didapatkan selama pabrik gula beroperasi, yaitu kurang lebih 150 hari per tahun. (d) Perancangan sistem pembangkit yang telah dilakukan meliputi perancangan peralatan pendukung siklus pembangkit, yaitu boiler dan turbine-generator, dengan mengacu kepada potensi energi yang terkandung dalam ampas.

Potensi energi dalam ampas sebesar 381.818.182 kJ/jam yang dapat menghasilkan uap di boiler sebanyak 100.000 kg/jam pada tekanan 45 barg 400°C. Di dalam turbin dan generator dapat dikonversi menjadi energi listrik sebesar 11 MW.

Daftar Pustaka

- [1] Rao, P.J.M., 1997, *Industrial Utilization of Sugar Cane and Its Co-Products*, PJ International Group Conculants, New Delhi. p. 558.
- [2] Kurniawan, Y. dan Santoso, H., 2009, *Listrik Sebagai Ko-Produk Potensial Pabrik Gula*, Litbang Pertan., no. 28.1 : 3.
- [3] Rifai, Fathur R., 2015, *Studi Potensi Energi Terbarukan dari Sistem Kogenerasi di Pabrik Gula, Studi Kasus di Pabrik Gula Gempolkrep PT. Perkebunan Nusantara X (Persero)*, tesis, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
- [4] Saechu, Muhammad, 2009, *Optimasi Pemanfaatan Energi Ampas di Pabrik Gula*, Jurnal Teknik Kimia Vol.4, No.1
- [5] Wibowo, Ari, 2016, *Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Sawit (PLTBS) Kapasitas 5 MW*, Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, Vol. 1(2), 53-60
- [6] Paturau, J.M., 1989, *Alternative Uses of Sugarcane and Its Byproducts in Agroindustries*, Elsevier Publ. Co., Amsterdam. p. 74-85.
- [7] Rein, Peter, 2007, *Cane Sugar Engineering*, Verlag Dr. Albert Bartens