



STUDI POTENSI ENERGI TERBARUKAN DARI SISTEM KOGENERASI DI PABRIK GULA - Studi Kasus di Pabrik Gula

Gempolkrep PT. Perkebunan Nusantara X (Persero)

FATHUR RAHMAN RIFAI, Ir. Agus Prasetya, M.Eng.Sc., Ph.D; Dr.-Ing. Ir. Sihana

STUDI POTENSI ENERGI TERBARUKAN DARI SISTEM KOGENERASI DI PABRIK GULA

Studi Kasus di Pabrik Gula Gempolkrep PT. Perkebunan Nusantara X (Persero)

oleh

Fathur Rahman Rifai

12/342477/PTK/08611

Diajukan kepada Program Pascasarjana Jurusan Teknik
Universitas Gadjah Mada pada tanggal 29 Juni 2015
untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat
Master S – 2 Program Studi Magister Teknik Sistem

INTISARI

Kebutuhan energi untuk keperluan hidup manusia semakin meningkat sejalan semakin meningkatnya dan berkembangnya kebutuhan manusia. Dengan semakin menipisnya sumber energi yang berbasis energi fosil maka perlu dilakukanlah diversifikasi pemanfaatan sumber energi dengan mencari alternatif sumber energi. Energi baru dan terbarukan (EBT) yang berasal dari produk samping pabrik gula dari tebu berupa ampas (biomassa) merupakan salah satu solusinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran potensi energi terbarukan (dinyatakan dalam bentuk energi listrik) yang dapat dihasilkan dari Pabrik Gula dari produk samping berupa ampas yang digunakan sebagai bahan bakar sistem kogenerasinya.

Penelitian ini mengambil obyek Pabrik Gula Gempolkrep yang merupakan salah satu dari pabrik-pabrik gula di lingkungan PT. Perkebunan Nusantara X (Persero). Metode penelitian melalui pengumpulan data, analisis data dan melakukan simulasi perhitungan potensi surplus energi dari model neraca massa dan neraca energi di pabrik gula yang ditinjau.

Hasil analisis menunjukkan bahwa PG Gempolkrep memiliki potensi surplus energi dari kelebihan produk samping berupa ampas sebanyak 11.44 Ton/jam, setara dengan 2149 kW (2.15 MW) atau 8.24 kWh/tc. Upaya optimasi dengan melakukan full elektrifikasi pada kondisi saat ini dapat meningkatkan potensi surplus hingga menjadi 3.30 MW (12.66 kWh/tc) atau peningkatan sebesar 53.70 %. Optimasi dengan mengganti tekanan ketel (tekanan uap baru) mencapai titik optimum pada tekanan 30 kg/cm²a dengan potensi surplus listrik menjadi 3.4 MW (13.04 kWh/tc). Upaya optimasi dengan meningkatkan efisiensi ketel dan optimasi kondisi bahan bakar ampas yang lebih baik (kadar sabut tebu 16 %, zat kering ampas 52 %, pol ampas 1 %), optimum hingga tekanan 80 kg/cm²a dengan potensi surplus listrik hingga 8.16 MW (31.27 kWh/tc).

Hasil simulasi perhitungan menunjukkan bahwa potensi surplus energi dari ampas pabrik gula yang digunakan sebagai bahan bakar sistem kogenerasi di pabrik gula dapat dioptimalkan dengan melakukan optimasi-optimasi terhadap sub-sistem sub-sistem dari pabrik gula baik sub-sistem produsen energi maupun pemakai energi. Sehingga dengan optimalnya sub-sistem akan berdampak pada optimumnya sistem pabrik gula secara keseluruhan yang dibuktikan dengan meningkatnya potensi surplus energi yang dapat diekspor keluar pabrik gula.

Kata Kunci : energi terbarukan, kogenerasi, pabrik gula, ampas, biomassa
Pembimbing Utama : Ir. Agus Prasetya, M.Eng.Sc., Ph.D
Pembimbing Pendamping : Dr.-Ing. Ir. Sihana



STUDI POTENSI ENERGI TERBARUKAN DARI SISTEM KOGENERASI DI PABRIK GULA - Studi Kasus di Pabrik Gula

Gempolkrep PT. Perkebunan Nusantara X (Persero)

FATHUR RAHMAN RIFAI, Ir. Agus Prasetya, M.Eng.Sc., Ph.D: Dr.-Ing. Ir. Sihana

Universitas Gadjah Mada, 2015. Disubmitkan dan dipublikasikan di repository Ugm.ac.id

RENEWABLE ENERGY POTENTIAL STUDY OF COGENERATION SYSTEM IN SUGAR FACTORY

Case Study in Gempolkrep Sugar Factory PT. Perkebunan Nusantara X (Persero)

by

Fathur Rahman Rifai

12/342477/PTK/08611

Submitted to Post Graduate Program of Faculty of Engineering

Gadjah Mada University on June 29, 2015

In partial fulfillment of the Degree of Master of Engineering

in Magister of System Engineering

ABSTRACT

Energy needs for the purpose of human life is increasing in line with the increasing and growing of human needs. With the depletion of energy sources based on fossil energy, it needs to perform the diversification of energy resources by finding alternative sources of energy. Renewable energy which is derived from sugar factory cane based byproducts in the form of bagasse (biomass) is one of the solution. This study aims to describe the potential of renewable energy (expressed in the form of electrical energy) that can be produced from bagasse of sugar factory byproducts which is used as fuel for its cogeneration system.

This study takes an object Gempolkrep Sugar Factory which is one of the sugar mills owned by PTPN X (Persero), Indonesia. Research methods through data collection, data analysis and conduct simulation calculations of potential surplus of energy which is derived from mass balance and energy balance calculation model of the sugar factory being reviewed.

The analysis showed that Gempolkrep Sugar Factory has the potential surplus of excess energy in the form of bagasse byproducts as 11.44 Tons/hour, equivalent to 2149 kW (2.15 MW) or 8.24 kWh/tc. Optimization efforts by making full electrification on the current conditions can increase the potential surplus to be 3.30 MW (12.66 kWh/tc) or an increase of 53.70%. Optimization by replacing the boiler pressure (superheat steam pressure) reach optimum pressure of 30 kg/cm²a with a potential surplus electricity into 3.4 MW (13.04 kWh/tc). Optimization efforts by improving boiler efficiency and optimization of fuel conditions better bagasse (sugar cane fiber content of 16%, bagasse dry matter of 52%, bagasse pol of 1%), reach optimum up to pressure 80 kg/cm²a with a potential surplus of electricity until 8.16 MW (31.27 kWh/tc).

Simulation results show that the calculation of the potential surplus energy from the sugar factory bagasse used as fuel for cogeneration system in the sugar factory can be optimized by perform such optimizations of the sub-systems of both sugar factory energy producer sub-system and energy consumer sub-system. So that the optimum conditions of each sub-system will have an impact on the optimum condition of the overall system which is evidenced by an increase in potential energy surplus that can be exported out of the sugar factory.

Keyword : renewable energy, cogeneration, sugar factory, bagasse, biomass

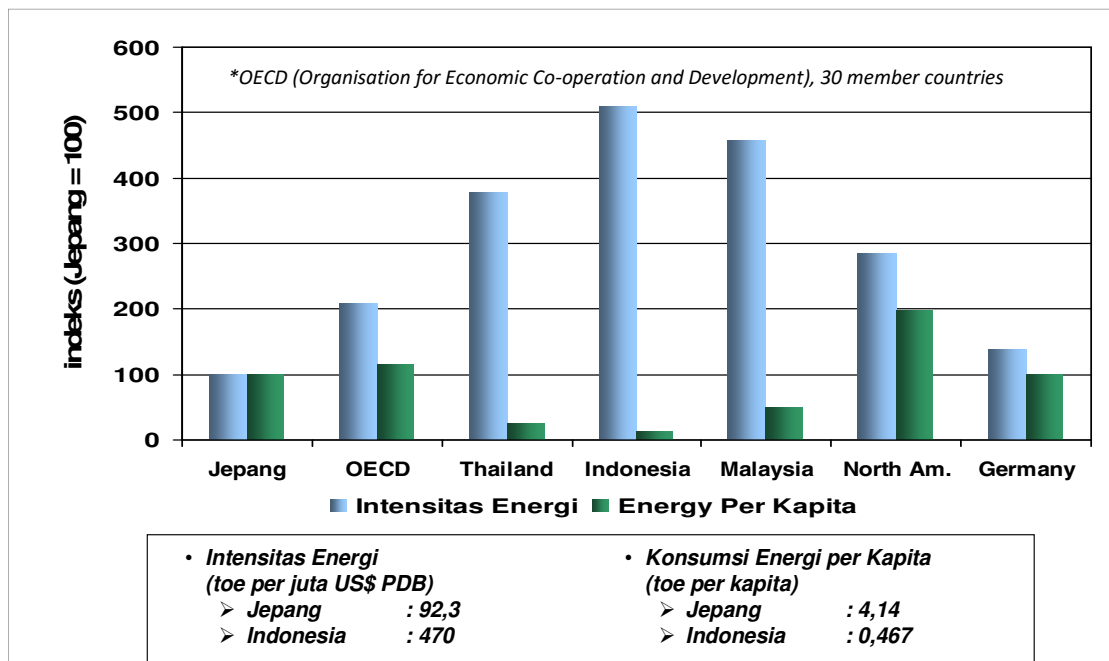
Supervisor : Ir. Agus Prasetya, M.Eng.Sc., Ph.D

Co-supervisor : Dr.-Ing. Ir. Sihana

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi untuk keperluan hidup manusia semakin meningkat sejalan semakin meningkat seiring dengan berkembangnya kebutuhan manusia. Dengan semakin menipisnya sumber energi yang berbasis energi fosil (Bahan Bakar Minyak, Batubara dan Gas Alam), maka perlu dilakukanlah diversifikasi pemanfaatan sumber energi dengan mencari alternatif sumber energi selain yang sudah ada terutama yang berbasis fosil. Energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan salah satu solusinya. Energi surya, energi angin, energi biomasa dan energi air adalah beberapa contoh energi terbarukan yang dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk mencukupi kebutuhan energi kita.

Salah satu ukuran maju tidaknya suatu Negara adalah dinilai dari Intensitas Energi dan Energi Perkapita yang ada di Negara tersebut. Intensitas Energi yaitu jumlah konsumsi energi per Pendapatan Domestik Bruto (PDB). Semakin rendah angka intensitas energi, semakin efisien penggunaan energi di sebuah negara. Sedangkan Energi Perkapita adalah jumlah energi yang dikonsumsi oleh tiap penduduk di suatu Negara terutama untuk kegiatan produktif.



Gambar I-1. Grafik Indeks Perbandingan Intensitas Energi dan Energi Perkapita di Indonesia dibanding berbagai Negara di Dunia (Sumber: ESDM, PSE UGM, 2011)

Berdasarkan Gambar I-1 diatas, terlihat bahwa di Indonesia indeks intensitas energi sangat tinggi yang menunjukkan pemborosan energi masih tinggi, yaitu penggunaan energi yang

sebanding dengan Pendapatan Domestik Bruto (PDB) yang dihasilkan. Begitu halnya dengan indeks energi per kapita di Indonesia masih sangat rendah, bila dibandingkan dengan Negara maju seperti Jepang masih sangat jauh.

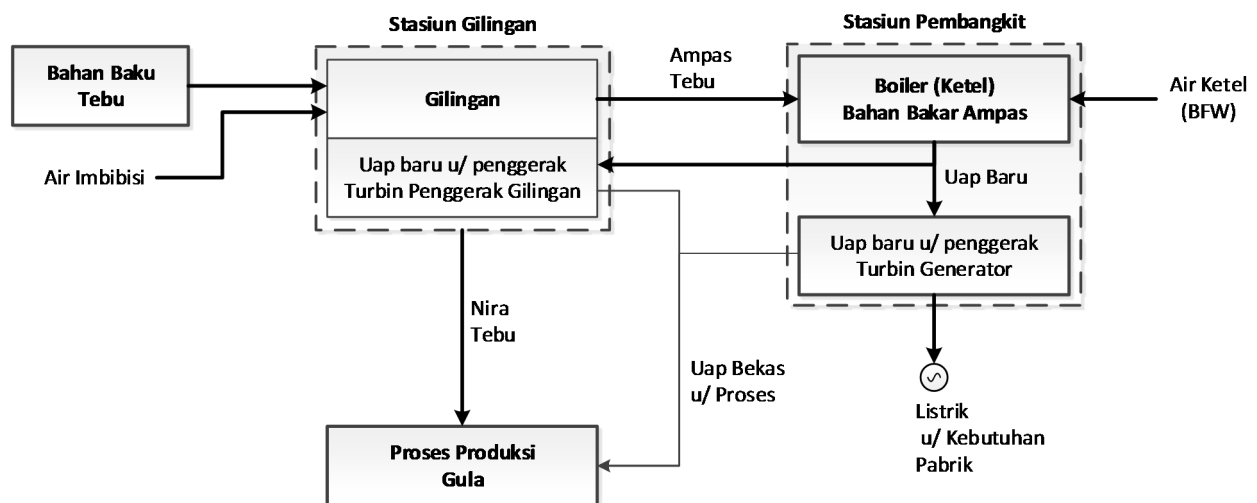
Konsumsi listrik per kapita di Indonesia masih relatif kecil, berdasarkan data Bank Dunia yang dilansir Frost & Sullivan tahun 2012, konsumsi listrik Indonesia sekitar 750 kWh per kapita per tahun, jauh di bawah Malaysia atau Singapura yang masing-masing sekitar 3.700 kWh per kapita dan 7.900 kWh per kapita. Bahkan tingkat konsumsi listrik Indonesia masih kalah dengan Vietnam yang sekitar 1.000 kWh per kapita. Di tingkat Asia Tenggara, besaran konsumsi listrik per kapita Indonesia sebanding dengan Filipina. Rasio elektrifikasi Indonesia pada tahun 2013 mencapai angka 80,4%, artinya masih ada sekitar 19,6% rumah tangga di Indonesia yang belum terlistrik. Hal tersebut menggambarkan, banyak daerah yang belum menikmati listrik secara maksimal.

Fakta ini menunjukkan, listrik masih menjadi kebutuhan besar bagi masyarakat Indonesia. Hal ini juga berarti industri listrik mempunyai pasar yang besar untuk dikembangkan karena kebutuhannya masih besar dan belum dipenuhi dengan maksimal. Kebutuhan listrik yang besar ini menuntut pemerintah untuk bisa memenuhinya. Untuk itu, diperkirakan PLN dapat memasok 78% listrik, sisanya sebesar 22% dipasok swasta (Independent Power Producer/IPP).

Di pabrik gula, tebu diproses untuk menghasilkan gula, batang tebu dicacah dan dihancurkan kemudian diperas sehingga diperoleh jus tebu (nira) yang mengandung gula untuk menuju proses selanjutnya, sisa pemerasan berupa serat batang tebu yang disebut ampas (*bagasse*) dikirim ke boiler sebagai bahan bakar untuk menyediakan energi uap dan listrik yang dibutuhkan dalam proses produksi. Fakta membuktikan bahwa tanaman tebu mampu mencukupi sumber energi sendiri untuk memproduksi gula dari ampas tebunya (*self-sufficiency energy*) dimana hal inilah yang menjadi ciri khas dari industri gula.

Dengan kata lain, pabrik gula dan sistem kogenerasinya menghasilkan cukup uap dan listrik untuk memenuhi kebutuhannya memproduksi gula. Boiler dan turbin generator uap yang bekerja tidak efisien akan menghabiskan banyak ampas tebu yang dihasilkan dari proses pemerahan sehingga boiler menjadi kekurangan bahan bakar ampas. Beberapa pabrik gula yang tua bahkan harus membeli energi tambahan dari luar pabrik seperti minyak atau listrik karena sistem pembangkitan uap dan energi listrik (kogenerasi) serta sistim distribusi dan penggunaan uap dan listrik masih menggunakan peralatan yang tidak efisien. Selain itu, penyebab habisnya ampas sehingga tidak cukup lagi untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pabrik gula adalah

Setiap pabrik gula baru saat ini dirancang dan dibangun setidaknya cukup efisien untuk memenuhi kebutuhan energi sendiri. Dengan tersedianya teknologi kogenerasi yang lebih modern dan canggih, serta perbaikan sistem distribusi dan penggunaan energi yang lebih efisien seharusnya pabrik gula saat ini selain dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri dari ampas juga dapat menghasilkan surplus ampas yang dapat dikonversi untuk menghasilkan surplus listrik untuk dijual ke jaringan listrik nasional (PLN) atau langsung kepada pengguna listrik lainnya. Gambaran proses dan sistem pembangkit yang umumnya ada di pabrik gula termasuk di pabrik gula Gempolkrep yang akan ditinjau dapat dilihat pada gambar I-2.



Gambar I-2. Gambaran Umum Proses dan Sistem Pembangkit di Pabrik Gula

Tebu sebagai bahan baku produksi diproses pertama kali di stasiun gilingan untuk diambil cairan gula (nira) dengan dibantu dengan penambahan air imbibisi. Nira tebu dari stasiun gilingan yang diperoleh selanjutnya diproses untuk menghasilkan produk gula, hasil samping stasiun gilingan berupa ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar boiler (ketel) untuk menghasilkan uap baru yang digunakan sebagai energi penggerak turbin-turbin baik turbin generator maupun turbin penggerak gilingan. Uap sisa yang keluar dari turbin-turbin tersebut yang disebut dengan uap bekas kemudian digunakan sebagai pemanas di dalam proses produksi.

praktek proses pabrikasi juga terdapat energi potensial air dalam sistim pembuat vakum di stasiun penguapan yang dapat dikonversi menjadi listrik dengan teknologi mirko hidro, selain itu apabila hasil samping produksi gula yang berupa tetes (*molasses*) dilanjutkan untuk diolah menjadi etanol, maka selain menghasilkan produk etanol sebagai substitusi bahan bakar minyak, sisa pengolahan etanol dari tetes berupa vinasse juga berpotensi untuk dikonversi menghasilkan listrik tambahan untuk dijual ke PLN.

1.2. Identifikasi Masalah

Potensi energi terbarukan dari Pabrik Gula sebenarnya cukup melimpah, sehingga disamping menghasilkan produk utama berupa gula dan produk hasil samping berupa ampas (*bagasse*) dan tetes (*molasses*), seharusnya Pabrik Gula juga mampu menghasilkan surplus (kelebihan) listrik yang dapat di jual ke jaringan listrik PLN. Namun dalam prakteknya terutama di Indonesia, dimana proses pabrikasi gula dari tebu kurang terkelola dengan baik dan kurang efisien sehingga hingga saat ini belum ada pabrik gula di Indonesia yang sudah menjual kelebihan listriknya ke jaringan listrik PLN untuk ikut mendukung program kemandirian energi nasional.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan berdasarkan pertimbangan agar penelitian ini fokus pada potensi energi yang ada di proses pabrikasi gula, maka dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- a) Studi potensi energi terbarukan di Pabrik Gula dalam penelitian ini dinyatakan dalam bentuk berupa potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari pabrik gula yaitu dari produk/hasil samping pabrik gula berupa ampas (*bagasse*) untuk bahan bakar boiler dimana uapnya digunakan untuk menggerakkan turbin alternator sebagai pembangkit listrik.
- b) Data penelitian yang digunakan berasal dari Pabrik Gula Gempolkrep, PT Perkebunan Nusantara X (Persero).
- c) Studi potensi energi terbarukan dari pabrik gula dalam penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi beberapa konfigurasi sistem pembangkitan (kogenerasi) dan penggunaan energi (uap dan listrik) yang lebih efisien sehingga surplus hasil samping berupa ampas (*bagasse*) sebagai bahan bakar boiler menjadi lebih banyak.

1.4. Tujuan Penelitian

Mengetahui gambaran potensi energi terbarukan (dinyatakan dalam bentuk energi listrik) yang dapat dihasilkan dari Pabrik Gula dari produk samping berupa ampas sebagai bahan bakar sistem pembangkit, bila proses produksi gula dari tebu dilakukan secara lebih efisien dalam pemakaian energi, khususnya di Pabrik Gula Gempolkrep PT Perkebunan Nusantara X (Persero).

1.5. Keaslian Penelitian

Penelitian terkait dengan potensi energi terbarukan di pabrik gula sudah pernah dilakukan baik di dalam negeri maupun di luar negeri yang pada umumnya membahas mengenai efisiensi sistem kogenerasi yang ada di pabrik gula. Beberapa penelitian tersebut antara lain seperti yang ada pada Tabel I-1 berikut:

Tabel I-1. Penelitian Terkait Potensi Energi Terbarukan di Pabrik Gula

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Keterangan Hasil Penelitian
1.	Yahya Kurniawan dan H. Santoso (2009)	Listrik Sebagai Ko-Produk Potensial Pabrik Gula	Membahas secara umum potensi surplus listrik Pabrik Gula di Indonesia.
2.	Adriano V. Ensinas; Silvia A. Nebra Miguel A. Lozano; Luis Serra (2006)	Analysis Of Cogeneration Systems In Sugar Cane Factories - Alternatives Of Steam And Combined Cycle Power Plants	Membahas secara umum potensi surplus listrik Pabrik Gula di Brazil.
3.	J. Raghu Ram, Rangan Banerjee (2003)	Energy and cogeneration targeting for a sugar factory	Membahas secara umum potensi surplus listrik Pabrik Gula di India.
4.	Ranjit Deshmukh, Arne Jacobson, Charles Chamberlin, Dan Kammen (2013)	Thermal gasification or direct combustion? Comparison of advanced cogeneration systems in the sugarcane industry	Membahas perbandingan antara berbagai sistem kogenerasi di Pabrik Gula terhadap surplus listrik yang dapat dihasilkan

Penelitian ini secara khusus membahas potensi surplus energi listrik di Pabrik Gula Gempolkrep milik PT Perkebunan Nusantara X (Persero) ditinjau dari surplus energi yang dapat dicapai dari efisiensi energi sistem kogenerasi berbahan bakar produk samping berupa ampas dalam proses pabrikasi gula dari tebu.

2.1. Tinjauan Pustaka

Jumlah ampas yang tersedia di Pabrik Gula (PG) bergantung pada banyaknya tebu yang digiling dan kadar sabut dari varietas tebu. Jumlah ampas yang tersedia di pabrik gula bervariasi antara 25–34% dari bobot tebu yang digiling. Jadi, bila jumlah ampas tebu rata-rata 30% dari bobot tebu dan kapasitas giling sebuah PG sebesar 5.000 ton tebu per hari (TCD) maka jumlah ampas yang tersedia sekitar 1.500 t/hari. Pabrik Gula yang pengolahan energinya efisien, potensi surplus ampas bisa mencapai 10% dari bobot tebu atau sekitar 500 ton ampas per hari untuk Pabrik Gula berkapasitas 5.000 TCD [1]. Nilai kalori ampas tebu dalam bentuk *net calorific value* (NCV) sekitar 7.588 kJ/kg pada kadar air 50% [2], nilai kalori tersebut lebih rendah daripada nilai kalori kayu sebesar 12.500 kJ/kg pada kadar air 30% [3]. Namun demikian, ampas tebu merupakan sumber energi yang potensial dalam jumlah besar bila pemakaian energi di Pabrik Gula efisien dan bersifat terbarukan.

Sebagai contoh pabrik gula yang memberikan kontribusi listrik ke jaringan listrik nasionalnya adalah pabrik gula yang ada di Negara Thailand. Thailand merupakan produsen gula tebu terbesar ke empat di dunia dimana pada tahun 2012 produksi tebunya adalah 98 juta ton tebu. Jumlah ampas (bagas) dihasilkan rata-rata adalah 28% dari jumlah tebu digiling [4]. Kebanyakan pabrik gula di Thailand masih menggunakan boiler tekanan 20 bar yang dinilai masih memiliki efisiensi yang rendah [5]. Rata-rata jumlah listrik yang dapat dijual ke jaringan listrik nasional di Thailand adalah masih sekitar 14,5 kWh/tc (ton cane), untuk pabrik gula modern dapat mencapai 70 kWh/tc di Thailand dan 158 kWh/tc di Brazil [6]. Perkiraan surplus listrik dari seluruh pabrik gula di Thailand yang dapat dijual ke jaringan listrik Negara dapat mencapai 240 MW pada tahun 2004 [7].

Tetes (*molasses*) merupakan produk samping dari produksi gula dari tebu, tetes merupakan sisa dari larutan gula yang sudah tidak dapat diambil dalam bentuk Kristal (dikristalkan) dari stasiun kristalisasi di pabrik gula. Jumlah produksi tetes rata-rata adalah 3% dari jumlah tebu yang digiling, jumlah tetes yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga bervariasi dari 2,2 hingga 3,7% tebu digiling [2]. Sebagai produk samping pabrik gula, tetes dapat langsung dijual untuk mendapatkan pendapatan ke pihak lain untuk digunakan sebagai bahan baku dari berbagai produk berguna lainnya seperti minuman rum, etanol, asam asetat, butil alkohol, asam sitrat, yeast dan monosodium glutamate (MSG) dan berbagai macam

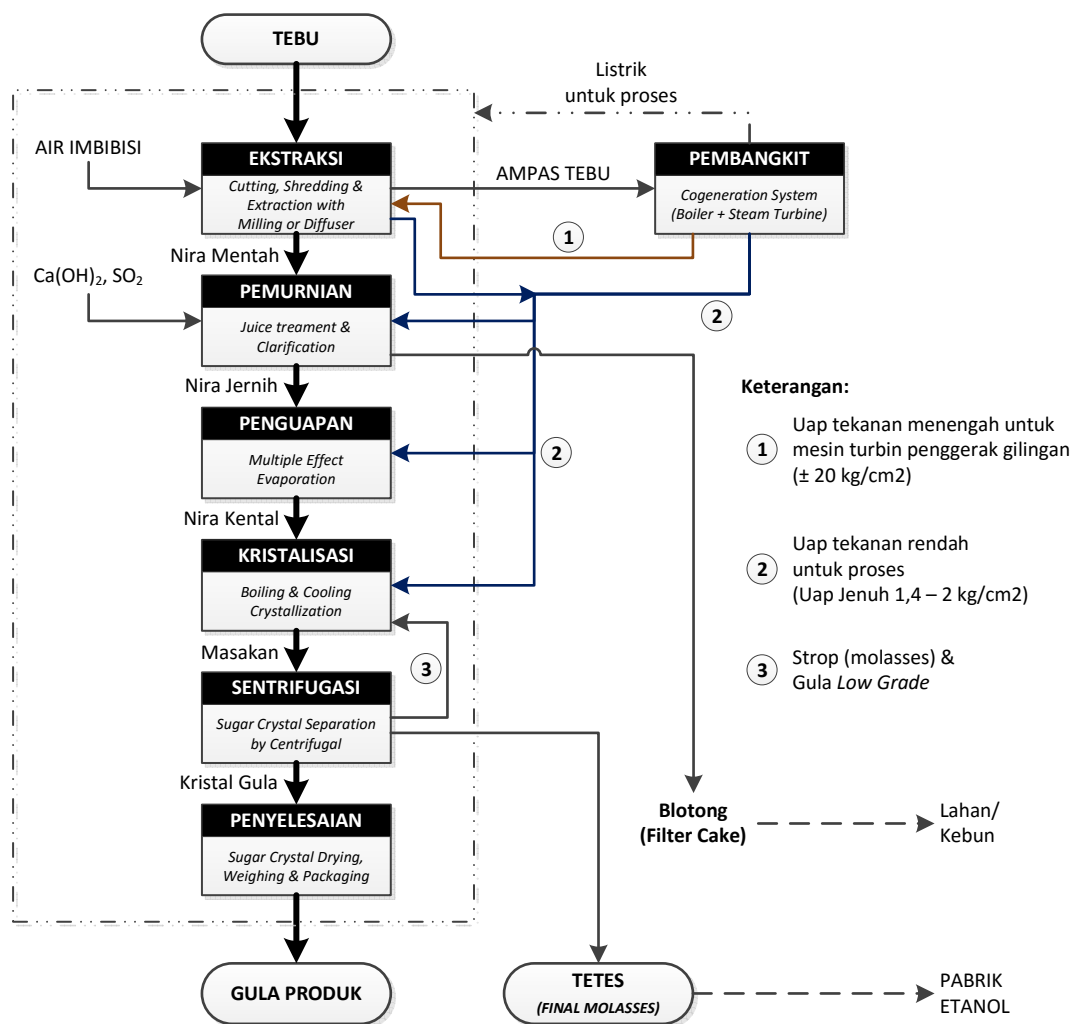


digunakan sebagai bahan baku pembuatan etanol dengan cara difermentasi dan distilasi dimana produk etanol dapat digunakan sebagai substitusi bahan bakar fosil (bio fuel) dan hasil samping dari produksi etanol dari tetes yang berupa vinasse yang mulanya dianggap sebagai limbah namun dengan teknologi terkini vinasse dapat diolah dengan sistem digester untuk mendapatkan gas metan (biogas) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit energi [8], sedangkan sisa lumpurnya dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Proses Pabrikasi Gula dari Tebu

Proses pabrikasi gula dari tebu setelah tebu dipanen dan sudah berada di halaman pabrik (cane yard) untuk diproses pada dasarnya dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu ekstraksi, pemurnian, penguapan, kristalisasi, sentrifugasi dan penyelesaian.



Gambar II-1. Diagram Alir Proses Pabrik Gula dengan Sistem Kogenerasinya (lama).

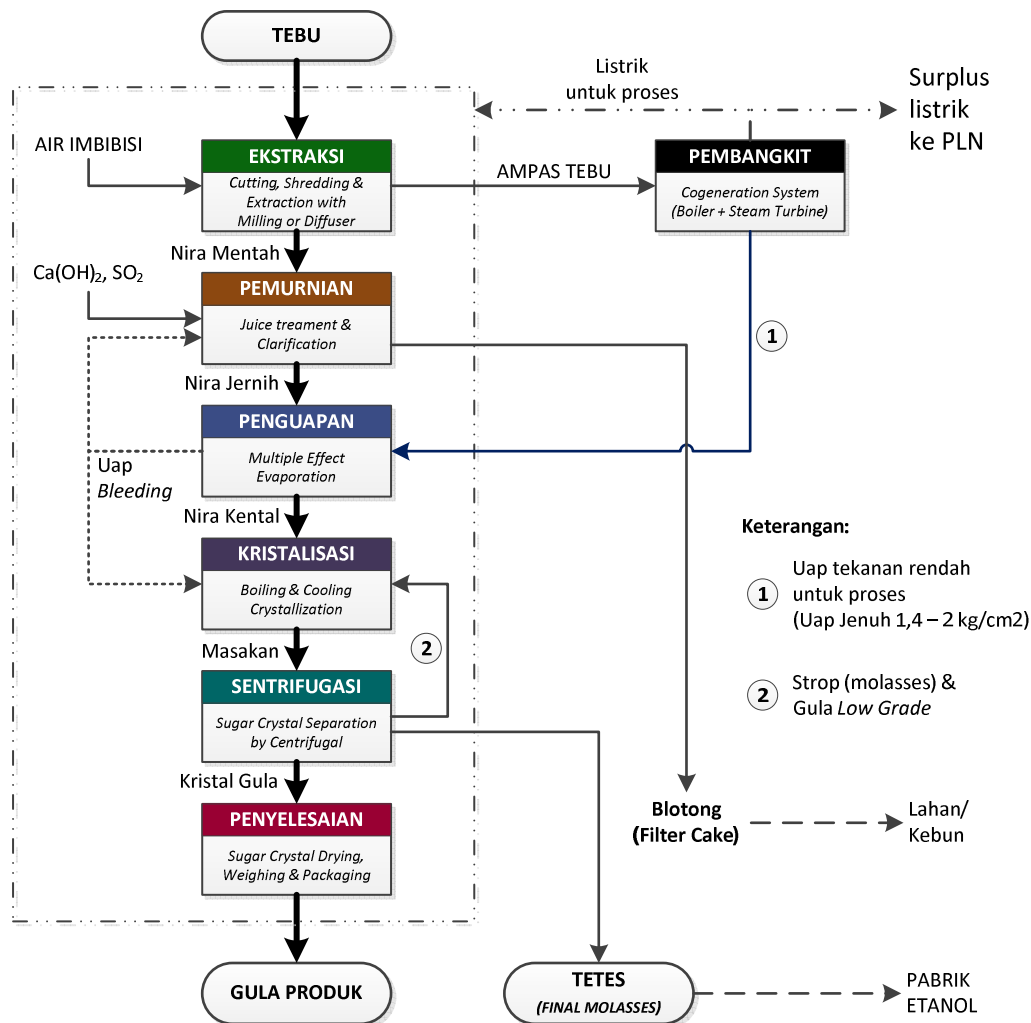
sistem kogenerasi model lama yang sebagian masih ada di pabrik gula di Indonesia. Ampas tebu dari proses ekstraksi digunakan sebagai bahan bakar di stasiun pembangkit untuk menghasilkan energi uap dan energi listrik yang diperlukan untuk menjalankan semua peralatan proses pabrikasi gula, hal ini diistilahkan sebagai sistem kogenerasi. Definisi dari kogenerasi (co-generation) yaitu memproduksi energi listrik dan energi termal secara bersamaan dari suatu proses pembakaran bahan bakar [9]. Pada proses diatas, ampas tebu dari stasiun ekstrasi digunakan sebagai bahan bakar boiler di stasiun pembangkit, uap dari boiler sebagian digunakan untuk menggerakkan turbin alternator untuk menghasilkan listrik dan sebagian digunakan oleh turbin penggerak gilingan di stasiun ekstraksi. Uap tereduksi yang keluar dari turbin penggerak turbin alternator maupun turbin penggerak gilingan digunakan sebagai pemanas baik di stasiun pemurnian, penguapan dan kristalisasi.

Potensi surplus listrik dari proses pabrikasi gula dari tebu dapat dicapai bila pembangkitan, distribusi dan penggunaan energi baik energi uap maupun energi listrik dilakukan lebih efisien. Pemilihan skema dan peralatan proses yang digunakan sangat menentukan pencapaian efisiensi yang ingin dicapai. Terdapat beberapa pilihan skema proses yang dapat diterapkan di pabrik gula untuk meningkatkan efisiensi energi, yaitu:

- Stasiun penguapan menggunakan sistem quintiple, yaitu sistem penguapan multi efek dengan jumlah efek sebanyak 5. Semakin banyak jumlah efek maka semakin ekonomis penggunaan uap, hal ini telah diteliti oleh *Norbert Rillieux* di Lousiana (US) dan dipatenkan pada tahun 1840 dimana pada prinsip pertama *Rillieux* pada penguapan multi efek menyatakan bahwa dalam penguapan sistem multi efek dengan jumlah N efek maka 1 kg uap akan dapat menguapkan sejumlah N kg air [10].
- Mengoptimalkan penggunaan uap bleeding, yaitu penggunaan uap hasil penguapan nira di stasiun evaporator untuk digunakan sebagai media pemanas di pemanas nira (juice heater) dan media pemanas di stasiun kristalisasi (masakan). Hal ini sesuai dengan prinsip *Rillieux* yang kedua yaitu bila sejumlah uap diambil dari efek ke i dari penguapan multi efek sebanyak N efek dan digunakan sebagai pemanas ditempat lain maka akan mendapatkan penghematan uap sebanyak i/N dikalikan dengan jumlah uap yang digunakan [10].
- Mengganti mesin-mesin penggerak turbin uap (*steam turbine drive*) terutama untuk penggerak gilingan dengan mesin penggerak yang lebih efisien seperti penggerak

2007, mengungkapkan dalam bukunya yang berjudul *Cane Sugar Engineering* bahwa efisiensi energi penggerak turbin turbin uap dapat mencapai 70 – 75%, sedangkan penggerak elektro motor dapat mencapai 80 – 90% dan penggerak hidrolik berkisar 80 – 85% [10].

Dengan menerapkan skema dan pemilihan peralatan yang tepat maka dapat diperkirakan jumlah penghematan energi yang akan diperoleh. Gambaran penerapan skema baru yang lebih efisien dapat dilihat pada Gambar II-2.

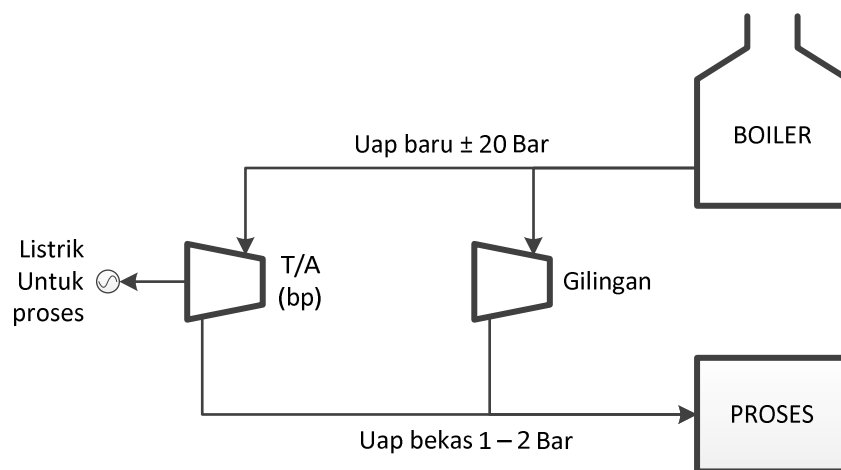


Gambar II-2. Diagram Alir Proses di Pabrik Gula dengan Sistem Kogenerasi Terbaru.

Dalam skema baru (Gambar II-2) tersebut, semua ampas tebu dioptimalkan untuk menghasilkan listrik di stasiun pembangkit dimana uap boiler difokuskan untuk menggerakkan turbin alternator, semua mesin penggerak diganti dengan sistem elektromotor kemudian kebutuhan uap pemanas dalam proses dicukupi dengan uap tereduksi yang keluar dari turbin uap penggerak turbin alternator sebagai penghasil listrik.

2.2.2. Sistem Kogenerasi di Pabrik Gula

Seperti yang telah disebutkan pada Bab sebelumnya bahwa kogenerasi adalah memproduksi energi listrik dan energi termal secara bersamaan dari suatu proses pembakaran bahan bakar. Proses kogenerasi ini merupakan sebuah sub sistem tersendiri dari pabrik gula, oleh karena itu dalam sub sistem ini juga terdapat peluang untuk peningkatan efisiensi. Sistem kogenerasi di pabrik gula saat ini umumnya terdiri dari boiler sebagai penghasil uap dengan bahan bakar ampas kemudian uap dari boiler tersebut sebagian digunakan untuk menggerakkan turbin alternator (generator) untuk menghasilkan listrik dan sebagian digunakan untuk menggerakkan turbin penggerak gilingan. Uap keluar dari turbin alternator dan turbin penggerak gilingan digunakan untuk mencukupi kebutuhan proses seperti pada Gambar II-3.



Gambar II-3. Sistem kogenerasi di pabrik gula umumnya saat ini digunakan.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa efisiensi penggerak gilingan dengan motor dapat lebih tinggi dari efisiensi penggerak gilingan dengan mesin uap, kemudian dari sisi distribusi energi listrik juga lebih efisien dibandingkan distribusi energi dalam bentuk uap. Oleh karena itu efisiensi sistem kogenerasi di pabrik gula dapat ditingkatkan dengan merubah sebagian besar energi uap dari boiler untuk diutamakan menghasilkan listrik dan mengganti turbin penggerak gilingan dengan elektromotor.

Dari sisi pembangkitan uap di boiler (ketel uap) dan konversi uap menjadi tenaga gerak juga terdapat potensi untuk meningkatkan efisiensi, seperti diketahui bahwa sistem pembangkit bekerja berdasarkan prinsip kerja mesin kalor (*Heat Engine*) yaitu suatu mesin yang mengubah panas (Q) menjadi kerja (W) dalam siklus tertentu dan siklus yang paling ideal mewakili sistem