



EVALUASI POTENSI PENGEMBANGAN INDUSTRI GULA SKALA MIKRO BERBASIS PROSES EVAPORASI MEMANFAATKAN SIKLUS SISTEM POMPA PANAS TINJAUAN ASPEK THERMAL

Heru Kuncoro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma

Email: kuncoro@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak: Impor gula secara bertahap meningkat dilakukan pemerintah dikarenakan kurangnya pasokan dalam negeri disamping karena harga gula impor rafinasi juga lebih murah. Hal ini salah satu penyebabnya karena proses produksi yang kurang efisien. Ironisnya pada kondisi impor yang semakin besar justru kementerian perindustrian menyatakan jumlah pabrik gula yang dikelola BUMN harus dikurangi, dikarenakan industri gula tersebut teknologinya usang. Studi ini melakukan evaluasi pada aspek energi proses penguapan air pada nira yang memerlukan energi yang besar dalam proses produksi gula. Penerapan teknologi yang dievaluasi adalah teknologi evaporasi yang memanfaatkan sistem siklus refrigerasi. Sasaran penerapan teknologi ini pada skala mikro. Faktor COP yang ada pada sistem refrigerasi merupakan indikasi potensi penghematan konsumsi energi thermal kebutuhan penguapan air. Dengan COP pemanasan lebih besar dari 4, maka artinya energi thermal yang diperoleh siklus tersebut 4 kali dari energi mekanik yang dibutuhkan untuk melakukan kerja kompresi. Panas yang dibuang di siklus pompa panas digunakan untuk memanaskan nira, sehingga energi input yang diperlukan untuk penguapan kurang dari $\frac{1}{4}$ nya saja dibandingkan dengan metoda pemanasan konvensional.

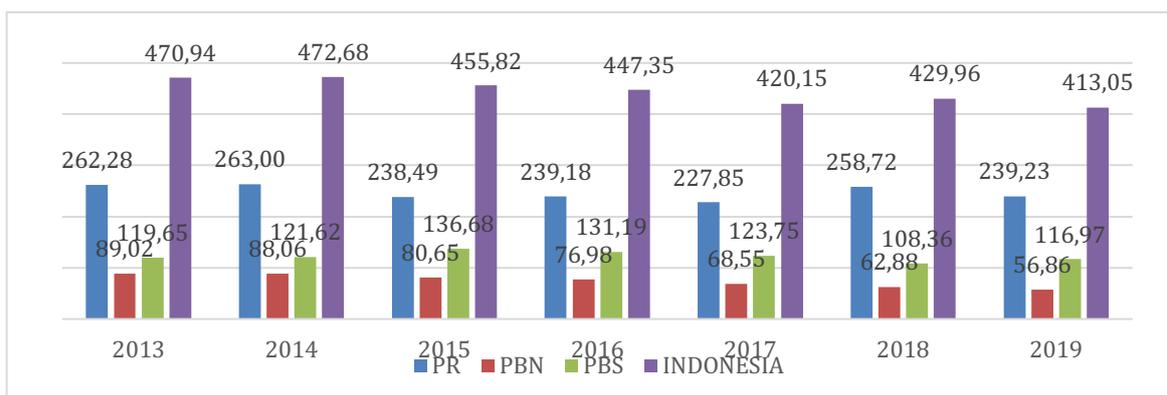
Keywords: Industri gula, Perancangan Sistem, Skala mikro, Sistem Refrigerasi.

Abstract: The government has gradually increased sugar imports due to insufficient domestic supply, in addition to the fact that imported refined sugar is cheaper. One of the reasons for this is inefficient production processes. Ironically, despite increasing imports, the Ministry of Industry has stated that the number of sugar factories managed by state-owned enterprises must be reduced, as these industries use outdated technology. This study evaluates the energy aspects of the evaporation process in sugar production, which requires a significant amount of energy. The evaluated technology involves evaporation systems utilizing a refrigeration cycle. The target application of this technology is on a micro-scale. The Coefficient of Performance (COP) in the refrigeration system indicates the potential savings in thermal energy consumption needed for water evaporation. With a heating COP greater than 4, the thermal energy generated by the cycle is four times the mechanical energy required for compression work. The heat rejected in the heat pump cycle is used to heat the sugarcane juice, reducing the energy input needed for evaporation to less than one-fourth compared to conventional heating methods.

Keywords: Sugar industry, System Design, Micro-scale, Refrigeration System.

PENDAHULUAN

Gula merupakan salah satu bahan pokok yang tidak bisa lepas dari kebutuhan manusia sehari-hari. Kebutuhan gula tercatat mengalami kenaikan dikarenakan berkembang industri makanan, minuman dan farmasi. Sebagai negara tropis Indonesia berpotensi tinggi produksi tebu dimana luas areal tanaman tebu mencapai 3.473.230 Ha dengan total produksi sekitar 2.854.300 ton. [1] Sebagai salah satu komoditas strategis yang berada pada tingkat 4 setelah padi, pangan hewani, minyak dan lemak sebagai bahan pangan sumber kalori dengan pangsa sebesar 6,7% saat ini situasi pertebuan dan produksi gula belum cukup memenuhi kebutuhan gula nasional. [2].



Gambar 1. Luas Areal Perkebunan Tebu Indonesia menurut Status Penguasaan (ha) 2013 – 2019 [1]

Pengusahaan perkebunan tebu digolongkan menjadi 3 kelompok yaitu Perkebunan Rakyat (PR), Perkebunan Besar Negara (PBN) dan Perkebunan Besar Swasta. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik sejak tahun 2013 hingga tahun 2019 distribusi pengusahaannya dapat dilihat seperti gambar 1. [3] Secara bertahap sejak tahun 2013 luas area kebun tebu terus menerus menurun, terutama yang diusahakan pemerintah. Untuk yang diusahakan rakyat maupun swasta pada tahun 2015 dan 2016 sempat sedikit meningkat tetapi di tahun 2018 dan 2019 kembali menurun. Pada tahun 2017, Perkebunan Rakyat menguasai 55,41% dari total luas perkebunan tebu. Artinya peran perkebunan rakyat sangatlah penting dijaga agar tetap bersedia mengusahakan tanaman tebu. Peningkatan minat petani tebu bisa ditingkatkan dengan meningkatkan hasil sampingan dari proses produksi gula dari tebu seperti *baggase, molasse, filter mud, flue gas, furnace ash* serta protein dari sari tebu dan pucuk tebu sehingga harga tebu naik dan minat petani juga meningkat. [4] Selain itu keberadaan industri gula di daerah-daerah berdampak positif pada kondisi sosial ekonomi masyarakat. [5] Dengan turunnya luas lahan tebu, selaras itu jumlah produksi gula pun menurun. terhitung pada tahun 2014 produksi gula nasional mencapai 2,5 juta ton, pada 2015 turun menjadi 2,4 juta ton, lalu 2016 kembali turun menjadi 2,2 juta ton, dan 2017 turun menjadi 2,1 juta ton. [3]

Produksi tebu Indonesia mengalami kenaikan 0,03 juta ton dari tahun 2013 ke 2014 namun pada 2014 sampai 2018 terjadi penurunan produksi gula secara terus menerus dan sedikit meningkat 0,06 juta ton pada tahun 2019. Produksi yang dihasilkan oleh PR cenderung stagnan dari tahun 2013 -2019. Produksi PBN dan produksi PBS mengalami fluktuasi dari tahun 2013-2019. Hasil dari produksi tebu pada 2019 sebesar 27,7 juta ton. Besaran tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan rata-rata produksi tahun 2014-2019 yang mencapai 30,2 juta ton dengan penurunan tersebut maka diperlukan impor gula. [6]

Pemerintah melalui Kementerian Perdagangan telah membuka keran impor gula yang masuk pada September 2018. Pelaksanaan impor berpedoman pada Peraturan Menteri Perdagangan No.117/M-DAG/PER/12/2015. Berdasarkan Peraturan Menteri tersebut, gula yang diperbolehkan untuk diimpor adalah gula kristal mentah/gula kasar, gula kristal rafinasi, dan gula kristal putih. [7] Badan Pusat Statistik mengumumkan bahwa persentase dari impor gula untuk Jawa Tengah mengalami peningkatan yang cukup drastis pada Januari sampai September 2020 dimana nilai CIF mencapai US\$174,74 juta jika dibandingkan tahun 2019 nilai CIF komoditas ini hanya US\$75,92 juta berdasarkan perbandingan ini maka dapat terlihat bahwa kenaikan nilai *cost, insurance, freight* (CIF) hingga 130,95 %. [8]

Berkaitan dengan hal ini pula, pemerintah melalui Kementerian Perindustrian menyatakan jumlah pabrik gula yang dikelola oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN) di Pulau Jawa harus dikurangi. Hal ini dikarenakan pabrik gula yang beroperasi pada wilayah tersebut selama ini tidak efisien dan menghasilkan mutu gula yang rendah. Selain itu, pabrik gula yang dikelola oleh BUMN pada umumnya berkapasitas kecil, masih menggunakan peralatan tua, jumlah karyawan yang terbilang banyak, serta hanya beroperasi 150 hari dalam setahun. Pengurangan jumlah pabrik ini beresiko meningkatkan masalah sosial seiring dengan pengurangan tenaga kerja. Selain itu dibutuhkan biaya sekitar US\$15.000 sampai dengan US\$20.000 dengan kurs rupiah per Agustus 2018 Rp. 14.431 untuk setiap peningkatan kapasitas giling satu ton tebu per-hari. [9] Maka dengan kondisi usaha industri gula yang kurang baik dapat berpengaruh negatif bagi rakyat petani yang awalnya mengusahakan tanaman tebu. Oleh karena itu dipandang perlu melakukan usaha agar para petani tersebut tetap bergairah mengusahakan tebu agar dapat mencukupi kebutuhan gula nasional.

Evaporasi air sebagai proses pengentalan sirup tebu pada industri gula memegang peran penting pada produktivitas proses produksi gula. suhu yang tinggi dan terlalu lama akan mengakibatkan berubahnya sakarosa menjadi glukosa dan fruktosa. Kedua jenis gula tersebut tidak dapat mengkristal, dan terbuang

sebagai tetes tebu yang nilai ekonominya jauh lebih rendah. Oleh karena itu rendemen gulanya menurun. [10].

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dilakukan kajian tentang potensi pengembangan industri gula skala mikro guna menjawab tantangan ketahanan industri gula nasional dari gempuran produk import dengan cara simplifikasi usaha melalui pengecilan skala usaha dengan disertai peningkatan kualitas pemanfaatan energi sehingga didapat biaya proses yang lebih murah melalui perubahan metoda proses penguapan sirupnya. Dalam produksi gula proses evaporasi yaitu proses pengurangan kadar air dalam sirup proses ini menyerap energi yang besar maka sangatlah penting dalam kajian substitusi prosesnya. Pertama akan ditinjau metoda penguapan yang saat ini digunakan didalam industri gula. Dari pemahaman proses tersebut diharapkan dapat diketahui peluang perbaikannya melalui pemahaman esensi proses penguapan yang ada pada sistem proses yang digunakan saat ini yaitu menggunakan proses perpindahan panas melalui dinding pemindah panas dengan sumber panas dari uap air bertekanan pada suhu sekitar 120 °C secara graduasi hingga suhu 85 °C pada tekanan vacuum dengan cara bertahap. Proses penguapan tersebut dievaluasi secara kualitatif dan kuantitatif agar diketahui kebutuhan energinya untuk setiap satu satuan massa air yang diuapkan.

Diuraikan alternatif pemanfaatan teknologi penguapan yang memanfaatkan teknologi evaporasi pada suhu yang lebih rendah namun tetap disesuaikan dengan persyaratan proses produksi gula dengan menggunakan teknologi penguapan oleh udara kering yang telah dilakukan pengendalian kelembaban dengan memanfaatkan teknologi pompa panas. Penguapan terjadi pada permukaan sirup ke udara yang sangat kering, kelembaban relatifnya rendah, sehingga terjadi penguapan yang cepat pada permukaan sirup tersebut.

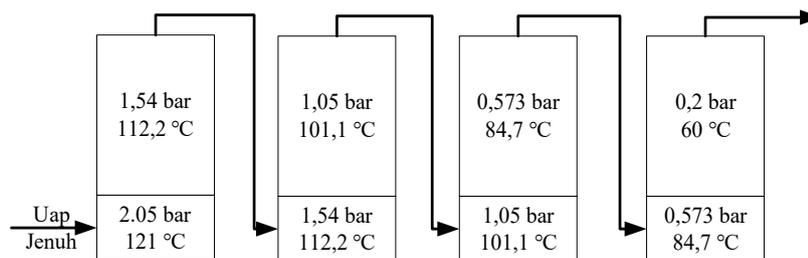
Dari kedua alternatif teknologi penguapan tersebut maka dibandingkan secara kualitatif dan kuantitatif untuk mengetahui ada tidaknya peluang pemanfaatan teknologi pompa panas guna merealisasikan usaha produksi gula skala mikro

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian Teknologi Evaporasi

Dikenal ada dua metoda evaporasi, yaitu evaporasi melalui proses pendidihan dan evaporasi tanpa melalui proses pendidihan. Yang sering digunakan dalam proses evaporasi air dari sirup tebu dalam proses produksi gula adalah menggunakan metoda pendidihan [10-12]

Proses evaporasi diterapkan secara bertahap menggunakan sumber panas dari uap jenuh dari bertekanan lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Tekanan uap awalnya 2,02 bar yang berasal dari ketel uap sebagai pemanasan di bejana pertama. Uap yang digunakan untuk memanaskan sirup di bejana kedua adalah 1,54 bar adalah hasil penguapan dari bejana pertama. Berikutnya hasil uap dari bejana kedua digunakan sebagai pemanas untuk bejana ketiga dengan tekanan sekitar 1,05 bar. Uap dari bejana ketiga digunakan untuk penguapan di bejana keempat dengan tekanan sekitar 0,573 bar seperti dapat dilihat pada Gambar 2 [12]



Gambar 2. Tahapan Proses Evaporasi Sirup Tebu

Dengan proses evaporasi bertahap maka konsumsi energi panas dapat dihemat hingga tinggal ¼ nya. Namun diperlukan pompa vakum agar dapat mengkondisikan bejana menjadi vacuum sehingga titik didihnya lebih rendah. Pompa vacuum tersebut berfungsi untuk menjaga agar ruang evaporasi terjaga pada kondisi vacuum untuk terjadinya penguapan pada kondisi saturasinya. [13]

Pada proses penguapan tanpa melalui proses pendidihan terjadi pada suhu dibawah titik didihnya. Air menguap dikarenakan permukaan air kontak langsung dengan udara pada berbagai suhu tanpa harus pada titik didihnya. Perpindahan panas terjadi sebagai panas panas sensible karena perbedaan suhu fluida dengan udaranya dan perpindahan panas sebagai latent untuk evaporasi dipermukaan fluida tersebut. [14] Uap air akan terbawa bersama udara yang mengalir disekitarnya, sehingga terjadi penguapan pada suhu dibawah suhu didihnya. Metoda penguapan ini belum lazim digunakan pada industri gula. Bila udara sekitar cairan

kelembaban relatifnya (*relative humidity* / Rh) rendah maka potensial untuk mengangkut uap air dari sirup. [15]

Pada sistem pompa panas atau sistem refrigerasi untuk keperluan pemanasan nilai COP (*coefficient of performance*) pada tahun 1970 an dicapai dikisaran 4,4. Yang artinya energi (mekanik) yg diperlukan untuk menggerakkan kompresor hanya ¼ dari energi panas yang didapatkan pada komponen pelepasan panas di kondensornya. Pada tahun 1990 sudah dapat dicapai COP hingga 7. Artinya dengan teknologi refrigerasi hanya dibutuhkan energi 1/7 dari proses pemanasannya. Oleh karena itu menjadi menarik dilakukan pengembangan penerapan teknologi pompa panas pada industri gula.

Komparasi Teknologi Evaporasi

Telah dibahas diatas kedua profil kebutuhan panas maka tampak ada peluang penghematan konsumsi energi bila dilakukan memanfaatkan teknologi pompa panas di industri gula. Untuk itu perlu dibandingkan kebutuhan energi totalnya untuk kedua proses tersebut.

Pada metoda konvensional saat ini energi yang diperlukan untuk proses evaporasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu energi thermal dan energi mekanik. Energi thermal digunakan untuk meningkatkan suhu awal hingga ke suhu titik didihnya (panas sensible), serta digunakan untuk proses penguapan (panas latent). Energi mekanik digunakan untuk penggerak pompa. Tapi pada industri gula besar energi mekanik juga dapat memanfaatkan energi dari steam baik dengan menggunakan turbin ataupun steam engine.

Pada industri besar, rendemen gula yang dihasilkan sekitar 9.87% sedangkan jumlah bagasnya berkisar 1/3 bagian dari total tebu yang diolah. Bagas tersebut utamanya digunakan sebagai sumber energi sebagai bahan bakar boiler. Kebutuhan energi untuk memproses dari gula menjadi tebu telah disampaikan oleh Carlos E. Q & Jan J. berdasarkan survei yang telah dilakukan di Ecuador pada tahun 1979 berkisar antara 4150 kkal/kg gula hingga 7032 kkal/kg gula. Diperlukan sekitar 46 - 54,1 ton uap untuk memproses 100 ton tebu. [16]

Industri gula di Indonesia berdasarkan pada Toat Soemohandojo [17] pada kapasitas industri gula 4.400 TTH atau 200 ton tebu/jam jumlah air yang diuapkan dari nira adalah 168.681 kg/jam. Untuk penguapan tersebut diperlukan uap jenuh pada tekanan sekitar 1,7 kg/cm². Jumlah uap yang diperlukan bergantung pada jenis proses yang digunakan. Bila menggunakan proses tanpa bleading maka kebutuhan uapnya 47 ton/jam. Sedangkan bila menggunakan proses dengan bleading maka diperlukan uap 80 ton/jam. Sepertinya tanpa bleading memerlukan lebih sedikit uap, namun pada kenyataannya diperlukan jumlah uap total yang lebih banyak dibandingkan dengan yang bleading, karena uap masih diperlukan untuk pemanasan awal.

Proses penguapan tersebut berlangsung pada umumnya di pan penguapan tertutup secara bertahap seperti gambar no 2, yang bekerja pada tekanan uap pemanasnya di kisaran dari 1,7 kg/cm² abs. pada kisaran suhu 115°C bertahap menurun hingga tekanan 0,16 kg/cm² pada suhu 55°C. Uap panas pada suhu Untuk mencapai kondisi operasi proses penguapan dibawah 100 °C diperlukan kondisi vacuum. Dan untuk menghasilkan kondisi vacuum tersebut diperlukan pompa vakum dengan kapasitas 50 m³/menit. Berdasarkan pada brosur mesin pompa vakum produk Gardner Denver, diperlukan mesin pompa vakum yang disusun secara parallel yang kebutuhan daya motor penggerak pompa vacuumnya pada kapasitas tersebut adalah pada kisaran 150 kW.

Dari informasi industri gula tebu di Indonesia seperti diatas dapat disederhanakan sebagai berikut. Untuk mengolah 100 ton tebu/jam diperlukan penguapan air 85 ton/jam. Untuk memproses tersebut diperlukan minimal 40 ton uap jenuh/jam pada tekanan 1,7 kg/cm² dan daya mekanis penggerak pompa vakum 75 kW.

Untuk menghasilkan uap tersebut biasanya digunakan boiler berbahan bakar ampas tebu, bila tidak mencukupi maka perlu ditambah dengan bahan bakar lainnya. Bila diasumsikan efisiensi boiler adalah 80% maka untuk menghitung energi panas yang diperlukan untuk merubah air umpan dari suhu 30°C menjadi uap jenuh pada tekanan 1,7 kg/cm² dapat dihitung sebagai berikut:

Tabel 1. Profil industri gula

PROFIL INDUSTRI GULA		
Jumlah tebu yang diproses	100	ton/jam
Air yang diuapkan	85	ton/jam
	85,000	kg/jam
Diasumsikan efisiensi boiler	80	%

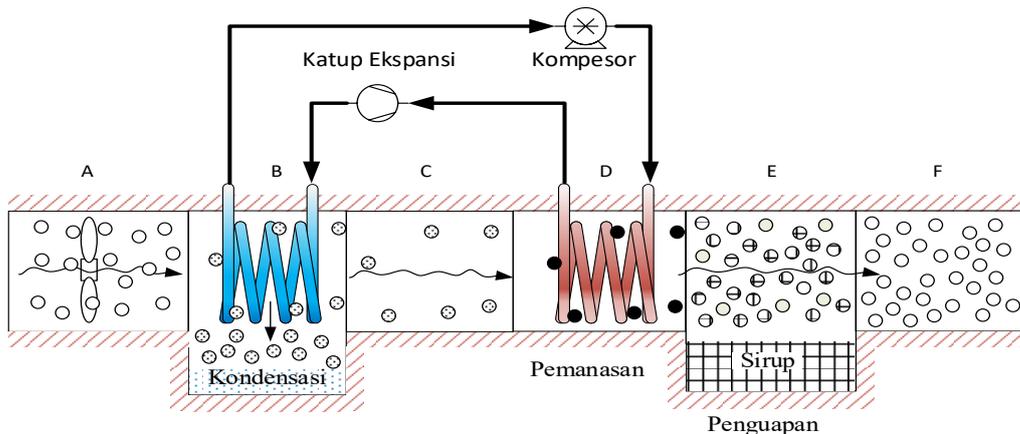
**EVALUASI POTENSI PENGEMBANGAN INDUSTRI GULA SKALA MIKRO
BERBASIS PROSES EVAPORASI MEMANFAATKAN SIKLUS SISTEM POMPA PANAS
TINJAUAN ASPEK THERMAL**

Maka untuk menguapkan 85 ton air/jam diperlukan 128,645,487.33 kJ/jam atau diperlukan energi thermal 1,513.48 kJ/kg air yang diuapkan. Bila dibandingkan antara kebutuhan energi panas dan energi mekanik maka terlihat bahwa porsi kebutuhan energi mekanik sebagai penggerak pompa vacuumnya adalah 0,21% dari kebutuhan energi panasnya. Maka konsumsi energi panas sangat mendominasi kebutuhan energi totalnya.

Skema alternatif yang dievaluasi sebagai pengganti metode penguapan adalah dengan metoda penguapan oleh rendahnya kelembaban relatif udara disekeliling seperti tampak skematika pada Gambar 3. Udara segar masuk keruang A didorong oleh kipas masuk ke ruangan dingin B sehingga terjadi kondensasi uap air dalam udara sehingga uap air yang terkandung dalam udara setelah melewati ruang pendingin tersebut turun digambarkan butiran uap airnya sedikit di ruang C. Setelah itu udara masuk ke ruangan D untuk dipanaskan sehingga suhunya meningkat, kelembaban relatifnya (Rh) turun drastic dibandingkan dengan kelembaban relatif saat udara masuk di A.

Industri Gula Saat Ini

Kebutuhan Steam	40	ton/jam
Konversi satuan	1000	kg/ton
Kebutuhan panas penguapan net	2572.91	kJ/kg uap
	102,916,389.86	kJ/jam
Kebutuhan daya penguapan gross	128,645,487.33	kJ/jam
	1,513.48	kJ/kg air yang diuapkan
Kebutuhan daya penguapan	28,587.9	kW
	35,734.9	kW
Kebutuhan daya pompa vakum	75	kW
	0.21	% dari energi thermal



Gambar 3. Skematika proses penguapan industri baru skala kecil

Udara tersebut dilewatkan ke ruang sirup sehingga kontak dengan permukaan sirup. Maka akan terjadi migrasi uap air ke udara yang mengakibatkan efek penguapan seperti ditunjukkan di ruang E. Uap air tersebut terbawa oleh udara menuju keluar melalui ruang F

Tabel 2. Hasil perhitungan profil energi

Daya listrik	13.2	kW
Daya kompressor	10	hp
COP sistem pompa thermal	5.5	
Daya panas yang dihasilkan	65	hp
	48.49	kW
Udara Penguapan		
	Udara input	Udara output

**EVALUASI POTENSI PENGEMBANGAN INDUSTRI GULA SKALA MIKRO
BERBASIS PROSES EVAPORASI MEMANFAATKAN SIKLUS SISTEM POMPA PANAS
TINJAUAN ASPEK THERMAL**

T	70	40	°C
Rh	3.83	50	%
Humidity Ratio	0.00742	0.02352	kg W/kg DA
Enthalpy	89.84445	100.73218	kJ/kg
Jumlah penguapan		0.01610	kg W/kg DA
Kebutuhan udara untuk penguapan		62.12396	kg DA / kg yang diuapkan
Kebutuhan energi panas		10.88773	kJ/kg DA
		676.39	kJ/kg air yang diuapkan

Evaporasi dengan tanpa pendidihan terjadi pada suhu dibawah suhu pendidihannya, yaitu saat udara sekelilingnya menyerap uap air dari permukaannya. Kelembaban relatif yang rendah dari udara memberi kesempatan yang besar terjadinya proses penguapan. Pada proses evaporasi yang umum diterapkan pada industri gula terjadi pada suhu diatas 60°C pada tekanan

0,2 bar dan pada tahap sebelumnya terjadi pada 85 °C pada tekanan 0,57 bar. Maka pada kedua kondisi suhu tersebut diyakini tidak merubah sifat-sifat sirup yang dapat merugikan. Bila diasumsikan evaporasi dilakukan pada antara dua suhu tersebut dan bila dipilih suhu 70 °C maka dapat diperhitungkan sebagai berikut. Tampak bahwa dengan metode penguapan ini hanya diperlukan 676.39 kJ/kg air yang diuapkan, atau kurang dari setengah dari kebutuhan panas proses regular.

KESIMPULAN

1. Dari perbandingan secara kualitatif bahwa menggunakan teknologi pompa panas diketahui ada potensi perbaikan konsumsi energinya dari sisi input energinya yaitu kalau menggunakan teknologi yang sudah ada kebutuhan energinya seperempat dari energi yang digunakan, sementara dengan menggunakan pompa panas kebutuhan energinya dapat hanya sekitar sepertujuh saja.
2. Bila diperbandingkan secara kuantitatif antara proses yang saat ini digunakan di industri gula yang menggunakan uap jenuh dari boiler dengan metoda baru yang diusulkan menggunakan teknologi pompa panas maka bila hanya memperhatikan penggunaan panasnya saja maka dengan teknologi pompa panas kebutuhan energi panasnya kurang dari setengah kebutuhan energi panas metode yang selama ini digunakan yaitu bila teknologi saat ini adalah 1,513.48 kJ/kg air yang diuapkan menjadi 676.39 kJ/kg air yang diuapkan.
3. Teknologi pompa panas yang diusulkan digunakan sebagai penguapan kapasitasnya kurang efektif bila skala besar. Maka teknologi ini sementara hanya dapat digunakan pada skala kecil saja.
4. Metode penguapan dengan sistem pompa panas terbukti mempunyai peluang dapat menghemat energi termal. Untuk membuktikan secara riil maka perlu dilakukan skala uji laboratorium sebelum dibuat / dikembangkan pada skala komersial kecil.

REFERENCE

- [1] Kementan, *Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019.
- [2] I. S. Magfiroh, I. K. Setyawati, and R. Wibowo, "Mutu Tebu Industri Gula di Indonesia," 2017.
- [3] Kemenperin, "Revitalisasi Industri Gula," K. Perindustrian, Ed., ed. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2011.
- [4] M. Arfah, "Strategi Pengembangan Industri Hilir Pabrik Gula," *Buletin Utama Teknik*, vol. 14, no. 2, pp. 136-139, 2019.
- [5] S. A. Rochmatin, "Dampak Pabrik Gula Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Di Desa Ngrombot Kecamatan Patianrowo Kabupaten Nganjuk (Studi Kasus Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Sebagai Dampak Industri Gula)," *Swara Bhumi*, vol. 5, no. 6, 2018.
- [6] D. Yunitasari, E. K. Lestari, and N. Istiyani, "Analisis Potensi Tebu dalam Mendukung Pencapaian Swasembada Gula di Kabupaten Bondowoso," 2019.
- [7] M. Ulum, "BPS Catat Impor Gula Jawa Tengah Naik Drastis," in *hisconsulting*, ed, 2020.
- [8] M. A. Adhiem, "Kebijakan Impor Gula : Potensi Dampak dan Upaya Pengamanan stok Nasional," *Jurnal Info Singkat: Kajian Singkat Terhadap Isu Aktual dan Strategis Bidang Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 2018. [Online]. Available: http://berkas.dpr.go.id/puslit/files/info_singkat/Info_Singkat-X-17-I-P3DI-September-2018-1904.pdf

- [9] Kemenperin, "Jumlah Pabrik Gula Harus Dikurangi," ed: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2017.
- [10] A. Moerdokusumo, *Pengawasan Kualitas Dan Teknologi Pembuatan Gula Di Indonesia*. Penerbit ITB, 1993.
- [11] E. Hugot, *Hand Book of Cane Sugar Engineering*. Elsevier Publishing Company, 1960.
- [12] E. Delden, *Standard Fabrication Practises for Cane Sugar Mills*. Elsvier Scientific Publishing Company, 1981.
- [13] R. d. M. Miller, R. M, *Air Conditioning and Refrigeration*. Mc-Graw Hill, 2006.
- [14] R. H. P. s. D. Green, *Chapter 12 Psychrometry, Evaporative Cooling, and Solids Drying, Chemical Engineers Handbook*. The McGraw-Hill Companies Inc, 1999.
- [15] ASHRAE, *HVAC Systems and Equipment (SI)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc, 2008.
- [16] C. E. Q. J. Jasiewicz, "Biomass (bagasse) Savings Through Energy Conservation in Sugar Factories " *Proceedings of ENERGEX '84*, no. The Global Energy Forum, pp. 219-223, 1984.
- [17] Soemohandojo, T., *Pengantar Injiniring Pabrik Gula*. Penerbit Bintang Surabaya 2009.