

PERANCANGAN *MULTI JET SPRAY* KONDENSOR UNTUK PENINGKATAN KINERJA KONDENSASI UAP SISTEM KRISTALISASI DI PG RAJAWALI II TERSANA BARU

Farhan Rizal Muzakki¹, Sapto Prayogo¹, Budi Suharto¹

¹Jurusan Teknik Konservasi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail: farhan.rizal.tken419@polban.ac.id; sapto.prayogo@polban.ac.id; budi.suharto@polban.ac.id

ABSTRAK

Proses pemasakan pabrik gula merupakan proses paling penting dikarenakan menghasilkan produk berupa kristal gula pasir. Kemajuan teknologi dalam peralatan vakum untuk proses pemasakan gula adalah penggunaan kondensor dengan *retrofitting* kondensor tipe *multi jet spray* memiliki beberapa keuntungan diantaranya sudah tidak memerlukan pompa untuk proses vakum, lebih hemat biaya perawatan serta hemat ruang. Kondensor *existing* tipe barometrik *counter current*. Hasil akhir simulasi Aspen Plus didapatkan perhitungan bila proses pemasakan menggunakan kondensor *multi jet spray* didapatkan peningkatan berupa penghematan air injeksi (pendingin) sebesar 13,48%, penurunan temperatur kondensat menjadi 42,64°C, dan penghematan energi pertahun sebesar 0,704x10⁵ kWh. Keekonomian didapatkan NPV sebesar Rp. 74.105.366,4 dan *payback period* 27 bulan.

Kata kunci : Proses Pemasakan/Kristalisasi, Kondensor, Kondensor *Multi Jet Sray*, Penghematan Energi.

1. PENDAHULUAN

Menurut Kamadjaja dalam Asosisasi Gula Indonesia, mengalami penurunan produksi gula sebesar 0,63%, sementara konsumsi gula pada periode yang sama meningkat dengan kenaikan sebesar 1,39 Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi suatu ketimpangan dimana konsumsi gula nasional yang mengalami peningkatan tidak diimbangi dengan jumlah produksinya yang menurun. Maka tidak heran, impor gula masih dilakukan untuk menutupi ketimpangan tersebut. Faktor pendukung lain menurunnya produksi pabrik adalah a 68% dari jumlah pabrik gula yang ada di Pulau Jawa telah berumur lebih dari 75 tahun serta kurang mendapat perawatan yang memadai menjadi beberapa penyebab ketidak-efisienan pabrik gula nasional. Ketidak-efisienan pabrik gula ini yang tentunya berpengaruh pada produksi gula nasional sehingga mengalami penurunan. Industri gula di Indonesia yang sebagian besar telah berumur lebih dari 75 tahun telah mengalami penurunan kinerja produksi. Penurunan kinerja ini berpengaruh terhadap

konsumsi energi pabrik baik energi listrik maupun panas. Apabila jumlah penggunaan energi sama seperti keadaan awal pabrik sedangkan produk yang dihasilkan mengalami penurunan dari kondisi awal maka penggunaan energinya menjadi boros. Standard Konsumsi Energi Spesifik (KES) listrik industri gula (*United Nations Industrial Development Organization*, 2010) yaitu sebesar 0,6 GJ/Ton, sedangkan pada tahun 2013 KES listrik industri gula Indonesia adalah sebesar 0,92 GJ/Ton. KES listrik industri gula pada 2013 tersebut sudah melebihi standard sehingga perlu dilakukan penghematan

2. TINJAUAN PUSTAKA

Proses pemasakan atau kristalisasi di pabrik gula adalah tahap penting dalam menghasilkan gula pasir yang berkualitas. Setelah nira yang telah dipurnakan dipanaskan dalam kondisi vakum, tahap berikutnya adalah kristalisasi. Nira yang terkonsentrasi dipompa ke dalam kristalisator, dengan suhu dan kecepatan pengadukan diatur dengan cermat.

Selama proses ini, nira didinginkan secara perlahan, memungkinkan pembentukan kristal gula. Proses pemasakan dimulai dengan mengkonsentrasikan nira kental hingga mencapai zona metastabil. Untuk memfasilitasi proses ini, bibit kristal ditambahkan untuk mempercepat kristalisasi. Selanjutnya, dilakukan pengendalian konsentrasi nira kental dengan cermat untuk memastikan terjadinya kristalisasi tanpa larutnya kristal yang sudah terbentuk dan pembentukan nukleus baru (false grain). Pada proses ini, penting untuk meningkatkan kesesuaian luas penampang kristal dan mengontrol umpan pada stasiun pemasakan agar konsentrasi nira kental dapat diatur dengan baik.

2.1 Objek Perancangan

Proses produksi gula tebu melibatkan elemen penting yang dikenal sebagai proses pemasakan. Dalam proses ini, ada dua peralatan utama yang memainkan peran krusial. Peralatan tersebut adalah vacuum pan dan kondenser.

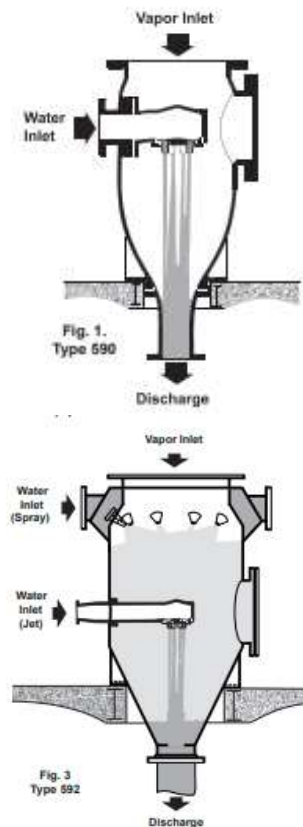
2.1.1 Vacuum Pan

Vacuum pan adalah sebuah wadah di mana nira tebu dimasak hingga airnya terkonsentrasi dan berubah menjadi kristal padat. Kondisi kunci dalam proses ini adalah menciptakan tekanan vakum yang terkait dengan viskositas dan sifat fisik nira yang dimasak, termasuk titik didih yang tinggi. Uap yang dihasilkan oleh proses ini tidak hanya dibuang begitu saja, melainkan diproses kembali menjadi air yang digunakan dalam tahap berikutnya, seperti pengumpanan ke ketel uap.

2.1.2 Kondensor

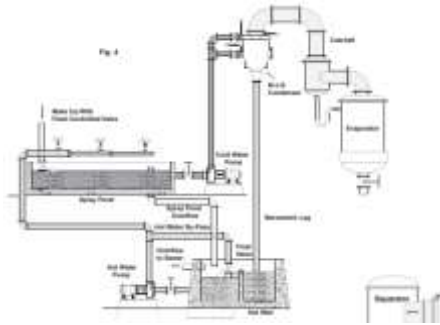
Kondenser yang saat ini digunakan adalah kondenser barometrik counter-current yang masih memerlukan penggunaan pompa vakum untuk mengeluarkan gas incondensable yang sulit untuk dikeluarkan. Sementara itu, rancangan yang akan dibuat adalah kondenser tipe Jet, yang tidak

memerlukan pompa vakum karena gas incondensable akan keluar bersama dengan kondensat melalui pipa kondensat yang berada di bagian bawah kondenser.



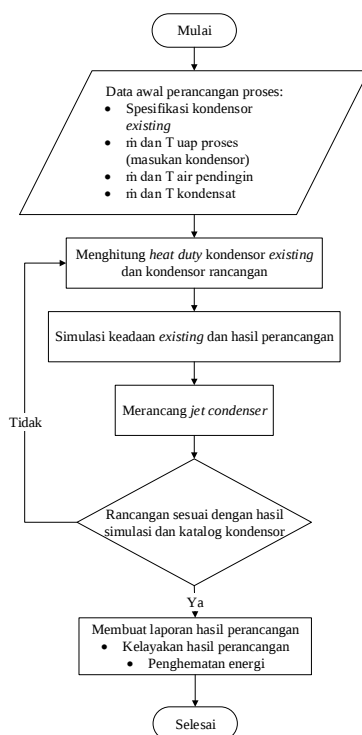
Gambar 1 Kondensor Existing Barometric Counter Current dan Kondensor Multi Jet Spray (Sumber: Schutte&Koetring)

Dengan menerapkan kondensor Multi Jet Spray diharapkan sistem proses pemasakan pabrik gula dapat mengalami peningkatan yang signifikan. Kondensor Multi Jet Spray ini tidak memerlukan penggunaan pompa vakum untuk mengeluarkan gas incondensable dan dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi fluktuasi temperatur air pendingin serta beban uap yang perlu didinginkan. Selain itu, Penggunaan air dalam kondensor ini lebih efisien dari pada kondensor tipe jet biasa. Sehingga penghematan air dan energi dalam siste pemasakan gula dapat tercapai dengan baik.



Gambar 2. Penggunaan (M-J-S) *multi jet spray condenser* (Sumber: Schutte & Koerting, 2022)

3. METODE PENELITIAN



Gambar 3. Flowchart Perancangan Jet Condenser dalam Sistem Pemasakan

Diagram alir gambar diatas merupakan alur penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan perancangan proses kondensasi uap air dalam sistem kristalisasi pabrik gula.

Penelitian dimulai dengan mengetahui parameter dasar seperti laju alir massa, temperatur pada uap hasil proses, suplay air pendingin, dan air jatuhan atau kondensat. Kemudian, menghitung *heat duty existing* dan kondensor rancangan. Selanjutnya, melakukan simulasi menggunakan *software Aspen*

Plus sebagai acuan dalam keabsahan proses kalkulasi. Dan kemudian, dapat dilakukan kegiatan merancang kondensor dengan menggambar model dua dimensinya sesuai dengan hasil penyelarasan perhitungan dan simulasi proses. Serta dilakukan observasi hasil rancangan terkait kelayakan sistem hasil rancangan dan kaitannya dengan konservasi energi, yaitu penghematan sistem setelah dilakukan penggantian.

Tabel Data yang di butuhkan

Nama Data	Jenis Data	Sumber Data
Laju Alir Uap Pemasakan (kg/s)	Sekunder	DCS (Distribution Control System)
Suhu Uap Pemasakan (°C)	Sekunder	DCS (Distribution Control System)
Laju Alir Air Injeksi (kg/s)	Sekunder	DCS (Distribution Control System)
Suhu Air Injeksi (°C)	Sekunder	DCS (Distribution Control System)
Suhu Kondensat (°C)	Sekunder	DCS (Distribution Control System)

Tabel Data Proses Kondensasi Pemasakan Gula Existing

Uap Hasil Pemasakan		
Jumlah	Ton/jam	22,68
Temperatur	°C	70
Air Pendingin		
Jumlah	Lt/jam	2160163
Temperatur	°C	35
Kondensat		
Temperatur	°C	44

Sumber: Unit Pabrikasi PG Rajawali II

3.1 Pengolahan Data

1. Heat duty

$$Q_{sensibel} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

2. Kebutuhan Air aktual

$$W = \frac{m_u(c - T_e)}{T_e - T_a}$$

3. Diameter air pendingin

$$D = \sqrt{\frac{4Q_l}{\pi V}}$$

4. Diameter pipa uap

$$D = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}$$

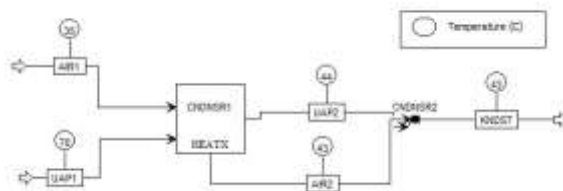
5. Diameter pipa kondensat

$$D = \sqrt{\frac{m_u}{\pi \times 15000}}$$

6. Dimensi kondenser

$$Volume = m_{uap} \times \frac{0,75 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}}$$

Setelah dilakukan perhitungan, kemudian simulasi sistem menggunakan Aspen Plus berikut gambaran mengenai simulasi yang dilakukan terlihat seperti berikut.



Gambar4. Skema simulasi kondensasi pemasakan gula

4. ANALISIS HASIL

Tabel Data Perbandingan Rancangan & pasaran

PARAMETER KONDENSER	SATUAN	DIMENSI	
		KATALOG	RANCANGAN
Kapasitas air pendingin	kg/s	567,812	516,039
Diameter pipa uap	M	1,676	1,305
Diameter pipa air	M	0,355	0,306
Diameter pipa kondensat	M	0,508	0,717
Tinggi condenser	M	4,014	4,500
Diameter condenser	M	2,240	2,270

4.1 Analisis Hasil Perancangan

1. Heat duty

Dalam perancangan proses kondensasi uap, parameter pertama yang dihitung adalah heat duty, yang menentukan energi yang dibutuhkan untuk mengkondensasikan uap. Dalam perhitungan awal, diperoleh bahwa panas yang akan dipindahkan ke media pendingin (air injeksi) adalah sebesar 16475,585 kW. Setelah melakukan simulasi, hasil

iterasi menunjukkan bahwa heat duty sebenarnya adalah sebesar 16469,7 kW. Terdapat sedikit perbedaan antara hasil perhitungan dan hasil simulasi, yaitu sebesar 5,8 kW (0,035%). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh kondisi sistem yang lebih ideal dalam simulasi daripada kondisi sebenarnya di lapangan. Faktor-faktor seperti kualitas uap proses yang diumpankan ke kondenser dan kemungkinan adanya kebocoran dalam sistem pipa pabrik juga dapat mempengaruhi perbedaan ini. Namun, perbedaan tersebut dapat diabaikan karena nilainya kecil dan sesuai dengan batasan perbedaan di bawah 10% yang dapat diabaikan.

2. Kebutuhan Air Injeksi

Dilakukan perhitungan ulang mengenai kebutuhan air injeksi pada kondenser yang dirancang. Berdasarkan perhitungan awal, kebutuhan air injeksi sebenarnya dalam sistem kondensasi uap pemasakan gula adalah 430,033 kg/s. Namun, untuk mempertimbangkan faktor keamanan, pabrik menggunakan safety factor sebesar 20%, sehingga kebutuhan aktual air injeksi meningkat menjadi 516,039 kg/s. Dalam simulasi, suhu air injeksi tetap diatur pada 35°C, sementara suhu air kondensat diatur agar mencapai 44°C Setelah melakukan iterasi, ditemukan bahwa suhu air kondensat hasil kondensasi dengan aliran air injeksi sebesar 516,039 kg/s mencapai 42,468°C. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan air injeksi yang sesuai dengan kebutuhan aktual sudah cukup untuk mencapai suhu air kondensat yang diinginkan, bahkan lebih rendah. Selain itu, teknologi ini mampu menghemat penggunaan air injeksi hingga 13,487% atau sekitar 80,453 kg/s, serta mengurangi beban pompa air injeksi karena jumlah air yang harus dipompa menjadi lebih sedikit.

3. Penghematan Energi

Dari hasil pemasangan jet condenser, terbukti terdapat penghematan energi karena terjadi

pengurangan peralatan vakum yang berdampak pada pengurangan konsumsi energi sebesar 87091,2 kWh/tahun. Penghematan energi ini setara dengan konsumsi energi sebesar $0,704 \times 10^5$ kWh per-tahun.

4.2 Tolak Ukur Kelayakan

Tabel Kelayakan Perancangan

PARAMETER	TOLAK UKUR KELAYAKAN	HASIL RANCANGAN	STATUS KELAYAKAN
Kapasitas air injeksi (kg/s)	$516,039 \leq W \leq 596,493$	567,812	Layak
Luas penampang perpindahan panas (m ²)	$\geq 692,135$	745,501	Layak

5. KESIMPULAN

Hasil simulasi Aspen Plus didapatkan perhitungan bila proses pemasakan menggunakan kondensor *multi jet spray* menunjukkan beberapa peningkatan yakni: penghematan air injeksi(pendingin) sebesar 13,48%, penurunan temperatur kondensat menjadi 42,64°C, penghematan energi pertahun sebesar $0,704 \times 10^5$ kWh. Keekonomian didapatkan NPV sebesar Rp. 74.105.366,4 dan *payback period* 27 bulan.

DAFTAR PUSTAKA

- _____.2017. Dokumen Pabrik Gula Tersana Baru. Cirebon: Tersana Baru.
- Soemohandojo, Toat. 2009. Pengantar Injiniring Pabrik Gula. Surabaya: Bintang
- Walford. 1996. *Composition Of Cane Juice*. Durban: Sugar Miling Institute.
- Kompas. 2010. Efisiensi Pabrik Gula Rendah.
- Baikow, V.E. 1982. MANUFACTURE AND REFINING OF RAW CANE SUGAR. New York: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHING COMPANY INC
- Branan, Carl. 2005. RULES OF THUMB FOR CHEMICAL ENGINEERS. Massachusetts: Elsevier Inc
- Couper, James R, Dkk. 2012. Chemical Process Equipment Selection and Design. Massachusetts: Elsevier Inc
- Fathurohman, Arif. 2015. KONSERVASI ENERGI PADA VACUUM PUMP SISTEM UNTUK PEMASAKAN GULA DENGAN JET CONDENSER. Jakarta: Universitas Darma Persada
- Hugot, E. 1986. HANBOOK OF CANE SUGAR ENGINEERING. Amsterdam: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHER B.V
- Indraningsih, Kurnia Suci. 2006. PERSPEKTIF PENGEMBANGAN INDUSTRI GULA DI INDONESIA. Bogor: Pusat Analisis Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian Bogor
- Mauludin, Agus. 2018. ANALISA KINERJA DAN PELUANG EFISIENSI ENERGI PADA STASIUN PENGUAPAN PABRIK GULA JATITUJUH. Bandung: Politeknik Negeri Bandung
- Paul, Biraja B. 1986. NOTES ON THE DESIGN OF A MULTIJET CONDENSER AND THE CONSERVATION OF ENERGY. India: The Sugar Technologists Association of India (STAI)
- Rein, Peter. 2007. CANE SUGAR ENGINEERING. Berlin: BMA
- Schuttle & Koerting. 2022. Barometric Condensers. Trevose: Schuttle & Koerting
- Sullivan, W.G, Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (-). *Engineering Economy*. London: -