

# Aplikasi Analisis *Pinch* untuk Menurunkan Konsumsi *Steam* di Bagian *Process House* Pabrik Gula

Daniyanto\*, Fathurrahman Rifai  
Politeknik LPP  
Jl. LPP No.1A. Balapan, Yogyakarta

## Abstract

The energy efficiency of sugar factory can be indicated by variable steam on cane (SOC). SOC is defined as weight of steam consumption per weight of crushed cane. The smaller the SOC, the energy efficiency of sugar mills is better. The main source of fuel in sugar mill is bagasse. The sugar factory will be efficient if SOC is less than 50%. If SOC value is more than 50%, it will cause additional fuel other than bagasse. If SOC is less than 40%, the cane sugar mill can do cogeneration and produce electricity for sale. This study aims to reduce SOC by reducing steam consumption in the process house through configuration process innovation with pinch analysis.

The results showed that pinch analysis could be used to reduce steam consumption in sugar mill. Utilization of steam from evaporator could reduce steam consumption in the process house. The change in process configuration could provide SOC decrease by 8.8% from its former state. Steam produced by evaporator 2 could be used as heat source for heater 1 and heater 2, meanwhile steam produced by evaporator 1 as a heat source for vacuum pan. Exhaust steam could be used only for heater 3 and vacuum pan.

**Keywords:** energy efficiency, steam on cane, cogeneration, process configuration, pinch analysis.

## Abstrak

Salah satu indikator efisiensi energi pabrik gula adalah *Steam on Cane* (SOC). SOC menunjukkan pemakaian *steam* tiap berat tebu. Semakin kecil SOC, efisiensi energi pabrik gula semakin baik. Sumber bahan bakar utama pabrik gula adalah *bagasse*. *Bagasse* merupakan ampas hasil ekstraksi tebu. Pabrik gula yang efisien akan memiliki SOC kurang dari 50%. Nilai SOC lebih dari 50% menyebabkan pabrik gula harus menggunakan tambahan bahan bakar selain *bagasse*. Jika SOC kurang dari 40 % berat tebu maka pabrik gula bisa melakukan kogenerasi dan menghasilkan listrik untuk dijual. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan SOC dengan cara menurunkan konsumsi *steam* di *process house* melalui inovasi konfigurasi proses dengan analisis *pinch*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis *pinch* bisa digunakan untuk menurunkan konsumsi uap di pabrik gula. Penggunaan uap evaporator dari unit *multiple effect* evaporator akan mampu menurunkan konsumsi uap bagian *process house*. Perubahan konfigurasi proses memberikan penurunan SOC sebesar 8,8% dari kondisi semula. Uap evaporator 2 bisa digunakan untuk sumber panas pemanas 1 dan pemanas 2, uap evaporator 1 untuk sumber pemanas *vacuum pan* dan *exhaust steam* hanya digunakan untuk pemanas 1 dan *vacuum pan*

**Kata kunci:** efisiensi energi, *steam on cane*, kogenerasi, konfigurasi proses, analisis *pinch*.

## Pendahuluan

Kelayakan ekonomis usaha pabrik gula dipengaruhi oleh efisiensi pabrik, tata niaga gula dan pengelolaan lingkungan. Tingkat efisiensi pabrik sangat dipengaruhi oleh tingkat efisiensi energi di pabrik gula. Dalam proses pengolahan tebu menjadi gula, sumber energi utama pabrik gula adalah *bagasse*. *Bagasse* merupakan bahan bakar utama di boiler. *Bagasse* atau ampas tebu merupakan hasil samping ekstraksi tebu menjadi nira tebu di *milling station*. Kandungan *bagasse* di dalam tebu berkisar antara 30,54% - 32,76%, kadar *fiber % cane* sekitar 14,10-15,34%, dan nilai *net heating value* sekitar 7600 kJ/kg (Hugot, 1986).

Pabrik gula yang mempunyai *performance* bagus hanya menggunakan *bagasse* sebagai bahan bakar utama. Pabrik yang tidak efisien akan menggunakan bahan bakar tambahan seperti minyak bakar (*fuel oil*), batu bara, minyak diesel, kayu, serbuk gergaji atau bahan bakar lainnya.

Penggunaan bahan bakar tambahan berbasis fosil baik itu berupa minyak disel atau batubara akan memberikan dampak lain berupa peningkatan emisi gas rumah kaca ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NH}_x$ ) dan potensi pemanasan global.

Konsumsi energi di pabrik gula didominasi oleh *process house*. *Process house* berfungsi mengubah nira tebu menjadi gula. *Process house* menggunakan sekitar 90% energi dalam *steam* yang dihasilkan boiler untuk memanaskan nira, penguapan nira dan *vacuum pan* (Lavarack dkk.,

\* Alamat korespondensi javasuiker@gmail.com

2004). Kondisi ini menunjukkan bahwa konsumsi energi pabrik gula sangat dipengaruhi oleh efisiensi penggunaan energi di *process house*.

*Process house* menggunakan sumber energi berupa *exhaust steam* yang merupakan *low pressure steam* (LPS). *Exhaust steam* merupakan hasil konversi *high pressure steam* (HPS) menjadi tenaga gerak dalam turbin di unit *mill* dan boiler. Jika konsumsi *exhaust steam* di *process house* tidak seimbang dengan jumlah *exhaust steam* yang dihasilkan di unit *mill* dan boiler maka konsumsi energi menjadi tidak efisien.

Ketika konsumsi *exhaust steam* di *process house* lebih besar daripada yang dihasilkan oleh *mill* dan boiler maka diperlukan penambahan *exhaust steam*. Penambahan ini dilakukan dengan mengubah HPS dari boiler menjadi *low pressure steam* (LPS) dengan alat *desuperheater*. Penurunan pemakaian *exhaust steam* di *process house* pabrik gula akan menaikkan efisiensi energi dan penghematan *bagasse* sebagai sumber bahan bakar utama pabrik gula.

Dalam konsep kogenerasi, dimana satu jenis bahan bakar bisa menghasilkan dua atau lebih bentuk energi secara simultan, maka penghematan *bagasse* bisa meningkatkan kogenerasi berupa bertambahnya kuantitas sumber bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik yang dapat dijual keluar pabrik.

Konsumsi energi di pabrik gula biasanya ditunjukkan dengan dua indikator. Indikator pertama adalah massa *steam* yang dihasilkan oleh ketel untuk mengolah tebu di pabrik, dinyatakan dalam satuan *steam%tebu* (*steam on cane* (SOC)). Indikator kedua adalah total daya yang dibutuhkan untuk pabrik gula, dinyatakan dalam satuan kKal/ton tebu dan kWh/ton tebu. Pabrik gula yang efisien akan memiliki SOC kurang dari 50%. Nilai SOC lebih dari 50% menyebabkan pabrik gula harus menggunakan tambahan bahan bakar selain *bagasse*. Jika SOC kurang dari 40% berat tebu maka pabrik gula bisa melakukan kogenerasi dan menghasilkan listrik untuk dijual.

Penelitian terkait dengan analisis *pinch* untuk menurunkan SOC di pabrik gula putih (*direct-consumption plantation white sugar*) di Indonesia belum banyak dilakukan. Namun penelitian terkait dengan penurunan SOC di pabrik gula mentah (*raw sugar*) sudah banyak dilakukan di luar negeri misalnya pabrik gula Australia. Analisis *pinch* dilakukan pada proses yang ada (*existing*). Parameter analisis yang digunakan adalah SOC, kebutuhan panas,  $\Delta T_{\text{approach}}$ , dan kehilangan energi. Jika diindikasikan bahwa

pabrik gula yang dianalisis boros energi maka dapat dilakukan inovasi untuk merubah konfigurasi proses yang ada. Inovasi pada konfigurasi proses dilakukan agar diperoleh konfigurasi baru yang lebih efisien.

Lavarack dkk (2004) melakukan penelitian penghematan energi pabrik gula mentah. Penghematan LPS dan *exhaust steam* terjadi jika kesetimbangan antara produksi *exhaust steam* di unit *mill* dan boiler dengan konsumsi di *process house*. SOC pabrik gula dapat diturunkan dari 51,6% menjadi 43,6% dengan menggunakan analisis *pinch*.

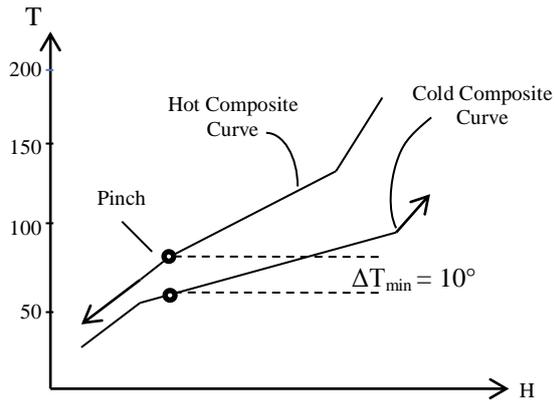
Lavarack (2006) mempelajari penurunan konsumsi *steam* yang dilakukan dengan perubahan konfigurasi evaporator dan sumber energi panas untuk alat perpindahan panas yang ada di *process house*. Penghematan uap memberikan peningkatan produksi daya listrik sekitar 4.7MWe, penurunan utilitas panas dari 232 MW menjadi 197 MW dan penurunan utilitas dingin dari 131 MW menjadi 90 MW.

Dalam rangka kogenerasi, Pabrik Gula Condong Mill memasang ketel bertekanan 70 bar, kapasitas 150 t/jam, dan *condensing steam turbine generator* (STP) kapasitas 30 MW. Penurunan konsumsi uap dilakukan dengan mengubah konfigurasi evaporator dari 2 set *quintuple effect* evaporator menjadi 1 set *sixtuple*. Pemasangan *sixtuple* evaporator *Robert type* memberikan efisiensi SOC dari 51% menjadi 39-40% (Rose dkk., 2009).

Upaya menurunkan konsumsi uap 46-60% tebu di *process house* dilakukan dengan simulasi konfigurasi proses, penghematan uap dalam prosedur *good housekeeping*, penggunaan *direct contact heating* secara penuh dalam skema uap *bleeding* (penggunaan uap hasil evaporasi sebagai sumber pemanas alat perpindahan panas yang ada di *process house*). Simulasi ini memerlukan tambahan luas perpindahan panas sebesar 36% lebih tinggi dibanding konfigurasi proses tanpa *bleeding*. Kogenerasi yang diperoleh berupa tambahan netto 8 MW daya relatif terhadap konfigurasi tanpa *bleeding* (Wright, 2000).

### Analisis Pinch

*Pinch technology* merupakan metodologi analisis energi berbasis hukum pertama termodinamika. *Pinch technology* dikenalkan oleh Linnhoff (1998) untuk menghemat pemakaian energi dalam unit proses dan pabrik.



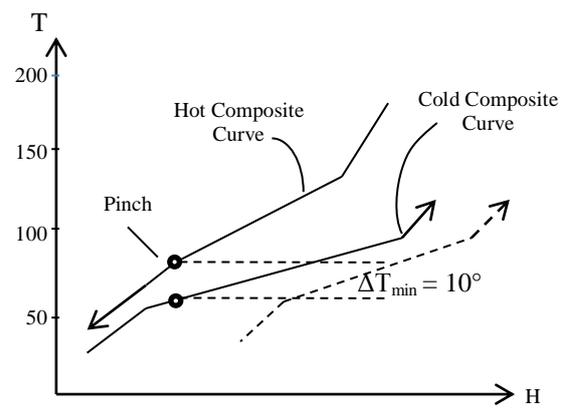
Gambar 1. *Composite curve* untuk analisis *pinch* (Linnhoff, 1998)

*Pinch technology* adalah teknik integrasi panas yang membutuhkan penyusunan plot suhu terhadap panas yang ditransfer dalam suatu sistem. Aliran fluida panas (fluida yang akan didinginkan) dan aliran fluida dingin (fluida yang akan dipanaskan) dari suatu sistem. Teknik ini digambarkan dalam *composite curve* yang berisi dua kurva yang terpisah. Istilah *pinch* didapat dari penyempitan kedua kurva yang ada dalam grafik sebagaimana ditunjukkan di Gambar 1.

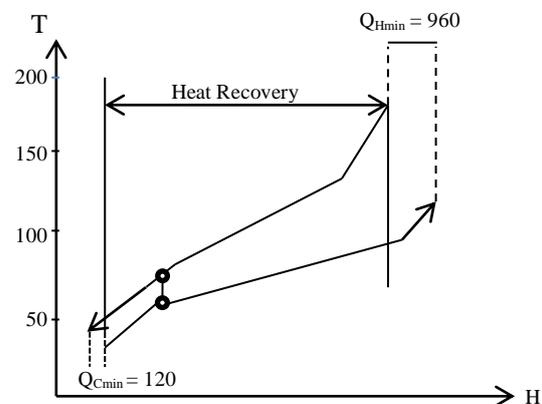
Tahapan utama dalam analisis *pinch* ditampilkan dalam Gambar 2. Tahapan pertama adalah melakukan ekstraksi data neraca massa dan panas dari *flow sheet* menjadi data *pinch*. Data *pinch* meliputi data termal dan informasi biaya yang dibutuhkan terkait aplikasi *pinch*. Ekstraksi data *flow sheet* ini berguna untuk menyusun data termal yang berguna untuk menentukan *hot stream* dan *cold stream*. Data *hot stream* merupakan data aliran fluida yang membutuhkan pendinginan (*heat sources*) sedang *cold stream* adalah aliran yang membutuhkan panas (*heat sink*). Data aliran fluida panas dan aliran fluida dingin yang telah disusun selanjutnya digambarkan dalam bentuk *composite curve* hubungan suhu-entalpi (T-H) yang digambarkan dalam bentuk grafik menunjukkan panas tersedia dalam proses (*hot composite curve*) dan panas yang dibutuhkan dalam proses (*cold composite curve*).

Tahap kedua merupakan analisis yang meliputi penentuan target energi, optimasi antara biaya *capital* dan energi, penentuan modifikasi proses, penentuan tingkat utilitas dan penempatan *heat engine* dan *heat pump*. *Composite curve* yang terdiri dari *hot* dan *cold composite curve* memberikan gambar aliran berlawanan arah dan dapat digunakan untuk menentukan target energi minimum untuk proses tersebut. Target energi

minimum ditentukan dengan menentukan selisih suhu minimum atau *pinch* ( $\Delta T_{\min}$ ) untuk kedua grafik untuk *hot* dan *cold composite curve*. Gambar 2 (a) merupakan contoh *hot* dan *cold composite curve*. Grafik dengan garis putus-putus merupakan grafik awal dimana selisih suhu antara kedua grafik masih diatas  $10^{\circ}\text{C}$ .  $\Delta T_{\min}$  untuk proses kimia biasanya dipilih  $10^{\circ}\text{C}$ , sehingga untuk mendapatkan  $\Delta T_{\min} 10^{\circ}\text{C}$  maka dilakukan dengan menggeser secara horisontal ke kiri untuk *cold composite curve* sehingga diperoleh *composite curve* grafik yang terbaru dengan  $\Delta T_{\min} 10^{\circ}\text{C}$ .



(a)



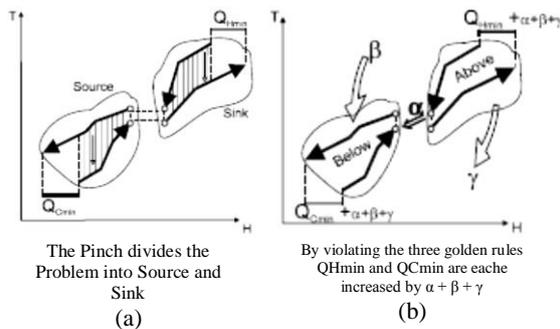
(b)

Gambar 2. Penentuan target energi berdasarkan *composite curve* (Linnhoff, 1998)

Gambar 2 (b) menunjukkan target energi minimum untuk *composite curve* dengan  $\Delta T_{\min} 10^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi *pinch*, kebutuhan utilitas untuk memanaskan akan minimum ( $Q_{H\min}$ ) dan kebutuhan utilitas untuk mendinginkan juga akan minimum ( $Q_{C\min}$ ). Analisis *pinch* memberikan kemudahan dalam menentukan target konsumsi energi minimum dengan basis neraca massa dan neraca panas.

Gambar 3 merupakan ilustrasi penerapan kaidah *pinch technology* :

- Tidak ada pendinginan external (utilitas dingin) yang digunakan di atas suhu *pinch* (*hot pinch temperature*)
- Tidak ada pemanasan external (utilitas panas) yang digunakan di bawah suhu *pinch* (*cold pinch temperature*)
- Tidak ada perpindahan panas yang terjadi melintasi *pinch*.



Gambar 3. Prinsip analisis *pinch* (Linnhoff, 1998)

### Aplikasi Analisis *Pinch* di *Process House* Pabrik Gula

Dalam melakukan analisis energi dengan *pinch technology* di pabrik gula digunakan pendekatan sebagai berikut:

- Penentuan beda suhu antara pemanas dengan fluida dingin ( $\Delta T_{\text{approach min}}$ ) mengacu ( $\Delta T_{\text{approach min}}$ ) pabrik gula di Australia, nilai ini ditampilkan di Tabel 1.
- Pengguna panas terbesar di *process house* pabrik gula adalah pemanas nira, evaporator dan pan masak (Wright, 2000).
- Penggunaan LPS untuk pan di *process house* 93% massa padatan terlarut dalam nira kental.
- Penggunaan SOC untuk keperluan lain-lain sekitar 3% (Wright, 2000).
- Perhitungan neraca massa di *process house* menggunakan kaidah Hugot (1986).

Analisis *pinch* dilakukan di pabrik gula dengan tujuan menurunkan konsumsi *steam on cane* (uap%tebu) di pabrik gula yang saat ini ada. Tahapan analisis *pinch* di pabrik gula mengacu prosedur yang disampaikan Linhoff (1998). Agar perbandingan proses perpindahan panas di pabrik gula berada dalam basis yang sama maka Lavarack (2006) menyampaikan konsep *The adjust temperature* ( $T_{\text{adjust}}$ ):

$$T_{\text{adjust}} = T_{\text{actual}} + \Delta T_{\text{min, approach for process}} - \Delta T_{\text{min, pinch target}} \quad (1)$$

Tabel 1.  $\Delta T_{\text{approach min}}$  untuk *heat exchanger* dan beberapa peralatan PG (Lavarack, 2006)

Type of equipment	Duty	Minimum approach temperature, $\Delta T_{\text{min}}$ , approach for process
Shell and tube heat exchanger	Juice heaters	10
Plate heat exchanger	Juice heaters	5
Roberts evaporator	First to sixth effects	5 – 10*
Falling film plate evaporator	First to sixth effects	4 – 8*
Falling film tube evaporator	First to sixth effects	4 – 8*
Condenser	Pans and evaporator	3 – 5
Vacuum pans	A, B and C pans	39 – 44**
Massecuite cooling crystalliser	C massecuite	10
Massecuite re-heater	C massecuite	15
Molasses cooler	Final molasses, liquor	5

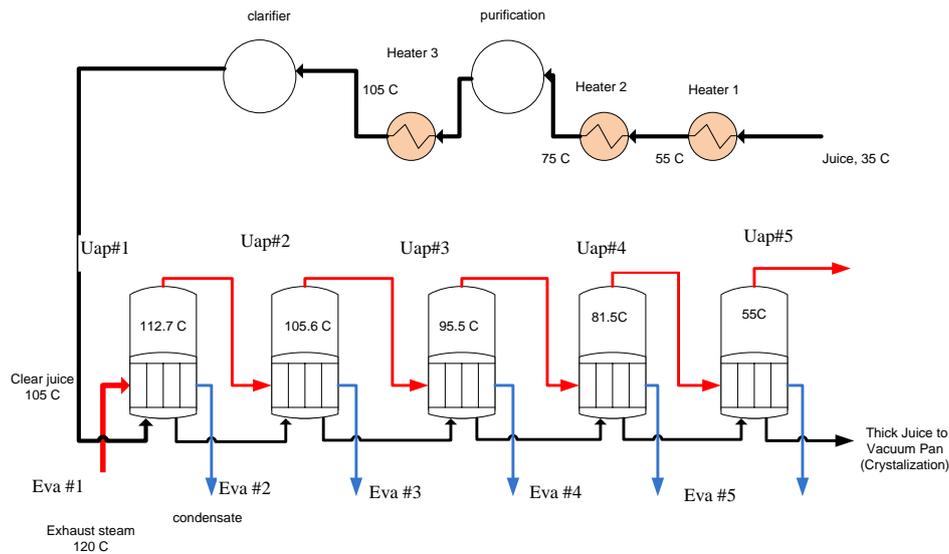
\* The minimum approach temperature is lowest for the first effect and the highest for the last effect.

\*\* These will range widely depending on stirrers, batch/continuous and on pan duty (viz. high grade or low grade).

Garis besar proses pengolahan yang terjadi di *process house* ditampilkan dalam Gambar 4. Nira mentah (suhu 35°C, 12% brix) dihilangkan kotorannya di unit pemurnian dengan dipanaskan hingga suhu 105°C di pemanas 1, pemanas 2 dan pemanas 3 dengan sumber panas dari uap evaporator atau *exhaust steam*. Pemurnian nira mentah menjadi nira jernih dan kotoran dalam bentuk *filtercake*. Nira jernih selanjutnya diuapkan dalam *multiple-effect evaporator* menjadi nira kental (60% brix). Nira kental selanjutnya dipanaskan dalam pan masak dengan sumber panas dari uap evaporator atau *exhaust steam*. Dalam pan masak terjadi penguapan air dan pengkristalan sukrosa.

Bagian *process house* pabrik gula memiliki sistem transformasi energi yang unik dengan evaporator difungsikan sebagai pemberi (donor) energi panas untuk alat perpindahan panas yang lain. Evaporator bagian *process house* dioperasikan mengikuti sistem *multiple-effect evaporator*. *Exhaust steam* difungsikan sebagai pemberi (donor) energi dan nira difungsikan sebagai penerima (aseptor). Aliran *exhaust steam* dan nira dijalankan secara searah. *Exhaust steam* digunakan hanya sebagai pemberi energi di evaporator 1, evaporator selanjutnya menggunakan uap yang dihasilkan oleh evaporator sebelumnya. Uap evaporator 1 digunakan sebagai donor energi di evaporator 2, begitu seterusnya.

Aplikasi persamaan (1) dapat digunakan sebagai dasar menentukan sumber pemanas yang tepat untuk setiap alat perpindahan panas yang ada dalam rangka menurunkan konsumsi *exhaust steam* dibagian *process house*.



Gambar 4. Heat Exchanger Network Bagian Process House

## Metode Penelitian

### Bahan atau materi penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diambil di pabrik gula A di Indonesia. Sampel yang diambil meliputi:

- Neraca massa *process house* (termasuk neraca massa air dan neraca massa uap)
- Neraca panas *process house*
- Konfigurasi proses saat ini
- Data proses lain yang terkait pemakaian energi di *process house* (laju alir massa, konsentrasi, suhu dan tekanan)

### Alat yang dipakai

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah alat-alat kontrol yang sudah terpasang di *process house* dan sudah terkalibrasi.

- Termometer untuk mengamati suhu nira, HPS, LPS, kondensat, air injeksi dan air jatuhan.
- Manometer, untuk mengamati tekanan HPS dan LPS.
- Flowmeter, untuk mengamati laju alir massa nira, HPS dan LPS.
- *Brixweigher*, untuk mengamati konsentrasi (% massa) dalam nira dan *massecuite*.

### Tahapan penelitian

Tahapan utama penelitian ini adalah :

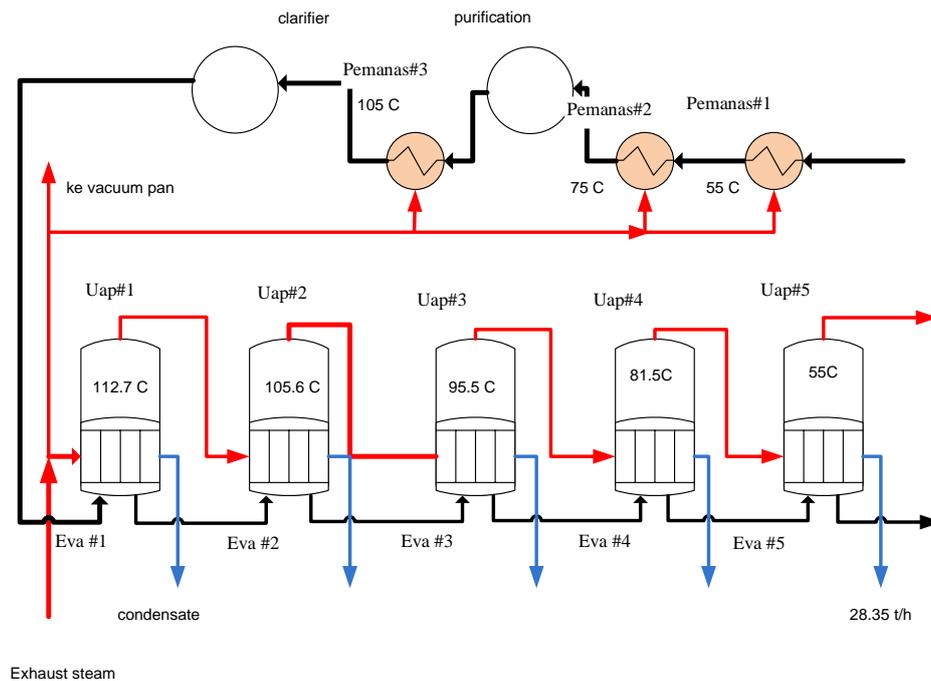
- a) Evaluasi konsumsi uap dan konfigurasi *process house* saat ini
- b) Analisis *pinch* untuk HEN bagian *process house* saat ini
  - Data neraca massa dan neraca panas dalam *flowsheet*

- Ekstraksi data ke data termal
- Analisis terkait target energi, level utilitas, modifikasi proses dan pemilihan utilitas
- Desain konfigurasi proses dan HEN
- Pemilihan alternatif proses

## Hasil dan Pembahasan

Pabrik gula A mempunyai kapasitas 3000 TCD menggunakan proses defekasi-sulfitasi untuk menghasilkan gula kristal putih. Jika kebutuhan *exhaust steam* meningkat maka akan disuplai dengan HPS yang diubah menjadi *exhaust steam* melalui *desuperheater*. Hasil pengamatan untuk *process house* pabrik gula ini menggunakan konfigurasi proses sebagaimana terlihat pada Gambar 5.

Pabrik gula A masih mengoperasikan *steam engine* untuk menggerakkan pompa vakum pada kondensor evaporator dan *vacuum pan*. Unit evaporasi pada pabrik ini menggunakan sistem *multiple-effect* evaporator dengan sistem *quintuple effect*. *Exhaust steam* digunakan sebagai donor energi tidak hanya untuk evaporator 1 namun juga untuk pemanas 1, pemanas 2, pemanas 3, dan *vacuum pan*. Sistem transformasi energi ini menyebabkan nilai SOC relatif tinggi. Pemanas memberikan nilai SOC 15,94%, pan memberikan nilai SOC 14,49%, dan evaporator 1 memberikan nilai SOC 18,03%. Konsumsi SOC untuk pabrik ini didominasi untuk pemanasan, penguapan dan kristalisasi sekitar 48,45%, *service steam* 2,44% dan *losses* 5,11%. Kondisi ini memberikan total konsumsi SOC sebesar 56%.



Gambar 5. Konfigurasi Process House Pabrik Gula A

Kehilangan energi ini dapat disebabkan oleh sistem konservasi energi yang belum optimal. Pipa nira, pipa uap dan peralatan belum diisolasi secara optimal. *Condense pot* dan *steam trap* yang tidak bekerja optimal juga mempengaruhi nilai kehilangan energi. Penggunaan *steam engine* juga memberikan kontribusi yang berarti bagi nilai SOC pabrik ini. *Steam injecture* juga masih digunakan untuk menarik tumpahan nira.

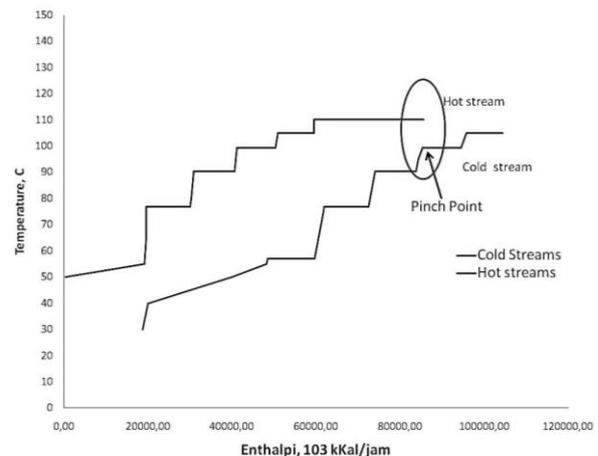
*Service steam* digunakan untuk *house keeping*, sanitasi, *steam washing* di *centrifuge* dan *vacuum pan*. Penurunan kebutuhan uap untuk *service steam* sangat ditentukan oleh kecermatan operator, kinerja peralatan terutama *centrifuge* dan penggunaan *steam injecture* yang berlebihan. Pabrik gula A menggunakan *service steam* sebesar 2,44%. Ringkasan asal uap panas dan uap dingin pada kasus ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sumber Pemanas untuk Alat Perpindahan Panas Pabrik Gula A

Heat Exchanger	Hot Stream	Cold Stream
Pemanas 1	Exhaust steam	Raw Juice
Pemanas 2	Exhaust steam	Raw Juice
Pemanas 3	Exhaust steam	Clear Juice
Evaporator 1	Exhaust steam	Clear Juice
Evaporator 2	Uap evaporator 1	Juice 1
Evaporator 3	Uap evaporator 2	Juice 2
Evaporator 4	Uap evaporator 3	Juice 3
Evaporator 5	Uap evaporator 4	Juice 4
Vacuum Pan	Exhaust steam	massecuite

*Composite curve* untuk aliran panas dan aliran dingin untuk HEN bagian *process house* disajikan dalam Gambar 6 yang menunjukkan

bahwa *pinch* diperoleh pada *exhaust steam* dan uap evaporator 1, dengan nilai *pinch* sekitar 10°C. Nilai ini digunakan sebagai informasi untuk menentukan  $T_{adjust}$  sebagaimana disajikan dalam Table 3.



Gambar 6. Composite curve untuk analisis pinch PG A

$T_{adjust}$  berguna untuk menentukan sumber pemanas yang sesuai dengan kaidah analisis *pinch*. Dari *composite curve* dan persamaan  $T_{adjust}$  maka dibuat grafik proses perpindahan panas untuk pabrik gula sebagaimana disajikan dalam Gambar 7.

Gambar 7 memberikan informasi tentang skema proses perpindahan panas untuk rangkaian alat perpindahan panas yang ada di bagian *process house*. Gambar 7 menunjukkan juga bagian *process house* yang memenuhi kaidah I

dan II *pinch analysis*, namun untuk kaidah III belum terpenuhi, masih ada perpindahan panas melewati *pinch*. Pelanggaran kaidah III terjadi di peralatan pan masak, pemanas 1, pemanas 2 dan pemanas 3. Ketiga alat ini menggunakan *exhaust steam* sebagai sumber pemanas, sehingga untuk melakukan penghematan bisa dilakukan dengan mengubah sumber panas untuk ketiga alat tersebut.

**Tabel 3. T adjust Hasil Perhitungan Dengan Analisis Pinch**

Heat Exchanger	T cold	T hot	Tadjust
Pemanas1 : <i>Exhaust steam</i>	55,00	110,00	55,00
Pemanas2 : <i>Exhaust steam</i>	75,00	110,00	75,00
Pemanas3 : <i>Exhaust steam</i>	105,00	110,00	105,00
Pan A : <i>Exhaust steam</i>	55,00	110,00	89,00
Pan B : <i>Exhaust steam</i>	55,00	110,00	89,00
Pan C : <i>Exhaust steam</i>	55,00	110,00	89,00
Eva 1 : <i>Exhaust steam</i>	105,01	110,00	100,01
Eva 2 : Uap evaporator 1	99,30	105,01	94,30
Eva 3 : Uap evaporator 2	90,18	99,30	85,18
Eva 4 : Uap evaporator 3	76,78	90,18	71,78
Eva 5 : Uap evaporator 4	56,95	76,78	51,95

Berdasarkan analisis *pinch* dan Gambar 7, sumber panas bisa memanfaatkan uap badan pertama evaporator atau badan kedua evaporator. Pemanas 1 bisa menggunakan sumber panas dari uap evaporator 2, pemanas 2 dari uap evaporator 3, pemanas evaporator 3 dari *exhaust steam*, *vacuum pan* bisa menggunakan uap sebagai sumber panas. Aplikasi *heat source* ini memberikan konsumsi *steam* dari 63,63 ton/jam

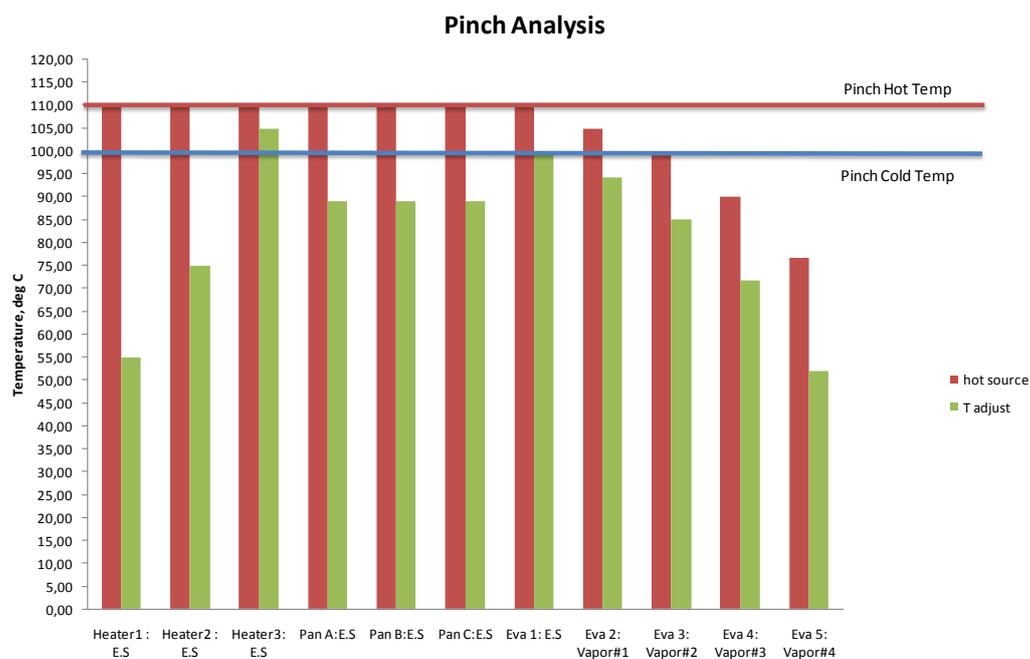
(56% massa tebu) menjadi 51,55 ton per jam (45,37% massa tebu).

Konsumsi uap di *process house* dengan konfigurasi baru didominasi untuk pemanasan dan penguapan sekitar 37,82%, *service steam* 2,44% dan kehilangan 5.11%. Nilai *service steam* dan kehilangan diasumsikan tetap seperti kondisi semula. Perubahan konfigurasi proses ini menyebabkan pemakaian *exhaust steam* akan turun menjadi 10,63%. Pemakaian *exhaust steam* berbanding lurus dengan penurunan SOC, sehingga SOC akan turun sebesar 10,63% massa tebu. *Retrofit* peralatan juga bisa dilakukan dengan menjaga agar selisih suhu antara pemanas dengan aliran dingin tidak terlalu besar. Dari Gambar 7 terlihat bahwa beberapa alat menunjukkan selisih suhu yang relatif besar.

### Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian, didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Penggunaan uap dari evaporator akan mampu menurunkan konsumsi uap bagian *process house*
- Uap evaporator 2 bisa digunakan untuk sumber pemanas pemanas 1 dan pemanas 2, uap 1 untuk sumber pemanas *vacuum pan*, sedang *exhaust steam* digunakan untuk evaporator 1 dan pemanas 3.
- Penurunan SOC yang diperoleh dari studi ini adalah 8,8% dari kondisi semula.



**Gambar 7. Proses Perpindahan Panas untuk PG. A**

- Aplikasi analisis *pinch* harus diikuti dengan efisiensi penggunaan HPS di unit *mill* dan ketel.

Saran yang perlu dilakukan untuk menurunkan konsumsi SOC adalah:

- Penggunaan kondensat dari tiap badan evaporator sebagai sumber panas.
- Penggunaan uap dari badan akhir untuk sumber panas pemanas 1 menggunakan kontak langsung pemanas nira.
- Potensi penggunaan *sixtuple effect* di unit evaporasi untuk menurunkan konsumsi uap.

## Daftar Pustaka

- Hugot, E., 1986. Handbook of Cane Sugar Engineering, 3rd., Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Lavarack, B. P., 2006. Application of Energy Integration Techniques (Pinch Technology) to Reduce Process Steam Consumption for Raw Sugar Factories, Proc. ASSCT, 28.
- Lavarack, B. P., Hodgson, J. J., Broadfoot, R., Vigh, S., and Venning, J., 2004, Improving Energy Efficiency of Sugar Factory: Case Study Pionerr Mill, Proc. ASSCT, 26.
- Rose, I., Scroope, P., and Broadfoot, R., 2009. Reducing Factory Steam Consumption for Cogeneration at Condong Mill, Proc. ASSCT, vol. 31.
- Wright, P. G., 2000. Sugar Factory Configuration for Increased Co-generation, Proc. ASSCT, 22, 347 – 354
- www.linnhoffmarch.com, 1998. Introduction to Pinch Technology, Linnhoff March, England.