



Penurunan Konsumsi Steam Di PG Modjo-Sragen dengan Konsep Heat-Process Integration Menggunakan Energy Utilization Diagram

Daniyanto¹⁾, Fathurrahman Rifai¹⁾, Arief Budiman^{*,2)}

¹ Polytechnic of LPP - Plantation Training Institute, Jl. LPP 1A, Yogyakarta 55222, Indonesia;

Email: Javasuiker@gmail.com, Email: smile.fathur@gmail.com

² Chemical Engineering Department, Gadjah Mada University, Jl Grafika 2, Yogyakarta 55284, Indonesia

*) Corresponding author; e-mail: abudiman@ugm.ac.id

Abstract

Sugar factories can meet its own energy consumption, without using other fuels except bagasse, if consumption Steam on Cane (SOC) can reach 40-50% by weight of cane. Sugar factory can do cogeneration and generate electricity which can be sold to the grid if the consumption steam on cane reached a maximum of 40% by weight of sugar cane.

This study aims to reduce the consumption of SOC in the process house using innovation of process configuration. EUD (Energy Utilization Diagram) is a thermodynamic analysis based on the concept exergy. EUD is used to evaluate the configuration process in order to obtain a better configuration of the existing configuration.

The study obtained a configuration process with SOC <40%. Evaporation system used a quintuple effect. Vapor # 4 is used for energy donor heater # 1, Vapor # 3 used donor of energy to the heater # 2 and vacuum pan. Vapor # 1 is used for energy donor heater # 3. Exhaust steam pressure of 0.8-1 kg / cm² is only used in the evaporator # 1.

Keywords: Energy efficiency, steam on cane, cogeneration, process configuration, exergy analysis

Pendahuluan

Latar Belakang

Process house merupakan bagian pabrik gula yang mengolah nira mentah yang dihasilkan mill station menjadi gula produk. Konsumsi energi pabrik gula didominasi oleh *process house*. Sekitar 90% energi yang tersimpan dalam steam yang dihasilkan boiler digunakan dalam process house [24]. Efisiensi penggunaan energi di *process house* menjadi perhatian utama di pabrik gula karena konsumsi energi dibagian ini akan mempengaruhi nilai konsumsi energi yang dinyatakan dalam Steam on Cane (SOC). SOC menunjukkan prosentase berat steam yang dihasilkan boiler terhadap berat tebu yang digiling. Penurunan SOC akan menurunkan konsumsi *bagasse* yang merupakan bahan bakar utama di pabrik gula. Pabrik gula yang mempunyai performance bagus tidak memerlukan lagi tambahan bahan bakar sebagai sumber energi selain *bagasse*. Penggunaan *fuel oil* dilakukan sebagai antisipasi pada saat awal giling tebu karena *bagasse* belum ada atau pada saat terjadi kendala misalnya kadar air *bagasse* tinggi (>50-52%).

Pabrik gula dianggap paling efisien jika dapat memenuhi konsumsi energi tanpa harus menambahkan bahan bakar energi selain dari *bagasse*. Jika dinyatakan dalam parameter SOC, nilainya pada kisaran 40-50%. Jika diaplikasikan konsep kogenerasi, maka SOC harus ditekan pada angka maksimal SOC=40% [23][24][46]

Analisis termodinamika merupakan metode yang efektif dalam penghematan energi melalui integrasi rangkaian alat perpindahan panas yang ada [36]. Analisis integrasi panas dapat dilakukan dengan mengacu ke hukum pertama dan kedua termodinamika [58]. Hukum pertama termodinamika digunakan secara luas dalam industri seperti analisis neraca panas. Analisis pinch yang ditemukan oleh Linhoff (1983) merupakan metode yang simple dan memberikan hasil baik dalam integrasi panas [28][29][30][31]. Aplikasi analisis *pinch* untuk sektor industri kilang minyak, pabrik kimia, besi dan baja, pulp dan kertas, petrokimia, makanan dan minuman dapat memberikan penghematan konsumsi energi 10-35%, konsumsi air 25-40% dan konsumsi hidrogen hingga 20% [20][26][34][47]. Analisis pinch sudah diaplikasikan di pabrik gula untuk menurunkan SOC [5][55]. Penurunan SOC dari 51,6% menjadi 43,6% dengan pemanfaatan vapor bleeding dari evaporator untuk pemanasan vacuum pan dan juice heater [23]. Perubahan 2 set quintuple effect menjadi 1 set sextuple effect menurunkan SOC dari 51% menjadi 39% [41]. Namun jika unit operasi melibatkan reaksi kimia, maka analisis ini belum dapat memberikan informasi





yang lengkap karena informasi yang ditampilkan masih bersifat kuantitatif. Untuk menjawab ini dikembangkan analisis eksergi yang berdasarkan hukum kedua termodinamika

Hukum kedua termodinamika merupakan dasar dalam analisis sistem energi dan metode eksergi[1][33]. Analisis eksergi memberikan informasi tentang kuantitas dan kualitas energi. Analisis eksergi memudahkan seseorang untuk mengevaluasi penyebab menurunnya eksergi karena ketidak sempurnaan proses termal dan kimia[11][48]. Analisis eksergi dilakukan untuk menaikkan efisiensi eksergi tanpa menurunkan efisiensi energi di produksi rape seed oil methyl ester (RME)[17], evaluasi kehilangan eksergi dikolom destilasi[39][40], menurunkan konsumsi panas 30-50% dalam unit penghilang CO₂[25] dan aplikasi bidang lain [8][9][37][43][49].

Analisis eksergi di pabrik gula beet dilakukan untuk menurunkan kehilangan eksergi sebesar 4.21%[1][50]. Penurunan kehilangan eksergi 48% dari kondisi awal dilakukan dengan mengubah konfigurasi evaporator pabrik gula tebu dari quadruple menjadi quintuple [38]. Aplikasi analisis eksergi untuk pabrik gula-ethanol mampu menurunkan konsumsi steam 48.5% dengan modifikasi proses evaporator, menaikkan kandungan padatan dan penggantian sistem destilasi menjadi dual-pressure distillation [15].

EUD (*Energy Utilization Diagram*) merupakan analisis eksergi yang memberikan informasi energi secara kuantitatif dan kualitatif secara grafis. Analisis ini memberikan informasi degradasi energi yang terjadi dalam proses dalam bentuk level energi. Level energi ini diperlukan untuk memanfaatkan panas yang hilang dari unit proses dengan level energi lebih tinggi untuk unit lain dengan level energi lebih rendah. Distribusi kehilangan eksergi dan driving force dalam proses transformasi energi dari pemberi energi ke penerima energi ditampilkan dalam bentuk grafik EUD. Analisis ini memberikan kemudahan untuk mengevaluasi penyebab menurunnya eksergi karena ketidaksempurnaan proses termal dan kimia [7][11].

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan sistem evaporasi di pabrik gula yang menghemat pemakaian konsumsi *steam* yang dilakukan melalui analisis termodinamika secara grafis pada kondisi proses pabrik gula yang ada, integrasi proses yang dilanjutkan analisis termodinamika dan evaluasi kondisi proses yang ada dan inovasi integrasi proses.

Metodologi Penelitian

Analisis termodinamika merupakan metode yang efektif untuk menghemat energi dan memperbaiki efisiensi dalam sistem transformasi energi. Analisis termodinamika sangat abstrak sehingga dikembangkan beberapa jenis diagram atau grafik untuk memberikan gambaran secara visual terhadap suatu proses transformasi energi. Teknik ini memberikan kemudahan untuk menemukan penyebab inefisiensi termodinamis dan karakteristik terpenting dari proses [11][30][35][52].

Analisis Exergy dengan EUD (*Energy Utilization Diagram*)

Analisis eksergi dengan EUD merupakan pengembangan analisis termodinamika untuk penghematan energi dan modifikasi proses dalam suatu sistem konfigurasi energi. Analisis eksergi dikembangkan berdasar hukum kedua termodinamika dan disajikan secara grafis. Analisis eksergi memberikan informasi tentang kualitas dan kuantitas transformasi energi suatu sistem. Hukum kedua termodinamika memberikan rumusan matematik bahwa setiap proses berlangsung sedemikian rupa sehingga total perubahan entropi bernilai positif, pembatasan nilai nol hanya untuk menunjukkan bahwa proses reversible. Tidak ada proses yang memungkinkan total entropi berkurang atau

$$\Delta S_{total} \geq 0 \quad (1)$$

Konsep tentang eksergi berasal dari definisi perubahan energi bebas *Gibbs*.

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (2)$$

Untuk mengetahui kualitas energi maka suhu T dalam persamaan (2) diganti dengan suhu lingkungan, T₀ (298.15°K), nilai ini disebut perubahan eksergi.

$$\Delta \epsilon = \Delta H - T_0 \Delta S \quad (3)$$

Level energi (*energy level*) didefinisikan sebagai

$$A = 1 - T_0 (\Delta S / \Delta H) \quad (4)$$

Pada kondisi keseimbangan dimana tidak terjadi reaksi kimia, entropi dapat didefinisikan sebagai

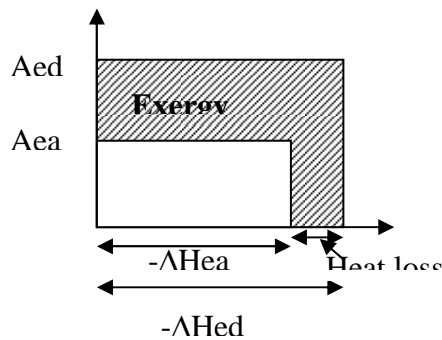
$$\Delta S = \Delta H / T \quad (5)$$

Jika persamaan (5) dimasukkan ke persamaan (4) maka level energi A dapat ditulis menjadi:

$$A = 1 - T_0 / T \quad (6)$$

Hubungan antara level energi dan enthalpi untuk donor energi dan acceptor energy dinyatakan dalam EUD seperti Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan grafik proses transformasi energi dari donor energy ("ed") dan, energy acceptor ("ea"). Daerah arsir antara "ed" dan "ea" adalah kehilangan exergy. Persamaan (6) ini sama dengan efisiensi siklus *Carnot*. Dalam hal ini nilai level energi tidak tergantung dengan cara pemanasan dan pendinginan. Level energi sama dengan nol jika T=T₀. Jika nilai T besar sekali maka nilai A mendekati 1.





Gambar 1. EUD (*Energi Utilization Diagram*)

Sistem transformasi energi di process house

Bagian *process house* pabrik gula memiliki sistem transformasi energi yang unik dimana evaporator difungsikan sebagai penghasil donor energi untuk alat perpindahan panas yang lain. Rangkaian alat perpindahan panas yang ada di bagian *process house* meliputi *heater #1*, *heater #2*, *heater #3*, evaporator dan *vacuum pan*. *Heater #1* difungsikan untuk memanaskan nira mentah dari 35°C ke suhu 55°C , *heater #2* memanaskan nira dari suhu 55°C ke 75°C , *heater #3* memanaskan nira dari suhu 75°C ke 105°C . Evaporator difungsikan untuk menguapkan nira encer menjadi nira kental. *Vacuum pan* difungsikan untuk mengkristalkan gula dalam nira kental.

Analisis eksergi dengan EUD yang dilakukan di bagian *process house* akan memberi informasi yang tepat tentang level energi dan eksergi yang dimiliki oleh *vapor* dari tiap badan evaporator. *Vapor* di setiap badan evaporator memiliki level energi yang berbeda beda. Analisis eksergi dengan EUD akan dilakukan untuk memilih donor energi yang tepat pada setiap alat perpindahan panas yang ada dibagian *process house*. Penggunaan *vapor bleeding* sebagai donor energi dilakukan untuk menggantikan *exhaust steam* sebagai donor energi. Analisis eksergi juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *vapor* sebagai donor energi terhadap penurunan angka SOC.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan di pabrik gula Modjo Sragen, Jawa Tengah

Kondisi Umum Konsumsi Energi

Secara keseluruhan pabrik gula yang dipelajari memberikan gambaran bahwa SOC masih diatas 50% dan tergantung dari konfigurasi proses yang digunakan. Selain ditentukan oleh konfigurasi proses, SOC juga ditentukan oleh jenis peralatan yang digunakan. Gambaran umum tentang objek yang dijadikan studi disajikan pada Tabel 1. Pada tabel 1 ditunjukkan bahwa ada hubungan antara konsumsi SOC dengan jenis bahan bakar yang digunakan, ketika konsumsi SOC antara 40-50 maka pabrik tersebut mampu mencukupi kebutuhan energi hanya dari *bagasse*. Pabrik gula Modjo memberikan nilai SOC paling tinggi sehingga menggunakan konsumsi bahan bakar selain ampas tebu. Suplesi bahan baku berupa Diesel oil, kayu dan serbuk gergaji. Pemilihan effect evaporator juga berpengaruh terhadap konsumsi SOC. Semakin tinggi konsumsi SOC maka akan berpengaruh juga terhadap konsumsi energi baik dalam kKal/ton tebu dan kW per ton tebu.

Tabel 1. Kondisi Umum Konsumsi Energi Pabrik Gula Modjo

Parameter	Kinerja
Cap. Ton Cane per Day	2.500
Jenis Teknologi	Defekasi-Sulfitasi
Multiple Effect	4-effect
Konsumsi bahan bakar	
• Bagasse, ton/ton tebu	32,60%
• Diesel Oil, ton/ton tebu	1,852%
• Kayu, ton	2,532%
• Serbuk Gergaji, ton/tontebu	1,76%
Konsumsi energi	
• kKal/kg tebu	611,88
• kWh/ton tebu	24,17
Steam on Cane, %	59

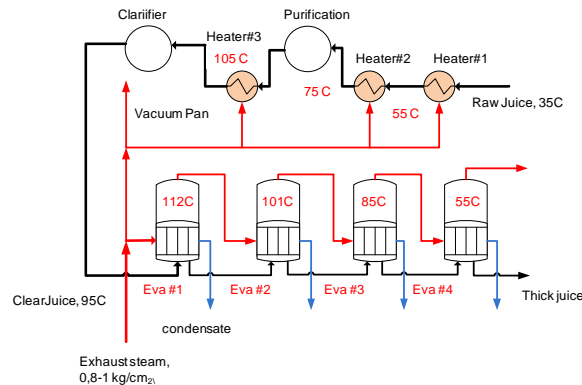
keterangan: data diperoleh pada saat periode XI, November 2011

Konfigurasi Proses dan Analisis Eksergi Kondisi Eksisting.

Pabrik gula Modjo Sragen mempunyai kapasitas 2500 ton cane per day (TCD). Hasil pengamatan untuk pabrik gula ini menggunakan konfigurasi proses pada Gambar 2. Pabrik ini relatif tua didirikan pada tahun 1883. *Steam engine* masih digunakan untuk penggerak pompa vakum, pompa udara dan *injecture* nira.

Sistem evaporasi yang digunakan adalah multiple effect evaporator dengan sistem quarduple. Donor energi untuk heater#1, heater#2, vacuum pan dan evaporator#1 menggunakan *exhaust steam*. Penggunaan sistem quarduple akan memberikan konsumsi SOC yang lebih besar dibandingkan dengan sistem quintuple.

Kondisi ini memberikan total konsumsi steam on cane sebesar 59%. Konsumsi exhaust steam untuk pabrik ini didominasi oleh *process house* sekitar 50,78%, *service steam* 2,35% dan *losses* 5,87%. Pada pabrik ini, penggunaan terbesar *exhaust steam* adalah untuk mensuplai energi di vacuum pan (13,28%), heater#1 dan heater#2 (15,30%) dan evaporator#1 (22,21%).

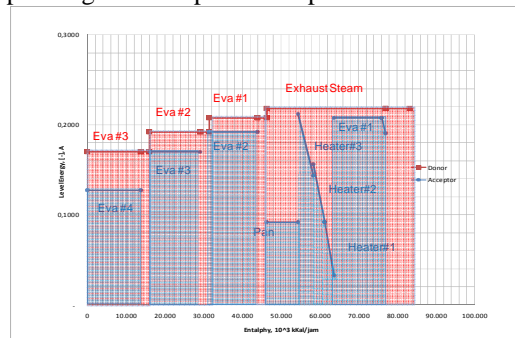


Gambar 2. Konfigurasi Process House Pabrik Gula Modjo

Penggunaan sistem quadruple memberikan kontribusi yang besar terhadap konsumsi *exhaust steam*. Konsumsi SOC akan berkurang 5,06 ton uap/jam atau sekitar 4,45% dengan mengubah sistem quadruple menjadi quintuple. Perubahan sistem evaporasi menjadi quintuple memberikan peluang untuk menurunkan konsumsi SOC.

Kehilangan energi masih cukup besar (5,87%). Hal ini menunjukkan sistem konservasi energi belum dilakukan dengan baik.

Analisis eksergi dengan EUD pabrik gula ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Energy utilization diagram utk konfigurasi proses saat ini.

Dari gambar 2 terlihat bahwa yang menjadi energi donor adalah *exhaust steam*, vapor #1, vapor #2, vapor #3, dan vapor #4 sedangkan energi aseptor meliputi nira di heater 1, heater 2, heater 3, *clear juice* dan nira di setiap badan evaporator. Gambar 2 menunjukkan informasi sistem transformasi energi di PG Modjo. Alat Perpindahan panas yang bisa diperbaiki sistem transformasi energinya adalah heater#1, heater#2, vacuum pan dan evaporator#4. Gambar 3 memberikan kemudahan dalam menentukan langkah untuk menurunkan SOC dan pemilihan donor energi yang tepat untuk setiap alat perpindahan panas. Donor energi untuk alat heater #1 bisa menggunakan vapor#4 atau vapor#3. Heater#2 bisa menggunakan donor energi dari vapor#3 atau vapor#2. Vacuum pan bisa menggunakan donor energi vapor#3 sebagai pengganti exhaust steam. Sistem penguapan bisa dirubah menjadi quintuple agar kehilangan eksergi di evaporator#4 bisa diturunkan.

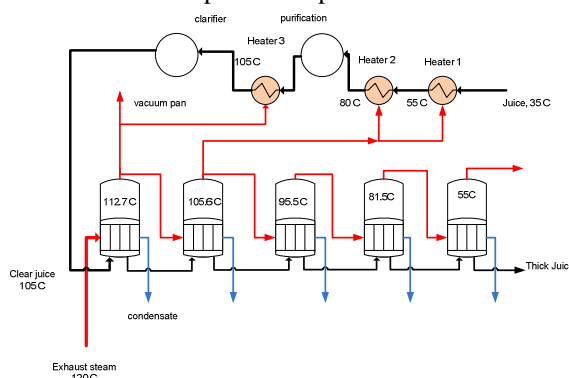
Optimasi Konfigurasi Proses

Jika dilakukan konfigurasi proses tanpa melibatkan analisis eksergi maka ada peluang 300 konfigurasi proses yang akan disimulasikan. Analisis eksergi dilakukan untuk mengevaluasi kondisi eksisting PG Modjo dari analisis eksergi diperoleh konfigurasi proses yang dimungkinkan dilakukan untuk menurunkan konsumsi exhaust steam di bagian process house seperti di gambar 4.

Gambar 4, menunjukkan optimasi yang dilakukan dengan merubah konfigurasi proses evaporator dari *quardrupple* menjadi *quintuple*. Energi donor untuk vacum pan dan heater 3 digunakan vapor#1 sedangkan heater#1 dan heater#2 menggunakan vapor#2 Exhaust steam hanya digunakan untuk evaporator #1.

Konfigurasi ini memberikan peluang untuk menurunkan SOC dimana donor energi untuk tiap alat perpindahan panas merupakan optimasi penggunaan vapor evaporator.

Semakin tinggi SOC maka kehilangan eksergi semakin besar dan efisiensi energi semakin menurun. Hasil optimasi diatas memberikan hasil SOC<50%. Hasil ini diperoleh dengan tetap mengacu adanya konsumsi steam utk service maksimal 3 % dan kehilangan steam sebesar 2,7% Simulasi dilakukan dengan tekanan exhaust steam berada dalam kisaran 0,8-1 kg^f/cm². Sistem evaporasi yang digunakan adalah *multiple effect* evaporator dengan sistem *quintuple*. Resume konfigurasi proses dan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 3



Gambar 4. Konfigurasi Optimasi Proses Baru

Tabel 3. Karakteristik energi dan eksergi setelah Perubahan Konfigurasi Proses

Optimasi	SOC, %	Exergy Loss, %	Eff. Energi, %
Existing	55,86	33,26	82,19
Baru	44,62	31,30	82,72

Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari hasil penelitian ini adalah analisis eksergi dengan EUD (*energy-utilization diagram*) dapat diaplikasikan pada pabrik gula guna menurunkan konsumsi SOC (*Steam on Cane*). Gambar 4 menunjukkan hubungan antara SOC dan *exergy loss*. Semakin tinggi SOC, semakin besar *exergy loss*. Tabel 3 menunjukkan Analisis dengan EUD dapat memberikan informasi tingkat efisiensi penggunaan energi. Dalam penelitian ini, SOC berkurang dari 55.86% menjadi 44,62%, Exergy loss berkurang 3,72%, Nilai efisiensi energi relatif konstan. Tabel 4 dan Gambar 4 juga menunjukkan bahwa optimasi penggunaan *vapor* pada evaporator dengan EUD akan menurunkan *exergy loss*.

Daftar Pustaka

- Bayrak, M., Midilli, A., and Nurveren, K., 2003, "Energy and Exergy Analyses of Sugar Production Stages", *Int. J. Energy Res.*, 27, 989-1001
- Berthiaume, R., Bouchard, C., and Rosen, M. A., "Exergetic Evaluation of The Renewability of a Biofuel", *Exergy Int. J.*, 1 (4), 256-268
- Boland, D., and Hindmarsh, E., 1984, "Heat Transfer: Heat Exchanger Network Improvements", *CEP*, July, 47-55
- Badan Pusat Statistik, 2012, "Penduduk Indonesia menurut Propinsi", www.bps.go.id, accessed date 17 September 2012
- Broadfoot, R., 1999, "Energy Efficient Design and Operation of Continuous Pans", *Proc. ASSCT*, 21, 373-380
- Broadfoot, R., 2001, "Planning Changes To The Process Sections of Raw Sugar Factories For Increased Cogeneration", *Proc. ASSCT*, 23, 395-402
- Budiman, A., Sutijan, and Sawitri, R. D., 2011, "Graphical Exergy Analysis of Retrofitted Distillation Column", *Int Journal of Exergy*, 8, 4, 477-493.
- Camdali, U., Erisen, A., and Celen, F., 2004, "Energy and Exergy Analyses in A Rotary Burner with Pre-calcinations in Cement Production", *Energy Conversion and Management*, 45, 3017-3031
- Chang, H., and Li, J. W., 2005, "A New Exergy Method for Process Analysis and Optimization", *Chem. Eng. Sci.*, 60, 2771-2784



- Chen, J.C.P and Chou, C.C, 1993, "Cane Sugar Handbook", 12 ed., McGraw-Hill International Edition, Singapore
- Chuang, C.C., 1990, "Analisis exergy Based on Energy Utilization Diagrams", *Doctor of Engineering Thesis*, Tokyo Institute of Technology, Tokyo
- Coulson, J.M., and Richardson, J.F., 1983, "Chemical Engineering", vol.6, *Pergamon Press*, Oxford
- Dewan Gula Indonesia, 2012, "Laporan bulan Maret 2012", Sekretariat DGI, Jakarta
- Dixon, T.F. and Burbridge, D., 2000, "The Future for Cogeneration in The Sugar Industry", *Proc. ASSCT*, 22, 38-45
- Ensinas, A.V., Nebra, S.A., Lozano, M.A. and Serra, L.M., 2007, "Analysis of Process Steam Demand Reduction and Electricity Generation in Sugar and Ethanol Production from Sugarcane", *Energy Conversion and Management*, 48, 2978-2987
- Ferrero, M., 2009, "Heat Integration and Steam Economy", *Hy-tech Ingineria*, Texas
- Hovelius, K. and Hansson, P.A., 1999, "Energy and Analisis exergy of Rape Seed Oil Methyl Ester (RME) Production Under Swedish Conditions", *Biomass and Bioenergy*, 17, 279-290.
- Hugot, E., 1986, "Handbook of Cane Sugar Engineering", 3rd., *Elsevier Publishing Company*, Amsterdam
- IKAGI, 2008, "Industri Gula Membangun Kompetensi", *IKAGI*, Jakarta
- Isaksson, J., Harvey, S., Grip, C.E., and Karlsson, J., 2011, "Possibilities to Implement Analisis pinch in The Steel Industry-a Case Study as SSAB EMEA in Lulea", *World Renewable Energy Congress*, Sweden
- Kemp, I.C., 2004, "Reducing Dryer Energy Use by Process Integration and Analisis pinch", *Proceeding of the 14th International Drying Symposium*, B, 1029-1036, Brazil
- Koeijer, G., and Rivero, R., 2003, "Entropy Production and Exergy Loss in Experimental Distillation Columns", *Chem. Eng. Sci.*, 58, 1587-1597.
- 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
- Leites, I.L., Sama, D.A., and Lior, N., 2003, "The Theory and Practice of Energy Saving in The Chemical Industry: Some Methods for Reducing Thermodynamic Irreversibility in Chemical Technology Processes", *Energy*, 28, 55-97
- Li, B.H. and Chang, C.T., 2010, "Retrofitting Heat Exchanger Networks Based on Simple Analisis pinch", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 3967-3971
- Li, Y., Liu, H., Tao, J., and Li, J., 2011, "Application of Pinch Technology in Heat Recovery System Optimization of Coated Paper Machine", *IPPTA Journal*, 23, 113-116.
- Linnhoff, B., 1990, "Pinch Technology For Synthesis Of Optimal heat and Power Systems, Departemen of Chemical Engineering", Univ of Manchester Institute of Science and Technology, England
- Linnhoff, B. and Ahmad, S., 1990, "Cost Optimum HEN-1, Minimum Energy and Capital Using Simple Models for Capital Cost", *Computer Chem. Eng.*, 14, 7, 729-750
- Linnhoff, B., and Hindmarsh, E., 1983, "The Pinch Design Method for Heat Exchanger Network", *Chem. Eng. Science*, 38, 745-763.
- Linnhoff, B., and Townsend, D.W., 1983, "Heat and Power Networks in Process Design", *AIChE Journal*, 29, 742-771.
- Mustangin, M., 2012, "Peranan Perkebunan dalam Mendukung Kemandirian Energi Nasional", LPP Com.
- Nakicenovic, N., Gilli, P.F. and Kurz, R., 1996, "Regional and Global Exergy and Energy Efficiencies", *Energy*, 21-3, 223-237.
- Natural Resources Canada, 2003, "Analisis pinch: For The Efficiency of Use of Energy, Water and Hydrogen", *Natural Resources Canada*, Canada, www.canmetenergy.nrcan.gc.ca,
- Nishida, N., Liu, Y.A., and Lapidus, L., 1977, "Studies in Chemical Process Design and Synthesis: 111. A Simple and Practical Approach to the Optimal Synthesis of Heat Exchanger Networks", *AIChE J.*, 23, 77
- Ognisty, T.P., 1995, "Analyse Distillation Coloumn with Thermodynamics", *Chem. Eng. Prog.*, 91, 40-45
- Poredos, A., and Kitanovski, A., 2002, "Exergy Loss as a Basis for The Price Termal Energy", *Energy Conversion and Management*, 43, 2163-2173
- Ram, R.J. and Banerjee, R., 2003, "Energy and Cogeneration Targeting for a Sugar Factory", *Applied Thermal Engineering*, 23, 1567-1575
- Rivero, R., 2001, "Exergy Simulation and Optimization of Adiabatic and Diabatic Binary Distillation", *Energy*, 26, 561-593.
- Rivero, R., Garcia, M., and Urquiza, J., 2004, "Simulation Analisis exergy and Application of Diabatic Distillation to Tertiary Amyl Methyl Ether Production Unit of a Crude Oil Refinery", *Energy*, 29, 467-489
- Rose, I., Scroope, P., and Broadfoot, R., 2009, "Reducing Factory Steam Consumption for Cogeneration at Condong Mill", *Proc. ASSCT*, vol.31
- Sama, D.A., 1996, "Heat Exchanger Network Oprimization Strategy Based on Reducing The Number of Heat Exchangers", *Proc. ASME*, vol.36, 481-491





- Sanjay, Agarwal, M. and Rajay, 2009, Energy and Exergy Analysis of Brayton-Diesel Cycle", *Proceeding of WCE*, Vol.II
- Santos, L.C. and Zemp,R.J., 2000, "Energy and Capital Targets for Constrained Heat Exchanger Networks", *Braz. J. Chem. Eng.*, 17, 4-7
- Smith,J.M., Van Ness, H.C., and Abbott,M.M., 2001, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", 6 ed., McGraw-Hill International Edition, New York
- Sutherland, R.F., 2002, New Energy Options in The Australian Sugar Industry, *Proc.ASSCT*, vol. 24.
- Svensson,E. and Harvey,S., 2011, "Analisis pinch of a Partly Integrated Pulp and Paper Mill", *World Renewable Energy Congress*, Sweden
- Szargut,J.,1989, "Chemical Exergies of The Elements", *Applied Energy*, 32, 269-286
- Taufiq,B.N., Masjuk,H.H., Mahlia,T.M.I., Amalia,M.A., Faizul,M.S., and Saidur, R., 2007, "Axergy Analysis of Evaporative Cooling for Reducing Energy Use in a Malaysian Building", *Desalination*, 209, 238-243
- Tekin, T. and Bayramoglu, M., 2001, "Exergy and Structural Analysis of Raw Juice Production and Steam-Power Units of a Sugar Production Plant, *Energy*, 26, 287-297
- Umeda,T., Niida,K., and Shiroko, K., 1979, "A Thermodynamics Approach to Heat Integration in Distillation Coloum Systems", *AIChE J*, 3, 423-429.
- Umeda, T., Harada, T., and Shiroko,K., 1979, "A Thermodynamic Approach to the Syntesis of Heat Integration Systems in Chemical Processes", *Comp. and Chem. Eng.*, 3, 273-282
- Westphalen,D.L. and Maciel,M.R.W.,1999, "Analisis pinch Based on Rigorous Physical Properties", *Braz.J.Chem.Eng*, 16, Sao Paulo
- Wright,P.G. and Joyce,J.A., 2001, "Increasing Energy Efficiency by Conserving Boiler Feed Water Temperature", *Proc. ASSCT*, 23, 416-420
- Wright,P.G., 2000, "Sugar Factory Configuration for Increased Coogeneration", *Proc. ASSCT*, 22, 347 – 354
- www.linnhoffmarch.com, 1998, "Introduction to Pinch Technology", Linnhoff March, England
- www.aidic.it, Ruohonen,P. and Sivill,L., 2012, "a Novel Approach for Including Multi Phase Flows into Analisis pinch-The Heat Exchange Limits Estimated by Advanced Composite Curve", accessed date 23 March 2012
- www.che.iitm.ac.in, Vilassin,M., Obenza,K., Lanuza,M., and Nguyen,T., "Heat Exchanger Networks", Senior Design, CHE 396, accessed date 20 March 2012
- <http://id.wikipedia.org>, Daftar Negara menurut Jumlah Penduduk, accessed date 17 September 2012
- <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>, Energy Information Administration (EIA), International Energy Outlook 2009. (Accessed Date: 21 July 2009).





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Supranto (Universitas Gadjah Mada)
Notulen : Mitha Puspitasari (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Farid Hidayat (UNPAD)
Pertanyaan : Apakah sudah dihitung berapa banyak energi (bahan bakar) yang dapat dihemat?. Apakah investasi perlu ditambah?
Jawaban : Ketika pabrik sudah mencapai $SOC \leq 50\%$, otomatis diesel oil, dan bahan bakar lain yang digunakan akan hilang. Bahan bakar cukup dari ampas tebu. Namun perhitungan secara lengkap belum dilakukan.
Perlu diperhitungkan ulang untuk aspek keuntungan finansial dan kelayakan ekonomi terkait investasi peralatan.
2. Penanya : Supranto (Universitas Gadjah Mada)
Saran : Teoritical sudah dilakukan, tekniknya belum, sehingga jika perhitungan termodinamikanya dapat diselesaikan, maka kelayakan dapat diketahui secara riil.
3. Penanya : Yunus Tonapa Sarungu (Politeknik Negeri Bandung)
Pertanyaan : Sejak kapan mulai dikembangkan konfigurasi ini?
Jawaban : Design lama tidak memungkinkan dilakukan investasi proses. Setelah penambahan terhadap existing peralatan sesuai dengan konfigurasi proses baru, konsumsi SOC ditargetkan akan turun dibawah 50%. Tahun ini sudah mulai dilakukan perubahan konfigurasi proses.

