

Optimasi Jaringan Penukar Panas untuk Sistem Energi yang Efisien pada Pabrik Pengolahan LPG

Optimization of Heat Exchanger Network for Efficient Energy System at LPG Refinery Plant

Muhammad R Zen^{1)*}, Khoirun Naimah¹⁾

¹⁾Teknik Sistem Energi, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan – Indonesia

*Email: muhammad.zen@tse.itera.ac.id

Abstrak

Krisis energi yang terjadi saat ini menunjukkan semakin tingginya tingkat konsumsi energi yang semakin lama semakin tidak sebanding dengan ketersediaan energi yang ada. Permasalahan ini menuntut setiap industri di dunia untuk dapat mengoptimalkan dan mengefisienkan penggunaan energi untuk keperluan proses produksinya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain jaringan penukar panas yang optimal sehingga dapat menurunkan tingkat konsumsi energi serta meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan energi pada pabrik pengolahan LPG. *Pinch analysis* merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk mengoptimisasi jaringan penukar panas dengan memanfaatkan prinsip *heat recovery*. Pengambilan data operasi pabrik pengolahan LPG yang memuat informasi laju alir, tekanan, dan suhu dari setiap aliran proses dilakukan untuk pembuatan simulasi proses dengan menggunakan *aspen hysys* dan kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi data ke *aspen energy analyzer*. Setelah jaringan penukar panas dioptimasi dengan cara menambahkan satu buah alat penukar panas yang baru yaitu E-105, terjadi penurunan konsumsi energi pada *aftercooler* sebesar 51,52 %, *chiller* sebesar 55,68 %, dan juga penggunaan *heater* dapat dihilangkan sehingga terjadi pengurangan energi sebesar 2.455 kW. Dari hasil studi ini, maka dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan optimasi jaringan penukar panas dengan menggunakan *pinch analysis*, terjadi penghematan energi total sebesar 31,41 % atau 4.908 kW dan juga penghematan biaya signifikan pada proses pengolahan LPG.

Kata Kunci: Optimasi, Energi, Jaringan Penukar Panas, LPG Refinery, Pinch Analysis

Abstract

The current energy crisis shows the increasing level of energy consumption which is increasingly disproportionate to the availability of existing energy. This problem requires every industry in the world to be able to optimize and efficient use of energy for the purposes of the production process. This study aims to obtain an optimal heat exchange network design so that it can reduce the level of energy consumption and increase the efficiency and effectiveness of energy use in LPG processing. *Pinch analysis* is a method that can be used to optimize the heat exchange network by utilizing the principle of *heat recovery*. Operational data retrieval from LPG refinery plant containing information on flow rate, pressure, and temperature from each process flow was carried out for making the process simulation using *aspen hysys* and then proceed with data extraction to the *aspen energy analyzer*. After the heat exchanger network was optimized by adding a new heat exchanger, the E-105, there was a decrease in energy consumption in the *aftercooler* by 51.52 %, *chiller* by 55.68 %, and also the use of *heater* can be eliminated resulting in a reduction in energy of 2,455 kW. From the results of this study, it can be concluded that by optimizing the network using *pinch analysis*, there is a 31.41 % energy savings and also significant cost savings in the LPG refinery system.

Keyword: Optimization, Energy, Heat Exchanger Network, LPG Refinery, Pinch Analysis

1. PENDAHULUAN

Menurut IEA (2021) dalam *world energy balances: overview*, berdasarkan data yang ada bahwa produksi dari bahan bakar fosil mengalami penurunan pada 2020 sebanyak 5 % dibandingkan dengan 2019. Kondisi tersebut tentunya berbanding terbalik dengan nilai *total final consumption* yang semakin meningkat setiap tahunnya yang mana sektor industri merupakan sektor tertinggi dengan kenaikan sebesar 1,37 juta TJ pada 2019-2020. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat konsumsi energi semakin lama semakin tidak sebanding dengan ketersediaan energi yang ada. Sektor industri yang merupakan konsumen energi terbesar dituntut untuk dapat terus berinovasi agar dapat mengefisienkan proses produksinya serta meminimalkan tingkat konsumsi energinya.

Di Indonesia, penggunaan energi untuk keperluan industri diatur didalam undang-undang. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi yang menjelaskan terkait upaya konservasi energi. Konservasi energi merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk menjaga kelestarian sumber daya energi dan mengefisienkan penggunaannya. Konservasi energi dapat dicapai melalui manajemen energi yang merupakan kegiatan untuk meminimalkan tingkat konsumsi energi melalui pemanfaatan energi yang efektif dan efisien.

Menurut Ibrahim, A., dkk. (2021) Optimalisasi penggunaan energi merupakan parameter kunci untuk pengembangan masyarakat sehingga sangat penting bagi industri untuk dapat mengefisienkan penggunaan energi dan mencegah pemborosan. Industri yang dapat menerapkan optimalisasi energi seperti industri minyak dan gas bumi, industri petrokimia dan oleokimia, maupun industri-industri lainnya yang mengkonsumsi energi dalam jumlah yang besar (Klemes, dkk., 2020). Industri minyak dan gas bumi seperti pabrik pengolahan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) merupakan salah satu industri yang membutuhkan energi untuk keperluan sistem termalnya seperti proses pemanasan maupun pendinginan. Energi yang digunakan untuk proses pemanasan terutama digunakan pada kolom-kolom distilasi atau fraksinasi yang membutuhkan energi panas untuk *reboiler*-nya sedangkan energi yang digunakan untuk proses pendinginan terutama digunakan untuk proses refrigerasi pada *refrigeration system*. Proses pendinginan dan pemanasan ini apabila dianalisis dengan suatu metode tertentu, maka akan dapat diketahui potensi *heat recovery* yang bisa dimanfaatkan sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan energi.

Metode yang dapat digunakan untuk melakukan optimalisasi penggunaan energi dalam suatu proses adalah metode desain *pinch*. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Linnhoff dan Flower (1978) serta Linnhoff dan Hindmarsh (1983),

yang didasarkan pada prinsip-prinsip termodinamika untuk menentukan kebutuhan energi minimal melalui desain jaringan penukar panas. *Pinch analysis* merupakan metodologi yang menerapkan prinsip-prinsip ilmiah sederhana untuk merancang pabrik baru dengan mengurangi pemakaian energi dan biaya modal serta memodifikasi proses untuk meningkatkan kinerja (Jibril, M., dkk 2012). Hasil dari *pinch analysis* menjadi “topik hangat” sesaat setelah itu diperkenalkan. Keuntungan didapatkan melalui peningkatan integrasi proses, melalui desain jaringan penukar panas yang lebih elegan dan sederhana tanpa membutuhkan teknologi unit operasi yang maju (Kemp, I. C., dkk., 2007).

Melalui penelitian yang dilakukan oleh Mrayed, S., dkk. (2021) terhadap aplikasi dari *pinch analysis* pada *crude distillation unit*, hasilnya terdapat potensi penghematan energi sebesar 67,5 MW yang dapat dikurangi dari sebelumnya 148,6 MW pada beban proses pendinginan dan pemanasan. Melalui desain jaringan penukar panas yang baru, dengan penambahan alat penukar panas, mampu mengurangi beban energi pemanasan sebesar 9,3 MW dengan *payback period* hanya 3 tahun dan dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 1.079,6 kg/h. Jobson, M., dkk. (2013), melakukan *retrofit* desain jaringan penukar panas untuk *crude distillation unit*. Melalui hasil penelitiannya, penambahan satu unit alat penukar panas baru dapat menurunkan beban energi pemanasan sebesar 7,4 MW.

Dalam beberapa penelitian, perangkat lunak *aspen hysys* digunakan sebagai langkah pertama untuk mensimulasikan proses dan melakukan optimalisasi proses (Aspentech, 2021). Saadi, dkk. (2019) menggunakan *aspen hysys* untuk mensimulasikan proses produksi LPG untuk kebutuhan analisis eksergi pada unit fraksinasi. Bayoumi, dkk. (2020) secara detail mensimulasikan proses *saturated gas plant* dan melakukan optimalisasi dari total biaya produksi. *Aspen hysys* juga dapat dikombinasikan dengan metode analisis lain seperti analisis *pinch*. Zhang, dkk. (2021) mengkombinasikan *aspen hysys* dengan *pinch analysis* pada proses pemurnian gas alam dan mendapatkan hasil bahwa total konsumsi energi pada proses dapat dikurangi sebesar 41,5 % dibandingkan dengan kondisi *existing*.

Dalam kegiatan konservasi dan manajemen energi pada suatu industri berfokus pada mengendalikan konsumsi energi dengan tujuan agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal. Untuk dapat mengoptimalkan sistem energi yang ada pada pabrik pengolahan LPG, maka tindakan yang dapat dilakukan yaitu dengan menganalisis potensi penghematan energi pada keseluruhan proses dengan bantuan perangkat lunak *aspen hysys* dan *aspen energy analyzer*. *Aspen energy analyzer* merupakan perangkat lunak manajemen energi untuk mendapatkan desain jaringan penukar panas

yang optimal dan meminimalkan kebutuhan energi proses (Aspentech, 2021). Akhirnya, dari studi optimasi yang dilakukan terhadap jaringan penukar panas yang ada, kemudian dapat dihasilkan desain jaringan penukar panas yang baru yang dapat menurunkan tingkat konsumsi energi dan kebutuhan bahan pendukung untuk proses pemanasan dan pendinginan pada proses pengolahan LPG.

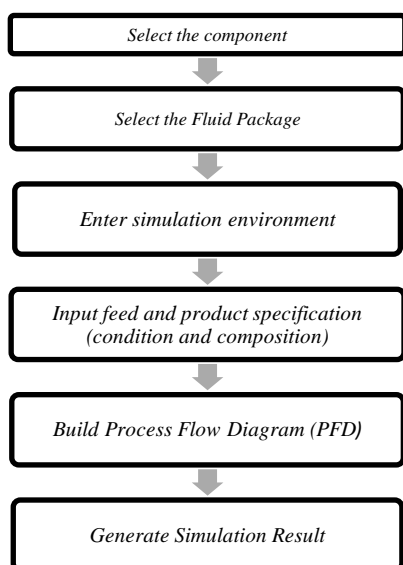
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada salah satu pabrik pengolahan LPG yang ada di Provinsi Sumatera Selatan, Indonesia. Data yang diambil berupa *master data* operasi aktual pabrik yang memuat informasi laju alir, tekanan, dan suhu dari setiap aliran proses dalam periode bulan Januari 2022. Data ini kemudian akan digunakan untuk membuat simulasi proses dari pabrik pengolahan LPG.

2.2. Pembuatan *Process Simulation* dengan Perangkat Lunak *Aspen Hysys*

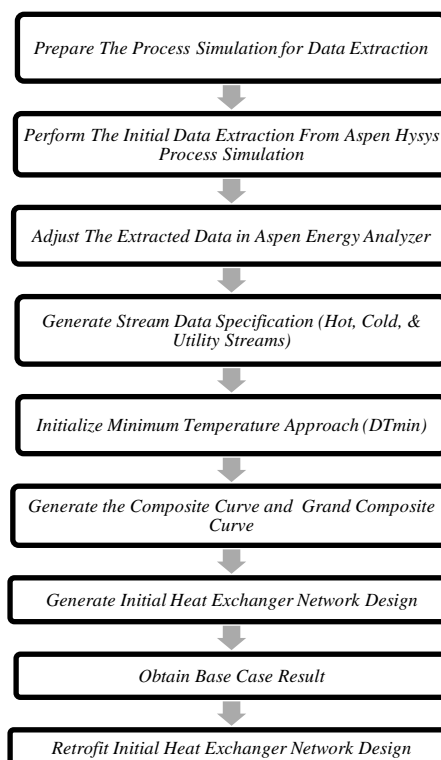
Perangkat lunak *aspen hysys v9* digunakan untuk membuat permodelan atau simulasi proses yang terjadi. Data profil aliran, temperatur suplai dan target pada setiap aliran, laju alir massa, komposisi umpan (*feed*) dan produk pada setiap aliran digunakan untuk memperoleh kapasitas panas spesifik dan entalpi dari aliran. Pembuatan model/simulasi dari proses pengolahan LPG menggunakan *aspen hysys v9* (35.0.0.270) dengan *SLM version* 2016.0.1.378 dengan tahapan pembuatan simulasi proses seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pembuatan simulasi proses menggunakan perangkat lunak *aspen hysys*.

2.3. Analisis dan *Retrofit* Jaringan Penukar Panas melalui *Pinch Analysis* menggunakan Perangkat Lunak *Aspen Energy Analyzer*

Proses ini melibatkan analisis terhadap desain jaringan penukar panas yang sudah ada untuk mengekstrak semua informasi yang diperlukan sehingga diperoleh desain *base case* untuk selanjutnya dianalisis menggunakan *software aspen energy analyzer v9* (35.0.0.270) dengan *SLM version* 2016.0.1.378 dan kemudian dilakukan proses *retrofit* sehingga akan menghasilkan *optimized case*. Adapun tahapan untuk melakukan analisis *pinch* dan *retrofit* ditunjukkan pada gambar 2:



Gambar 2. Tahapan *retrofit* jaringan penukar panas pada perangkat lunak *aspen energy analyzer*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Process Simulation: LPG Refinery Plant Base Case*

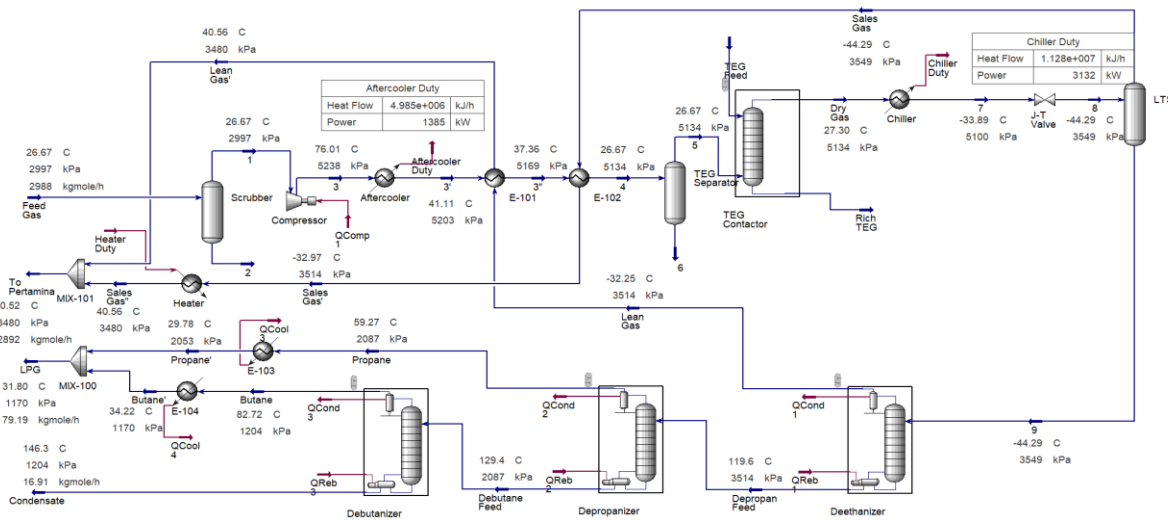
Simulasi proses dibutuhkan untuk menggambarkan keseluruhan proses yang terjadi pada pabrik pengolahan LPG. Dengan adanya simulasi proses, maka seorang *process engineer* dapat dengan mudah mengidentifikasi setiap kemungkinan untuk dapat melakukan optimalisasi pada aspek 3E yaitu *Energy, Economic, and Environment* (Yandrapu dan Kanidarapu, 2022). *Process Flow Diagram (PFD)* dari pabrik pengolahan LPG yang dihasilkan dari simulasi dengan menggunakan *software aspen hysys v9* dapat dilihat pada gambar 3. *PFD* tersebut merupakan desain proses yang ada saat ini atau disebut dengan *base case* dari pabrik pengolahan LPG yang

kemudian selanjutnya dilakukan analisis. Dari *PFD* tersebut dapat dilihat bahwa terdapat sejumlah peralatan proses yang terlibat seperti *vessels*, *heater*, *cooler*, *heat exchanger*, *fractionation column*, dll dimana dalam *pinch analysis* yang menjadi fokus utamanya adalah *cooler*, *heater*, dan *heat exchanger*.

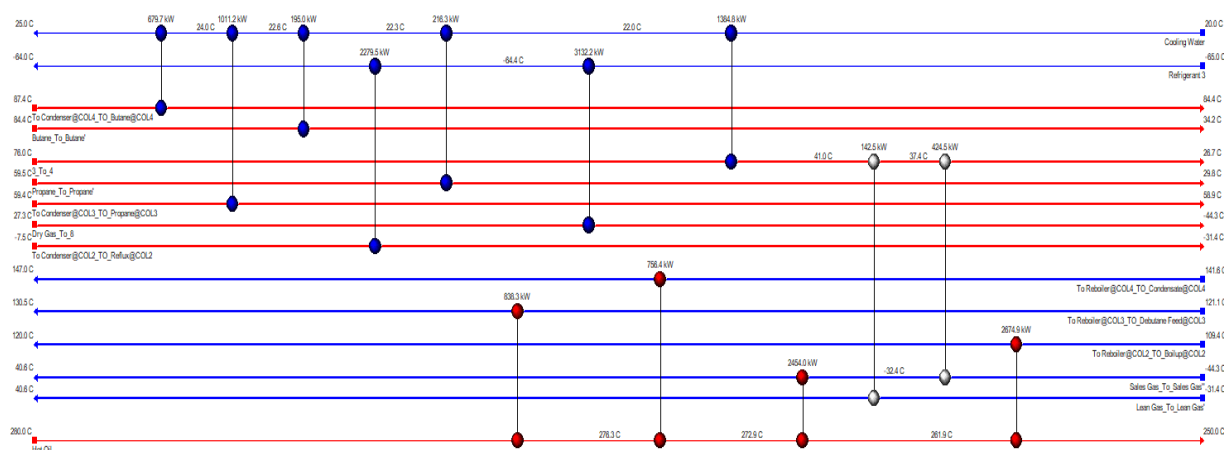
3.2 Thermal Data Extraction

Thermal data extraction bertujuan untuk mengekstrak semua data termal yang terdapat pada setiap aliran proses yang dibutuhkan untuk *pinch analysis* (Linnhoff, 1998). Data termal ini berhubungan dengan informasi suhu masuk dan keluar aliran serta nilai energi yang ada pada proses pengolahan LPG. *Aspen energy analyzer v9* akan mengidentifikasi, memproses, serta melakukan integrasi panas terhadap data termal yang sudah

diekstrak untuk kemudian ditampilkan dalam diagram jaringan penukar panas yang akan menunjukkan aliran proses atau aliran utilitas mana yang memasuki ataupun meninggalkan alat penukar panas yang diberikan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4. Dari hasil ekstraksi, didapatkan informasi yang berkaitan dengan jaringan penukar panas yang ada seperti *network performance*. *Network performance* memberikan informasi mengenai performa jaringan penukar panas terkait total beban energi yang dibutuhkan untuk proses pemanasan dan pendinginan pada kondisi desain tersebut. Selain itu, juga didapatkan potensi penghematan energi yang masih dapat diraih melalui optimalisasi desain jaringan penukar panas menggunakan *pinch analysis* yang ditandai dengan % *target* seperti yang terlihat pada tabel 1.



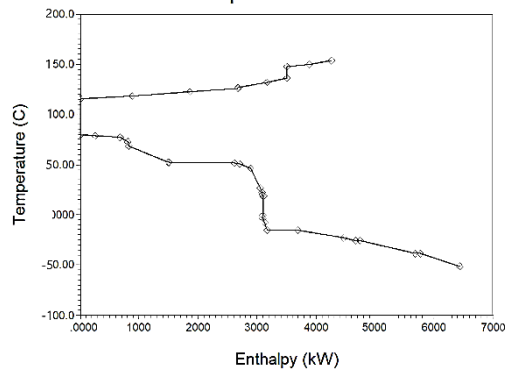
Gambar 3. Hasil simulasi proses Base Case LPG Refinery Plant



Gambar 4. Base case diagram jaringan penukar panas.

Tabel 1. Network performance dari base case

	Base Case	% Target	Target
Heating (kW)	6.724	157,5	4.270
Cooling (kW)	8.899	138,1	6.445
Number of Units	13	81,25	16
Number of Shells	14	107,7	13
Total Area (m ²)	897,7	49,18	1.825,3

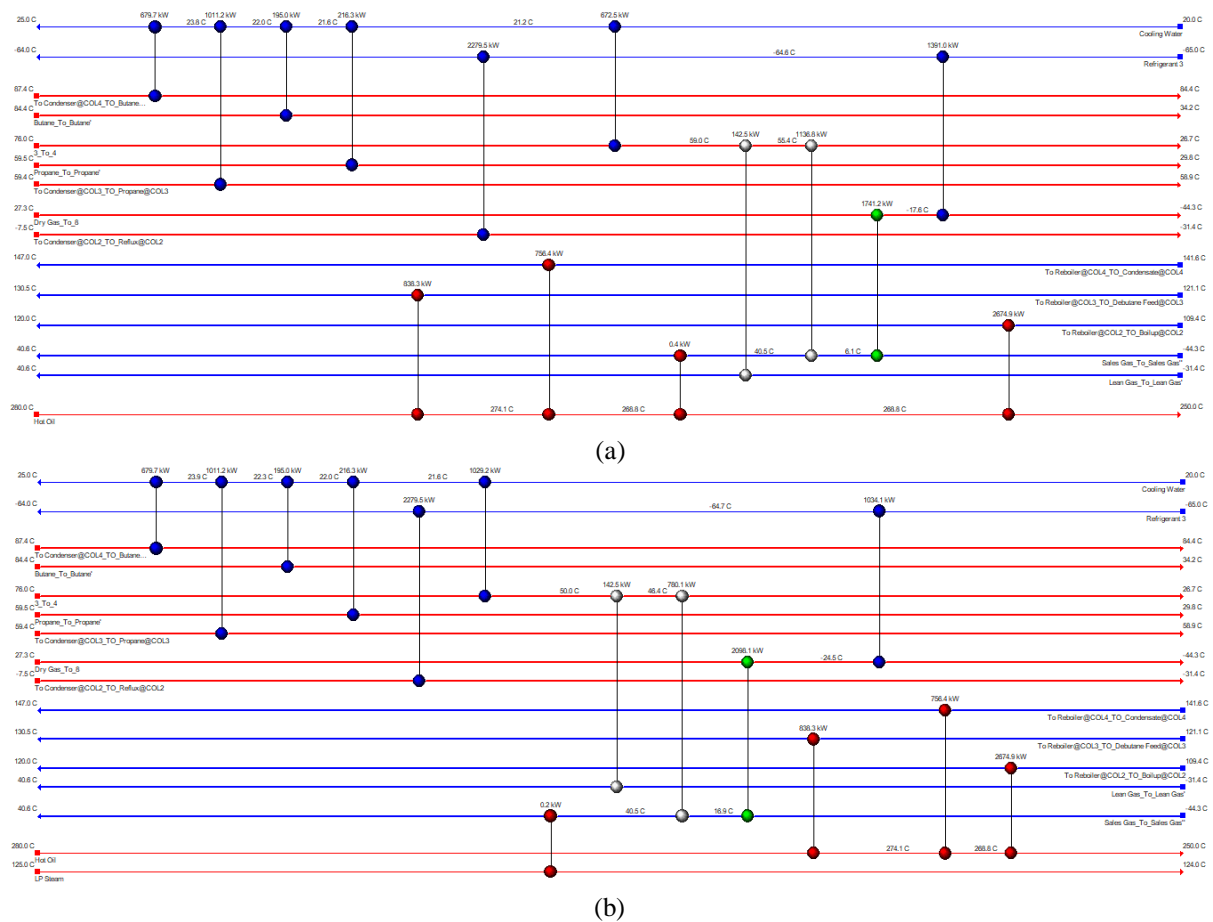


Gambar 5. Grand Composite Curve

Berdasarkan nilai dari % target, maka diketahui bahwa untuk nilai beban pemanasan senilai 157,5. Artinya, beban pemanasan saat ini berlebih dan dapat dikurangi sebanyak 57,5 % dari 6.724 kW menjadi 4.270 kW sedangkan untuk beban pendinginan, dapat dikurangi sebanyak 38,1 % dari 8.899 kW menjadi 6.445 kW. Terjadinya penurunan jumlah energi pada beban pemanasan dan pendinginan sesuai dengan target penurunan berarti proses tersebut telah mencapai *Minimum Energy Requirement (MER)* dan terjadi penghematan energi pada proses tersebut. *Grand Composite Curve* dari jaringan penukar panas yang optimal ditunjukkan oleh gambar 5.

3.3 Hasil Retrofit Desain Jaringan Penukar Panas

Proses optimalisasi desain jaringan penukar panas dengan menggunakan *aspen energy analyzer v9* diawali dengan masuk ke mode *retrofit*. Desain *retrofit* lebih umum digunakan untuk proyek industri dibandingkan dengan desain *grass-root* (Jarusarn, P., dkk, 2013). Menurut Alhajri, dkk. (2021), bertahun-tahun, peneliti berfokus untuk menginvestigasi *retrofit* dan mengoptimalkan desain jaringan penukar panas. Klemes, dkk. (2018) memberikan review yang komprehensif terkait dengan riset-riset *pinch analysis*.



Gambar 6. Retrofit Jaringan Penukar Panas dengan penambahan heat exchanger. Optimized case 1 (a) dan Optimized case 2 (b)

Dengan mode *retrofit*, dengan leluasa dapat dilakukan modifikasi terhadap desain jaringan penukar panas yang ada hingga nanti didapatkan desain jaringan yang lebih optimal, efektif, dan efisien (Aspentech, 2009). Ada beberapa pilihan modifikasi yang dapat dilakukan yaitu seperti *modifying utility exchanger*, *resequencing heat exchanger*, *repiping heat exchanger*, dan *adding heat exchanger*. Pada studi ini, pilihan modifikasi yang dipilih yaitu dengan menambahkan penukar panas (*add a heat exchanger*). Dari beberapa percobaan penambahan alat penukar panas, akhirnya didapatkan 2 desain baru untuk jaringan penukar panas seperti yang ditunjukkan oleh gambar 6. Penambahan alat penukar panas yang baru ditunjukkan oleh warna hijau.

3.4 Membandingkan Desain Jaringan Penukar Panas Baru

Retrofit desain jaringan penukar panas yang dilakukan menggunakan *aspen energy analyzer v9* yang menghasilkan desain jaringan penukar panas baru kemudian dibandingkan. Desain yang optimal, dimana pengurangan konsumsi energi dari utilitas dapat tercapai, penghematan biaya operasi, jangka waktu *Return on Investment (ROI)*, *Equipment Index Cost*, dll (Corredor, 2012). *Performance summary* dari kedua jaringan penukar panas tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Nilai *base case* pada beban pemanasan dan pendinginan merupakan total nilai keseluruhan dari beban yang ada pada *heater* (pemanas) maupun *cooler* (pendingin) pada kondisi *existing*. Sedangkan nilai target adalah nilai teoritis yang merepresentasikan nilai *minimum energy requirement* dari jaringan penukar panas. Target energi merupakan jumlah minimum utilitas yang dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan aliran proses (Papoulias dan Grossmann, 1983). Dari perbandingan, dapat dilihat bahwa kedua desain jaringan penukar panas yang baru yaitu *optimized case 1* dan *optimized case 2* tersebut mampu mencapai target *Minimum Energy Requirement (MER)*. Keduanya mampu mengurangi beban pemanasan dari yang awalnya 6.724 kW pada desain *base case* menjadi 4.270 kW atau berhasil mengurangi kelebihan pemakaian energi sebesar 2.454 kW sedangkan untuk beban pendinginan berhasil dikurangi dari 8.899 kW pada desain *base case* menjadi 6.445 kW. Kedua desain jaringan penukar panas yang baru tersebut sama-sama membutuhkan penambahan *shells* pada konfigurasi alat penukar panas untuk dapat mencapai target dari beban pemanasan dan pendinginan. Untuk desain *optimized case 1* membutuhkan jumlah *shell* sebanyak 16 yang artinya terdapat penambahan 3 *shell* baru dari nilai *shell* minimum. Sedangkan untuk desain *optimized case 2* membutuhkan jumlah *shell* sebanyak 19 yang artinya terdapat penambahan

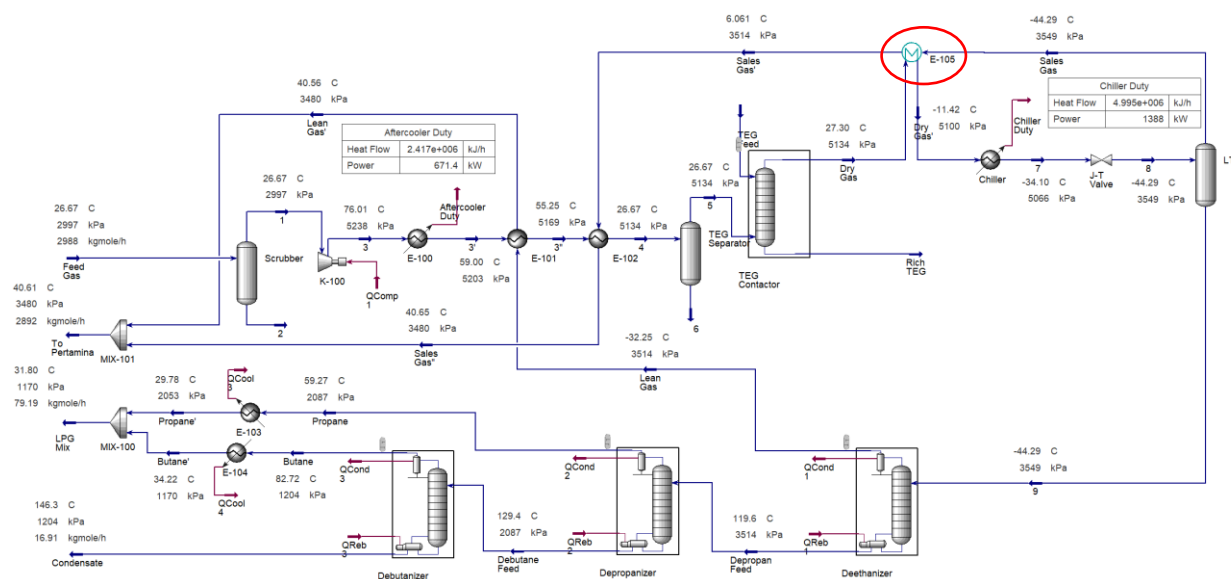
6 *shell* baru dari nilai *shell* minimum. Penambahan *shell* ini tentu akan mempengaruhi biaya investasi dari kedua desain jaringan penukar panas tersebut.

Selanjutnya, kedua desain dibandingkan dari kriteria lain seperti estimasi nilai *capital investment*, pengurangan biaya operasi, dan durasi *payback* dari desain. *Payback* merupakan lama waktu yang dibutuhkan oleh penghematan biaya operasi untuk memotong pengeluaran biaya modal yang dikeluarkan untuk mengimplementasikan desain baru yang telah dioptimasi, atau dengan kata lain ketika penghematan biaya operasi menjadi keuntungan bagi operasi dari proses pengolahan LPG. Jika dibandingkan, *optimized case 1* memiliki nilai estimasi *capital investment* yang lebih kecil dibandingkan dengan *optimized case 2*. Hal ini disebabkan karena nilai area penukar panas yang jauh lebih kecil. Semakin besar penambahan area penukar panas (ukuran dan jumlah *shell*) artinya biaya yang dikeluarkan juga akan semakin besar. Dilihat dari sisi penghematan biaya operasi, *optimized case 1* juga memiliki estimasi penghematan yang lebih besar, sehingga apabila dibandingkan dengan nilai *capital investment* yang dikeluarkan oleh masing-masing desain, maka *optimized case 1* memiliki *payback period* yang lebih kecil yaitu hanya 0,586 tahun. Dengan demikian, *optimized case 1* dapat menjadi desain jaringan penukar panas yang baru yang lebih optimal dalam penggunaan energi pada pabrik pengolahan LPG.

Simulasi proses dari desain jaringan penukar panas *optimized case 1* ditunjukkan oleh gambar 7. Penambahan alat penukar panas yang baru pada aliran *dry gas* sebelum masuk ke *chiller*, dimana terlihat aliran *dry gas* dan *sales gas* masuk sebagai *input* ke E-105 dan keluar sebagai aliran *dry gas'* dan *sales gas'* ditandai dengan tanda petik, Penambahan E-105 pada aliran tersebut terbukti dapat mengurangi beban kerja dari *chiller* tersebut dari sebelumnya 3.132 kW menjadi 1.388 kW atau sebesar 55,68 %. Artinya, beban pendinginan yang dibutuhkan oleh *chiller* yang dipenuhi oleh *propane refrigerant* dapat dikurangi sehingga terjadi penghematan baik dari sisi energi dan juga biaya operasi dari *propane refrigerant system*. Dengan memanfaatkan pertukaran panas antara aliran *dry gas* dan *sales gas* yang terjadi pada *heat exchanger* E-105, maka penggunaan *heater* pada aliran *sales gas* dapat dihilangkan karena temperatur *sales gas* telah mencapai temperatur yang diinginkan yaitu sekitar 105 °F atau 40,65 °C sehingga dapat mengurangi penggunaan energi sebesar 2.455 kW. Dengan demikian, total sebesar 31,41 % atau 4.908 kW penggunaan energi dapat diturunkan dan kondisi *minimum energy requirement* dari pengolahan LPG dapat dicapai melalui desain jaringan penukar panas *optimized case 1*.

Tabel 2. Perbandingan *performance summary* dari *optimized case 1* dan *optimized case 2*

	Base Case	Target	Optimized Case 1	Optimized Case 2
Heating Load (kW)	6.724	4.270	4.270	4.270
Cooling Load (kW)	8.899	6.445	6.445	6.445
Area (m ²)	897,7	2.150	1.941	3.135
New Area (m ²)	-	-	1.359	2.575
Number of Shell	14	13	16	19
New Shell	-	-	3	6
Estimated Capital Investment (\$)	-	-	350.900	651.000
Estimated Operating Savings (\$/year)	-	-	598.600	538.600
Estimated Payback Period (year)	-	-	0,586	1,21



Gambar 7. Hasil simulasi proses dengan jaringan penukar panas *Optimized Case 1*

4. KESIMPULAN

Dari hasil studi ini, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi sistem energi yang dilakukan terhadap proses pengolahan LPG dengan menggunakan *pinch analysis*, terdapat potensi penghematan energi total pada beban pemanasan dan pendinginan sebesar 31,41 %. Melalui *retrofit* yang dilakukan terhadap *base case* dari proses pengolahan LPG yang ada, dihasilkan dua *optimized case* dimana kedua *optimized case* tersebut sama-sama mampu mencapai target penurunan beban energi sebesar 31,41 %. Dilihat dari perbandingan nilai *estimated operating saving*, *estimated capital investment*, dan *estimated payback period*, desain pada *optimized case 1* memberikan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan *optimized case 2* sehingga dengan demikian desain *optimized case 1* dapat menjadi desain jaringan penukar panas baru yang mampu mengoptimalkan sistem energi pada proses pengolahan LPG.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak menerima hibah pendanaan apapun baik dari lembaga pendanaan sektor publik, komersial, ataupun nirlaba. Ucapan terimakasih ditujukan kepada PT. Surya Esa Perkasa, Tbk yang pabrik pengolahan LPG nya menjadi objek penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhajri, I.H., Gadalla, M.A., Elazab, H.A., 2021. A Conceptual Efficient Design of Energy Recovery Systems Using a New Energy-Area Key Parameter. *Energy Reports*, 7: 1079-1090. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.12.023>.
- Aspentech, 2021. Aspen Hysys - Process Simulation Software, Aspen Technology Inc., <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-hysys> (accessed 01.04.22)
- Aspentech, 2021. Aspen Energy Analyzer, Aspen Technology Inc.,

- <https://www.aspentech.com/en/products/pages/aspens-energy-analyzer> (accessed 01.04.22)
- Aspentech, 2009. Aspen Energy Analyzer – Tutorial Guide, Aspen Technology Inc.,
- Bayoumy, S.H, El-Marsafy, S.M, Ahmed, T.S, 2020. Optimisation of a Saturated Gas Plant: Meticulous simulation-based optimisation – A Case Study. *J. Adv. Res*, 22: 21–30
- Corredor, A.F.S., 2012. Heat Exchanger Network Optimization Using Integrated Specialized Software from AspenTech and GAMS Technology, *Int. Conf. on Eng. Opt.*
- Ibrahim, A., Ashour, F., Gadalla, M., 2021. Refining Plant Energy Optimization. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5): 4593-4606. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.064>.
- IEA, 2021. World Energy Balances: Overview, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview> (accessed 01.04.22)
- Jarusarn, P., Angsutorn, N., Chuvaree, R., Iyara, N., Siemanond, K., 2013. Heat Exchanger Network Improvement on Gas Separation Plant (GSP6) in Thailand. *Chemical Engineering Transactions*, 32: 1423-1428. <https://doi.org/10.3303/CET1332238>
- Jibril, M., Auta, M., Abubakar, A., 2012. Energy Integration of Catalytic Reforming Unit (CRU) Using Pinch Analysis. *Adv. Appl. Sci. Res*, 3(3): 1319–1326
- Jobson, M., Ochoa-Estopier, L., Smith, R., 2013. Retrofit of Heat Exchanger Networks for Optimizing Crude Oil Distillation Operation. *Chemical Engineering Transactions*, 35: 133-138. <https://doi.org/10.3303/CET1335022>
- Kemp, C., Ian, 2007. Pinch Analysis and Process Integration-A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, Second Ed. Oxford, United Kingdom
- Klemes, J.J., Wang, W., Varbanov, P.S., Zeng, M., Chin, H.H., Lal, N.S., Li, N.Q., Wang, B., Wang, X.C., Walmsley, T.G., 2020. Heat Transfer Enhancement, Intensification, and Optimisation in Heat Exchanger Network Retrofit and Operation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120: 109644-109674. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109644>.
- Klemes, J.J., Varbanov, P.S., Walmsley, T.G., Jia, X., 2018. New Directions in The Implementation of Pinch Methodology (PM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98: 439-468. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.030>.
- Linnhoff, B., Flower, J.R., 1978. Synthesis of Heat Exchanger Networks: I. Systematic Generation of Energy Optimal Network. *AIChE. J.*, 24(4): 633-642. <https://doi.org/10.1002/aic.690240411>.
- Linnhoff, B., Flower, J.R., 1978. Synthesis of Heat Exchanger Networks: II. Evolutionary Generation of Networks with Various Criteria of Optimality. *AIChE. J.*, 2(4): 642-664. <https://doi.org/10.1002/aic.690240412>.
- Linnhoff, B., Hindmarsh, E., 1983. The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks. *Chemical Engineering Science*, 38(5): 745-763. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(83\)80185-7](https://doi.org/10.1016/0009-2509(83)80185-7)
- Linnhoff, M., 1998., Introduction to Pinch Technology. Cheshire, England
- Papoulias, S.A., Grossmann, I.E., 1983. A Structural Optimisation Approach in Process Synthesis – II Heat Recovery Networks. *Comp. Chem. Engng*, 7(6): 707–721. [https://doi.org/10.1016/0098-1354\(83\)85023-6](https://doi.org/10.1016/0098-1354(83)85023-6)
- Saadi, T., Jeday, M.R, Jaubert, J.N, 2019. Exergetic analysis of an LPG Production Plant Using Hysys Software. *Energy Procedia*, 157: 1385–1390
- Yandrapu, V.P., Kanidarapu, N.R., 2022. Energy, Economic, Environment Assessment and Process Safety of Methylchloride Plant Using Aspen Hysys Simulation Model. *Digital Chemical Engineering* 3: 100019 <https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100019>
- Zhang, Y., Wang, B., Liang, Y., Yuan, M., Varbanov, P.S., Klemes, J.J., 2021. A Method for Simultaneous Retrofit of a heat exchanger networks and tower operations for an existing natural gas purification process. *E-prime – Adv. In Electrical Eng, Electronics, and Energy*, 1: 100019 <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100019>