

Perancangan Algoritma Komputasi Heat Exchanger Network (HEN)

Arini Puspita Ramadhanti¹, Zuchra Helwani², dan Hari Rionaldo³

Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses

Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Binawidya Km. 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

*Email : ar1NI30aNg3Ls@gmail.com

ABSTRACT

Heat integration is a method used to increase energy efficiency in a circuit that process with utilizing the energy potential of other process units. The utilization of the energy potential of other process units can be done with the installation of the Heat Exchanger Network (HEN) which aims to save usage utility either steam or cooling water, so that the production cost can be minimized. Design HEN need analysis, start from the analysis of the minimum energy efficient in a network that is calculate the Maximum Energy Recovery (MER) targets, design heat exchanger network system that is network design. In this research, the MER calculation using the temperature interval and network design using the pinch method. Goals at this research is to generate algorithm computation and tools computation for design HEN. Algorithm computation of MER calculation with temperature interval method consist of input, problem table computation, cascade diagram computation and output. Algorithm computation of network design with pinch method consist of identification the flow on hot side and cold side, identification stream matching at hot side and cold side, calculation of heat (Q) of heat exchangers, analysis heat (Q) of heat exchanger, and analysis hot utility (Q_H), cold utility, and (Q_C) dan ΔT . At MER calculation was obtained minimum hot utility (Q_{hmin}), minimum cold utility (Q_{cmin}), and pinch temperature (T_{pinch}). Sythesis HEN was displayed in Grid Diagram. Design algorithm of computation was simulated by Java programming that is displayed by Graphical User Interface (GUI).

Kata kunci : *heat integration, Heat Exchanger Network (HEN), Maximum Energy Recovery (MER), network design, pemoraman Java.*

1. Pendahuluan

Heat integration merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan efesiensi energi pada suatu rangkaian proses yaitu dengan memanfaatkan potensi energi dari unit proses lainnya. Pemanfaatan potensi energi dari unit proses lainnya dapat dilakukan dengan pemasangan jaringan alat

penukar panas *Heat Exchanger Network* (HEN). *Heat Exchanger Network* (HEN) merupakan suatu cara pemanfaatan panas yang tersedia dalam suatu proses dengan pertukaran antara aliran panas (sebagai sumber panas) dan aliran dingin (sebagai penyerap panas), sehingga dapat menghemat

penggunaan utilitas baik berupa *steam* maupun air pendingin, dan biaya produksi dapat diminimalisasi [Ahmad dkk., 2010].

Sintesis HEN yang dihasilkan pada penelitian ini semaksimal mungkin dapat mendekati nilai *Maximum Energy Recovery* (MER) target. Perancangan HEN terdiri dari menghitung *Maximum Energy Recovery* (MER) target, dan merancang sistem jaringan penukar panas yaitu *network design*. Perhitungan MER merupakan perhitungan untuk menentukan kebutuhan utilitas minimum dalam suatu jaringan. Pada perhitungan MER ditentukan kebutuhan utilitas panas minimum ($Q_{H\min}$) dan kebutuhan utilitas dingin minimum ($Q_{C\min}$) serta temperatur *pinch* (T_{pinch}). Metode perhitungan MER yang digunakan pada penelitian ini adalah metode temperatur interval. Metode temperatur interval merupakan metode penentuan utilitas minimum pada perancangan HEN berdasarkan interval suhu aliran dengan pendekatan suhu minimum dalam heat exchanger [Seider dkk., 2009].

Setelah menghitung nilai MER target, selanjutnya merancang jaringan penukar panas *network design*. *Network design* pada penelitian ini menggunakan *pinch method*. *Pinch method* merupakan suatu metodologi yang didasarkan pada prinsip – prinsip termodinamika untuk mengurangi pemakaian energi pada suatu proses secara keseluruhan berdasarkan temperatur *pinch*. *Pinch* mendefinisikan *driving force* minimum yang diperbolehkan dalam unit *heat exchanger*. *Network design* dilakukan dengan membagi aliran menjadi

dua bagian pada temperatur *pinch*. Jaringan dirancang di atas dan di bawah *pinch* yang dimulai dari *pinch*. *Stream matching* antara aliran proses panas dan aliran proses dingin serta tugas penukar panas ditentukan dengan menggunakan *heuristic* untuk meminimalkan jumlah unit dan memaksimalkan *heat recovery* [Smith , 2005].

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan algoritma komputasi perancangan HEN dan menghasilkan *tools* komputasi perancangan HEN, sehingga hasil dari penelitian ini dapat dijadikan *tools* komputasi untuk mempelajari perancangan HEN.

II. Metodologi Penelitian

2.1 Alat yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah komputer windows 7 dengan pemrograman Java.

2.2 Prosedur Perancangan Algoritma Komputasi

2.2.1 Perhitungan *Maximum Energy Recovery* (MER).

Algoritma perhitungan MER dengan metode temperatur interval yang terdapat secara umum terdiri dari *input* data, perhitungan *problem table*, perhitungan *cascade diagram* dan *output*.

Langkah pertama adalah *input* data. Data yang diinput adalah data tiap aliran yaitu suhu sumber (T_s), suhu target (T_t) dan *heat capacity flow rate* (C). *heat capacity flow rate* (C) merupakan hasil perkalian antara *mass flow rate* dengan *heat capacity* ($m.c_p = C$) serta perbedaan suhu minimum

($\Delta T_{\min}$). Setelah *input* data, langkah selanjutnya adalah perhitungan *problem table*. Perhitungan *problem table* bertujuan untuk mengetahui perubahan entalpi tiap interval i (ΔH_i). Perhitungan *problem table* terdiri dari pengurangan suhu pada aliran panas dengan $\Delta T_{\min}$, *ascending sorting temperature* yaitu pengurutan suhu aliran dari suhu tertinggi ke suhu terendah. Suhu yang diurutkan adalah suhu aliran panas yang sudah dikurangi $\Delta T_{\min}$ dan suhu aliran dingin. Perhitungan ΔT_i merupakan selisih dari suhu $T_{\text{sort } i}$ dengan suhu $T_{\text{sort } i+1}$. Perhitungan $(\sum C_h - \sum C_c)_i$.

$\sum C_h$ merupakan penjumlahan *heat capacity flow rate* (C) aliran panas yang terlibat pada interval suhu i (ΔT_i). $\sum C_c$ merupakan penjumlahan *heat capacity flow rate* (C) aliran dingin yang terlibat pada interval suhu i (ΔT_i). Langkah terakhir pada perhitungan *problem table* adalah menghitung perubahan entalpi tiap interval i (ΔH_i). Persamaan untuk menghitung perubahan entalpi pada tiap interval i (ΔH_i) menggunakan persamaan (1).

$$\Delta H = \Delta T_i \cdot (\sum C_h - \sum C_c)_i \quad (1)$$

Setelah perhitungan *problem table* langkah selanjutnya adalah perhitungan *cascade diagram*. Langkah perhitungan *cascade diagram* terdiri dari perhitungan arus energi antara interval i dan penentuan nilai MER target.

Perhitungan awal arus energi antara interval i , suhu tertinggi diasumsikan bahwa tidak ada energi yang dialirkan dari aliran

panas seperti *steam*, sehingga $Q_{\text{steam}} = 0$. Residual energi pada interval 1 (R_1) merupakan penjumlahan energi antara Q_{steam} dengan energi pada ΔH_1 , residual energi pada interval 2 (R_2) adalah penjumlahan residual energi pada interval 1 (R_1) dengan energi pada ΔH_2 . Untuk perhitungan residual energi selanjutnya sampai nilai Q_{cw} adalah penjumlahan residual energi R_{i-1} dengan ΔH_i .

Arus energi antara interval i harus memenuhi hukum termodinamika kedua yaitu tidak ada nilai residual energi yang negatif, karena panas tidak dapat mengalir dari suhu rendah ke suhu tinggi [Seider dkk., 2009]. Apabila pada perhitungan awal arus energi antara interval i terdapat residual energi yang negatif, maka pada suhu tertinggi ditambahkan energi yaitu ditambahkan energi sebesar nilai residual energi terkecil atau residual energi negatif yang paling besar.

Apabila hukum termodinamika kedua sudah terpenuhi yaitu tidak ada residual energi yang negatif, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai MER target yang harus dipenuhi pada *Heat Exchanger Network* (HEN) yaitu kebutuhan utilitas panas minimum ($Q_{H\min}$) dan kebutuhan utilitas dingin minimum ($Q_{C\min}$) serta temperatur (T_{pinch}). Suhu $T_{\text{sort } i}$ saat $R_i = 0$ merupakan $T_{\text{pinch cold}}$, dan $T_{\text{pinch hot}}$ adalah $T_{\text{pinch cold}} + \Delta T_{\min}$. Kebutuhan utilitas panas minimum ($Q_{H\min}$) adalah arus energi pada suhu tertinggi yaitu (Q_{steam}) dan kebutuhan

utilitas dingin minimum yaitu (Q_{Cmin}) adalah arus energi pada suhu terendah (Q_{cw}).

2.2.2 Network design

Algoritma *network design* menggunakan *pinch method* yang terdapat terdiri dari identifikasi *stream matching* pada *hot side* dan *cold side*, perhitungan panas (Q) tiap unit *heat exchanger*, analisa panas (Q) *heat exchanger* dan analisa kebutuhan utilitas panas (Q_H), kebutuhan utilitas dingin (Q_C) dan ΔT .

Langkah pertama pada *network design* adalah membagi aliran menjadi dua bagian yaitu *hot side* dan *cold side*. Kemudian mengidentifikasi aliran yang terdapat pada *hot side* dan *cold side*. Aliran yang terdapat pada *hot side* adalah aliran yang suhunya lebih besar dari T_{pinch} . Dan aliran yang terdapat pada *cold side* adalah aliran yang suhunya lebih kecil dari T_{pinch} . Setelah mengetahui aliran – aliran yang terdapat pada *hot side* dan *cold side*, langkah selanjutnya adalah menghitung panas (Q) aliran yang terdapat pada *hot side* dan *cold side*. Persamaan untuk menghitung panas (Q) aliran pada *hot side* dan *cold side* menggunakan persamaan (2) dan (3).

a. Pada aliran panas

$$Q = C_h \cdot (T_{hi} - T_{ho}) \quad (2)$$

b. Pada aliran dingin

$$Q = C_c \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad (3)$$

Langkah selanjutnya adalah identifikasi *stream matching* pada *hot side* dan *cold side*. Identifikasi *stream matching* merupakan tahapan untuk mengidentifikasi

aliran – aliran yang dapat dipertukarkan panasnya atau tahapan untuk mengidentifikasi jaringan penukar panas yang dihasilkan. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui unit – unit *heat exchanger* yang dapat dihasilkan.

Syarat suatu aliran dapat dipertukarkan adalah

- Pada *hot side*

$$C_c \geq C_h \text{ dengan } \Delta T_2 \geq \Delta T_{min}$$

- Pada *cold side*

$$C_h \geq C_c \text{ dengan } \Delta T_1 \geq \Delta T_{min}.$$

Setelah mengetahui unit *heat exchanger* yang dihasilkan, langkah selanjutnya adalah menghitung panas (Q) tiap unit *heat exchanger*. Perhitungan panas (Q) tiap unit *heat exchanger* menggunakan persamaan (2) dan (3). Langkah selanjutnya adalah menganalisa panas (Q) pada *heat exchanger* apakah sudah mencapai panas (Q) tiap aliran pada *hot side* dan *cold side*. Apabila panas (Q) *heat exchanger* sudah mencapai panas (Q) dari tiap aliran, maka proses dilanjutkan ke proses selanjutnya. Apabila belum tercapai, maka ditambahkan utilitas pada aliran tersebut yaitu penambahan *cooler* pada aliran panas dan penambahan *heater* pada aliran dingin.

Selanjutnya analisa kebutuhan utilitas panas (Q_H), kebutuhan utilitas dingin (Q_C) dan ΔT . Pada tahap ini, rancangan HEN yang dihasilkan dianalisa apakah sudah mendekati nilai MER target. Apabila $\Delta T \geq \Delta T_{min}$, $Q_C \geq Q_{Cmin}$, $Q_H \geq Q_{Hmin}$, maka perancangan HEN dapat diterima karena sintesis HEN yang dihasilkan sudah mendekati nilai MER target dan proses selesai. Apabila $\Delta T \geq \Delta T_{min}$, $Q_C \geq Q_{Cmin}$,

$Q_H \geq Q_{H_{min}}$ tidak terpenuhi, maka proses kembali ke tahap identifikasi *stream matching*, untuk diidentifikasi *stream matching* lainnya sehingga didapat rancangan HEN yang mendekati nilai MER target.

2.2.3 Implementasi

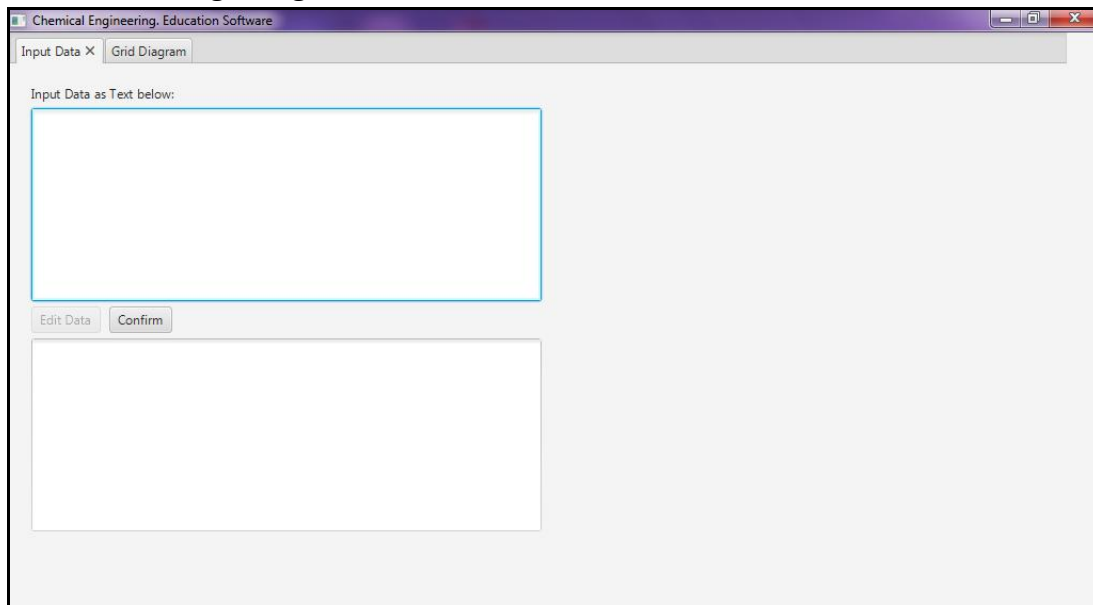
Simulasi perhitungan *Maximum Energy Recovery* (MER) dan *network design* pada penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Java. Untuk memudahkan *input* data dan *output*, maka simulasi pada penelitian ini ditampilkan dalam bentuk *Graphical User Interface* (GUI).

III. Hasil dan Pembahasan

Perancangan algoritma komputasi HEN meliputi perancangan algoritma komputasi untuk menghitung nilai *Maximum*

Energy Recovery (MER) target, perancangan algoritma komputasi untuk *network design*, serta aplikasi algoritma komputasi dalam pemrograman Java. Algoritma komputasi perancangan HEN pada penelitian ini diasumsikan hanya untuk perubahan suhu yaitu untuk panas *sensible* dan tidak ada perubahan fasa atau panas *latent*, serta *heat capacity flow rate* bukan merupakan fungsi temperatur atau *heat capacity flow rate* tidak bervariasi terhadap temperatur.

Algoritma perancangan HEN telah berhasil disimulasikan dengan bahasa pemrograman Java dan ditampilkan dalam bentuk *Graphical User Interface* (GUI). Tampilan GUI program perancangan HEN terdapat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Tampilan GUI Program Perancangan HEN

Gambar 3.1 merupakan GUI program perancangan HEN yang dihasilkan pada penelitian ini, yang terdiri dari dua tab. Tab 1 merupakan tab untuk *input* data yang terdiri atas dua *text* area. *Text* area yang pertama merupakan *text* area untuk *input* data yaitu data tiap aliran (T_s , T_t , C) serta ΔT_{min} . *Text* area yang kedua merupakan *text* area untuk *output* dari perhitungan MER yaitu $Q_{H\ min}$, $Q_{C\ min}$, $T_{pinch\ hot}$ dan $T_{pinch\ cold}$ serta *output* dari *network design* yaitu *steam matching* atau *heat exchanger* dan utilitas yang dihasilkan beserta *heat load* yaitu panas (Q) dari *steam match* atau *heat exchanger* dan utilitas tersebut. Tab yang kedua merupakan tab untuk grid diagram dari sintesis HEN yang dihasilkan. Program perancangan HEN yang dihasilkan pada penelitian ini, dapat diaplikasikan untuk perancangan HEN dengan jumlah aliran yang tidak terbatas.

Untuk membuktikan bahwa program yang sudah dibuat adalah benar dan dapat digunakan, maka dilakukan validasi program. Cara memvalidasi program yang sudah dibuat adalah menjalankan program

dengan perancangan HEN yang telah ada dan membandingkan hasil sintesis HEN – nya. Pada penelitian ini, pengujian program dilakukan dengan rancangan HEN yang terdapat pada Seider 3rd edition yaitu *case study* berikut.

Case Study

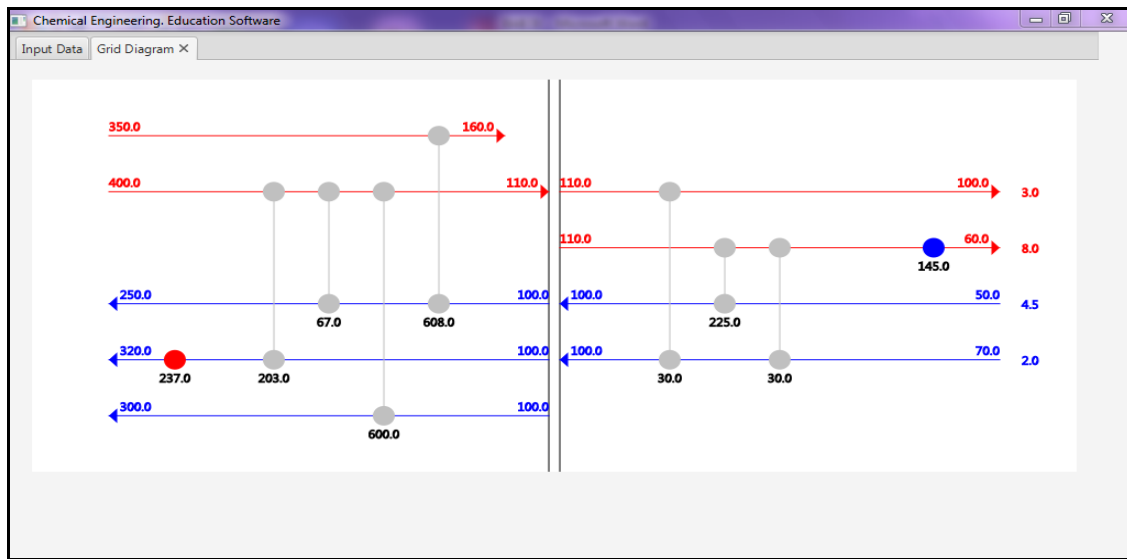
Tiga aliran panas H1, H2, dan H3 akan didinginkan dan tiga aliran dingin C1, C2, dan C3 akan dipanaskan tanpa perubahan fasa. $\Delta T_{min} = 10^\circ C$. Kondisi dari aliran terdapat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Data Aliran

<i>Stream</i>	T^s ($^\circ C$)	T^t ($^\circ C$)	$C(kW/^\circ C)$
H1	350	160	3,2
H2	400	100	3
H3	110	60	8
C1	50	250	4,5
C2	70	320	2
C3	100	300	3

Sumber : Seider dkk [2009]

Case study ini dijalankan pada program, dan menghasilkan sintesis HEN yan terdapat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Grid Diagram Hasil Sintesis HEN

Grid diagram yang dihasilkan pada Gambar 3.2 terdiri dari dua sisi yaitu *hot side* dan *cold side*. Pada *hot side* terdapat dua aliran panas dan tiga aliran dingin. *Heat exchanger* atau *stream match* yang dihasilkan sebanyak empat *stream match* dan satu *hot utility*. Pada *cold side* terdapat dua aliran panas dan dua aliran dingin. *Heat exchanger* atau *stream match* yang dihasilkan sebanyak tiga *stream match* dan satu *cold utility*. Hasil sintesis HEN atau grid diagram yang terdapat pada Gambar 3.2 di atas, sama dengan grid diagram pada Seider 3rd edition.

IV. KESIMPULAN

Perancangan algoritma komputasi *Heat Exchanger Network* (HEN) meliputi perancangan algoritma komputasi untuk menghitung nilai *Maximum Energy Recovery* (MER) target, Perancangan algoritma komputasi untuk *network design*,

serta aplikasi algoritma komputasi dalam pemrograman Java. Algoritma komputasi perancangan HEN yang dihasilkan dapat digunakan sebagai *tools* komputasi untuk perancangan HEN.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. I., N. Zhang, M. Jobson. dan L. Chen. 2012. Multi Period Design of Heat Exchanger Network. *Chemical Engineering Research and Design* 1000 (2) : 13 – 26.
- Seider, W. D., J. D Seader., D. R Lewin., dan S. Widagdo. 2009. 3rded. *Product and Process Design Principles*. Courier. Westford.
- Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. 2nded. Jhon Wiley. New York.