



TUGAS AKHIR - TF 181801

**OPTIMISASI DESAIN PADA *KETTLE REBOILER*
DENGAN MENGGUNAKAN BEBERAPA METODE
*STOCHASTIC ALGORITHM***

**VIVIN FIRDAUS AFTAMI
NRP 02311540000101**

**Dosen Pembimbing
Ir. Matradji, M. Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***DESIGN OPTIMIZATION OF KETTLE REBOILER
USING SOME STOCHASTIC ALGORITHMS***

VIVIN FIRDAUS AFTAMI
NRP 02311540000101

Supervisor
Ir. Matradji, M. Sc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Vivin Firdaus Aftami
NRP : 02311540000101
Departemen : Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Optimisasi Desain pada Kettle Reboiler dengan Menggunakan Beberapa Metode Stochastic Algorithm”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 25 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Vivin Firdaus Aftami
NRP. 02311540000101

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**OPTIMISASI DESAIN PADA *KETTLE REBOILER*
DENGAN MENGGUNAKAN BEBERAPA METODE
*STOCHASTIC ALGORITHM***

Oleh:

Vivin Firdaus Aftami
NRP. 02311540000101

Surabaya, 25 Juli 2019

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Ir. Matradji, M. Sc
NIPN. 19560720 198503 1 003

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Fisika FTI ITS



Agus Muhamad Harta, S.T., M.Si, Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI DESAIN PADA *KETTLE REBOILER* DENGAN MENGGUNAKAN BEBERAPA METODE *STOCHASTIC ALGORITHM*




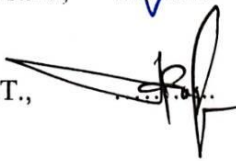
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

VIVIN FIRDAUS AFTAMI
NRP. 02311540000101

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Matradji, M. Sc  (Pembimbing)
2. Hendra Cordova, S.T, M.T  (Ketua Penguji)
3. Dr. Ing. Doty Dewi Risanti,  (Penguji I)
S.T., M.T.
4. Iwan Cony Setiadi, S.T.,  (Penguji II)
M.T

SURABAYA
JULI, 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMISASI DESAIN PADA *KETTLE REBOILER* DENGAN MENGGUNAKAN BEBERAPA METODE *STOCHASTIC ALGORITHM*

Nama : Vivin Firdaus Aftami
NRP : 0231154000101
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Matradji, M. Sc.

ABSTRAK

Telah dilakukan optimisasi desain pada *kettle reboiler* dengan menggunakan beberapa metode *stochastic algorithm*. Optimisasi desain pada *kettle reboiler* dapat berdampak pada penurunan nilai *fouling resistance* baik pada sisi *shell* maupun sisi *tube*. Pada penelitian ini fungsi objektif optimisasi yang digunakan adalah *fouling resistance* yang minimal, sedangkan variabel yang dioptimisasi adalah diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (D_o) dengan konstrain berupa *pressure drop* dan *heat duty* (Q). Metode optimisasi yang digunakan adalah *Genetic Algorithm* (*GA*), *Duelist Algorithm* (*DA*), dan *Particle Swarm Optimization* (*PSO*). Langkah pertama penelitian yang dilakukan adalah dengan pengambilan data desain *reboiler* dan kolom distilasi. Langkah kedua yaitu dilakukan simulasi *plant* menggunakan *software Aspen Hysys V8.8*, diberikan variasi umpan dengan penurunan sebesar 10% dan 5%, serta kenaikan sebesar 5%, dan 10% dari umpan normal untuk mengetahui pengaruh perubahan *feed flow rate* pada kolom distilasi terhadap beban panas yang diberikan ke *reboiler*. Langkah ketiga yaitu dilakukan pemodelan *reboiler*, perhitungan *pressure drop*, pemodelan *fouling*, dan pemodelan *heat and mass balance*. Kemudian dilakukan validasi dengan cara membandingkan hasil pemodelan dengan data desain *reboiler*. Langkah keempat yaitu dilakukan optimisasi *fouling resistance*. Hasil optimisasi terbaik diperoleh dari metode optimisasi *Duelist Algorithm* (*DA*) dengan penurunan diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (D_o) yang dihasilkan yaitu sebesar 0,3 atau

berkurang 32% dan 0,0169 m atau berkurang 32%. Luas permukaan perpindahan panas keseluruhan pun berkurang 12% menjadi 50,02539 m². Perubahan geometri ini mengakibatkan penurunan *fouling resistance* yaitu sebesar 0,00013256 m² °C/W pada sisi *tube (Rft)* atau berkurang 25% dan 0,0001373 m² °C/W pada sisi *shell (Rfs)* atau berkurang 22%.

Kata Kunci : *Kettle Reboiler, Fouling Resistance, Optimisasi, Desain geometri Heat Exchanger.*

DESIGN OPTIMIZATION OF KETTLE REBOILER USING SOME STOCHASTIC ALGORITHMS

Name : Vivin Firdaus Aftami
NRP : 02311540000101
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisors : Ir. Matradji, M. Sc.

ABSTRACT

Some design parameters of kettle reboiler were optimized using several stochastic algorithm methods. Optimization design of kettle reboiler can affect to decrease fouling resistance on shell side and tube side. The objective function in this optimization was used to get minimal fouling resistance value. Optimized variables were inner diameter of shell (D_s) and outer diameter of tube (D_o), with pressure drop and heat duty as constraints. Optimization in this research used several algorithms, i.e. Genetic Algorithm (GA), Duelist Algorithm (DA) and Particle Swarm Optimization (PSO). Based on the data sheet of the existing reboiler, the design parameters were collected. Those parameters were subsequently simulated using Aspen HYSYS V8.8 software by changing the feed of distillation column in the range of -10% to +10% from normal feed in order to know the relation between feed flow rate at distillation column and heat duty given to the reboiler. Further, the reboiler was modelled. The modelled reboiler was then subjected to subsequent pressure drop calculation, fouling resistance calculation, and eventually heat and mass balance calculation. Those calculations were validated through the reboiler data sheet. Finally, the optimization of fouling resistance was carried out. The lowest fouling resistance optimization was obtained by using Duelist Algorithm (DA) with the decrease of shell inner diameter and tube outer diameter is 0.3 m or 32% and 0.0169 m or 32%. Surface area of overall heat transfer also decreased 12% or became 50.02539 m². The change of geometry affected the decrease of fouling resistance to 25% or 0.00013256 m² °C/W at

tube side (R_{ft}) and decreased to 25% or $0,0001373 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$ at shell side (R_{fs}).

Keywords: *Kettle Reboiler, Fouling Resistance, Optimization, Heat Exchanger Design Geometry.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

“OPTIMISASI DESAIN *KETTLE REBOILER* DENGAN MENGUNAKAN BEBERAPA METODE *STOCHASTIC ALGORITHM*”

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Ir. Matradji, M. Kom selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan bimbingan dan semangat pada penulis.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Kedua Orang Tua dan kakak penulis yang selalu menyayangi mendukung, dan memberi doa untuk penulis.
5. Teman-teman Departemen Teknik Fisika – ITS dan teman-teman seperjuangan Tugas Akhir yang senantiasa memeberikan motivasi dan antuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, 25 Juli 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER	iii
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Heat Exchanger</i>	5
2.2 <i>Pemodelan Heat Exchanger</i>	8
2.3 Koefisien Perpindahan Panas <i>Reboiler</i> (STHE)	11
2.4 <i>Fouling</i>	12
2.5 Metode Stokastik	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Pengambilan Data Desain <i>Reboiler</i> dan Kolom Distilasi	22
3.2 Pemodelan Fungsi Tujuan Optimisasi	22
3.3 Simulasi <i>Plant</i> Menggunakan Hysys	22
3.4 Pemodelan <i>Reboiler</i>	23

3.4	Pemodelan Fouling	31
3.5	Pemodelan <i>Heat & Mass Balance</i>	32
3.6	Validasi Pemodelan	33
3.7	Optimisasi <i>Fouling Resistance</i> dengan Menggunakan Metode Stokastik	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Hasil Pemodelan <i>Reboiler</i> dan <i>Fouling Resistance</i>	35
4.2	Pengaruh Perubahan <i>Feed Flow Rate</i> pada Kolom Distilasi	37
4.3	Perancangan dan Pengujian Optimisasi	39
4.4	Analisis Hasil Optimisasi	44
BAB V PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		55
BIODATA PENULIS		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Konfigurasi <i>Kettle Reboiler</i>	6
Gambar 2.2	Standar Konstruksi <i>Heat Exchanger</i> dan Kode Huruf TEMA [9]	7
Gambar 2.3	Skema Aliran Fluida <i>Kettle Reboiler</i>	8
Gambar 2.4	Diagram Alir <i>Genetic Algorithm (GA)</i> [16]	14
Gambar 2.5	Diagram Alir <i>Duelist Algorithm</i> [16]	17
Gambar 2.6	Diagram Alir <i>Particle Swarm Optimization</i> [15]	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Geometri Basic Baffle [17]	24
Gambar 3.3	Definisi Panjang Tube pada STHE [17]	24
Gambar 3.4	<i>Kettle Reboiler</i> dan Kolom Distilasi	33
Gambar 3.5	Diagram Optimisasi <i>Fouling Resistance</i>	34
Gambar 4.1	Pengaruh Besar <i>Feed Flow Rate</i> Kolom Distilasi terhadap Beban Panas <i>Reboiler</i>	38
Gambar 4.2	Pengaruh <i>Feed Flow Rate</i> Kolom Distilasi terhadap <i>Fouling Resistance</i>	39
Gambar 4.3	Pengaruh Diameter dalam <i>Shell (Ds)</i> terhadap <i>Fouling Resistance</i>	40
Gambar 4.4	Pengaruh Diameter Luar <i>Tube (Do)</i> terhadap <i>Fouling Resistance</i>	41
Gambar 4.5	Hasil Optimisasi <i>Fouling Resistance</i> pada <i>Software MATLAB</i>	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Properties Fluida pada <i>Kettle Reboiler</i>	36
Tabel 4.2	Hasil Pemodelan <i>Reboiler</i> dan <i>Fouling Resistance</i>	37
Tabel 4.3	Hasil Optimisasi Geometri <i>Reboiler</i> dengan Beberapa Metode <i>Stochastic Algorithm</i>	45
Tabel 4.4	Hasil Optimisasi Kondisi Operasi <i>Reboiler</i> dengan Beberapa Metode <i>Stochastic Algorithm</i>	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

<i>At</i>	=	<i>Tube side Flow area (m²)</i>
<i>A₀</i>	=	<i>Heat transfer area (m²)</i>
<i>BR</i>	=	<i>Boiling Range (K)</i>
<i>Cond</i>	=	<i>Konduksi (W/m²C)</i>
<i>Cp_s</i>	=	<i>Kapasitas panas spesifik pada shell (J/Kg °C)</i>
<i>Cp_t</i>	=	<i>Kapasitas panas spesifik pada tube (J/Kg °C)</i>
<i>D_{ctl}</i>	=	<i>Diameter Bundle (m)</i>
<i>d_i</i>	=	<i>Diameter dalam pada sisi tube (m)</i>
<i>d_o</i>	=	<i>Diameter luar tube (m)</i>
<i>D_s</i>	=	<i>Diameter dalam shell (m)</i>
<i>f</i>	=	<i>Faktor friksi</i>
<i>F_b</i>	=	<i>Bundle convection factor</i>
<i>F_m</i>	=	<i>Correction factor of fluida</i>
<i>F_p</i>	=	<i>Pressure correction factor</i>
<i>GT</i>	=	<i>Mass Velocity tube (Kg/m²)</i>
<i>hb</i>	=	<i>Bundle boiling heat transfer coefficient (W/m² °C)</i>
<i>h_i</i>	=	<i>Koefisien perpindahan panas ideal pada shell (W/m² °C)</i>
<i>h_{nb}</i>	=	<i>Nucleat heat transfer coefficient (W/m² °C)</i>
<i>h_{nc}</i>	=	<i>Heat transfer coefficient for liquid phase (W/m² °C)</i>
<i>h_s</i>	=	<i>Perpindahan panas pada shell (W/m² °C)</i>
<i>h_t</i>	=	<i>Koefisien perpindahan panas pada sisi tube (W/m² °C)</i>
<i>K_{cs}</i>	=	<i>Konduktivitas termal material (W/mC)</i>
<i>K_s</i>	=	<i>Konduktivitas termal pada shell (W/m °C)</i>
<i>K_t</i>	=	<i>Koefisien konduktifitas panas pada sisi tube (W/m² °C)</i>
<i>L</i>	=	<i>Panjang per tube (m)</i>
<i>L_{bb}</i>	=	<i>Clearance antara bundle dan shell (m)</i>
<i>L_{bc}</i>	=	<i>Jarak antar baffle (m)</i>
<i>LMTD</i>	=	<i>Log Mean Temperature Difference (°C)</i>
<i>LMTD_{corr}</i>	=	<i>Log Mean Temperature Difference corrected (°C)</i>

L_{sb}	=	<i>Clearance</i> diantara <i>shell</i> diameter dengan <i>baffle</i>
L_{tb}	=	Diameter <i>clearance</i> antara diameter luar <i>tube</i> dengan luaran <i>baffle</i> (m)
L_{ti}	=	Panjang efektif (m)
$L_{tp,eff}$	=	Jarak efektif antar <i>tube</i> (m)
L_{tp}	=	Jarak efektif antar <i>tube</i> (m)
M_s	=	Kecepatan massa pada <i>shell</i> (Kg/s)
M_t	=	Massa aliran pada <i>tube</i> (Kg/s)
N_b	=	Jumlah <i>baffle</i>
N_s	=	Jumlah <i>shell</i>
N_t	=	Jumlah <i>Tube</i>
Nu_t	=	Bilangan <i>Nusselt</i>
$P_{c,i}$	=	<i>Fluid critical pressure</i> (kPa)
P_{pc}	=	<i>Pseudo critical pressure</i> (kPa)
P_{pr}	=	<i>Pseudo reduced pressure</i> (kPa)
Pr	=	Bilangan <i>prandtl</i> pada sisi <i>tube</i>
Pr_s	=	Nilai <i>Prandtl</i>
Q	=	Panas yang dipindahkan oleh fluida (W)
\hat{q}	=	<i>Heat flux</i> (W/m^2)
$R . S$	=	Faktor efisiensi temperature
Re_s	=	Bilangan <i>Reynold number</i>
Re	=	Bilangan <i>Reynold</i> pada sisi <i>tube</i>
Res	=	Bilangan <i>Reynold number</i> pada sisi <i>shell</i>
Ret	=	Bilangan <i>Reynold number</i> pada sisi <i>tube</i>
S_b	=	<i>Bundle to shell Bypass area parameter</i> (m)
S_m	=	Luas aliran <i>crossflow</i> pada sisi <i>shell</i> (m^2)
S_{tb}	=	Luas kebocoran <i>tube</i> ke <i>baffle</i> (m^2)
T_b	=	<i>Dew point temperature</i> (K)
T_d	=	<i>Buble point temperature</i> (K)
$T_{c,i}$	=	Temperatur dingin <i>inlet</i> ($^{\circ}C$)
$T_{c,o}$	=	Temperatur dingin <i>outlet</i> ($^{\circ}C$)
$T_{h,i}$	=	Temperatur panas <i>inlet</i> ($^{\circ}C$)
$T_{h,o}$	=	Temperatur panas <i>outlet</i> ($^{\circ}C$)
t_w	=	<i>Thickness</i> atau ketebalan (m)
U	=	Koefisien perpindahan panas keseluruhan

V $(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$
= *Velocity (m/s)*
 x_i = *mole*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat exchanger merupakan komponen terpenting dalam sistem termal [1]. *Heat exchanger* adalah suatu alat penukar panas yang di dalamnya terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang memiliki temperatur lebih tinggi ke fluida bertemperatur lebih rendah baik secara langsung maupun tidak langsung melalui permukaan perpindahan panas yang memisahkan dua jenis fluida tersebut [2]. Salah satu pemanfaatan *heat exchanger* dalam industri minyak dan gas adalah *reboiler*. *Reboiler* digunakan dalam proses pemisahan campuran berdasarkan nilai titik didih pada kolom distilasi. *Reboiler* berfungsi menghasilkan fluks uap untuk diumpungkan kembali ke kolom distilasi kemudian uap akan naik sesuai dengan titik didihnya. Beban panas yang diberikan oleh *reboiler* dipengaruhi oleh laju aliran massa dari masukan kolom distilasi. Beban panas yang berfluktuasi juga akan mengubah laju aliran massa yang masuk ke *reboiler*. Efek yang terjadi akibat perubahan laju aliran massa adalah perubahan kecepatan aliran fluida. *Kettle reboiler* merupakan salah satu jenis *reboiler* yang biasa digunakan. Kelebihan *kettle reboiler* yaitu memiliki instalasi yang praktis [3]. Sedangkan kekurangan dari *kettle reboiler* adalah memiliki kecepatan fluida yang rendah sehingga kemungkinan untuk mengalami *fouling* tinggi [3].

Fouling adalah endapan material yang tidak diinginkan pada permukaan perpindahan panas [4]. Adanya *fouling* dapat memberikan dampak negatif terhadap efisiensi operasional unit. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa 15% dari biaya *maintenance* dari sebuah *process plant* digunakan untuk *heat exchanger* yang memiliki permasalahan *fouling* [2]. *Fouling* menyebabkan menurunnya kondisi performansi *heat exchanger* yaitu menghambat proses perpindahan panas, dan meningkatkan hambatan aliran fluida sehingga *pressure drop* akan semakin tinggi [5]. Selain itu *fouling* juga dapat mengakibatkan berkurangnya

fraksinasi karena masukan panas *reboiler* yang rendah dan penurunan refluks kolom yang lebih rendah [6].

Fouling tidak dapat dihilangkan namun dapat diminimalkan. Solusi mahal yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan sistem *reboiler* paralel untuk dapat meminimalkan gejalanya [6]. Cara lain yang dapat dilakukan adalah memodifikasi atau mendesain mekanik *reboiler* untuk menentukan geometri yang optimal dari desain *reboiler*. *Reboiler* harus didesain sesuai dengan kapasitas minimum dan maksimum beban panas yang mungkin terjadi yang disebabkan perubahan *feed*. Salah satu model yang berhubungan dengan pemodelan *fouling resistance* untuk mendapatkan nilai yang minimal adalah Polley Model [7].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dilakukan optimisasi desain *heat exchanger* untuk meminimalkan *fouling resistance* pada pasteurisasi susu dengan variabel yang dioptimisasi yaitu diameter dalam *shell* (D_s), diameter luar *tube* (D_o), dan jumlah *baffle* (N_b) menggunakan metode optimisasi *Killer Whale Algorithm* (KWA), *Duelist Algorithm* (DA), dan *Rain Water Algorithm* (RWA). Hasil yang diperoleh adalah luas perpindahan panas keseluruhan *heat exchanger* (A_o) menurun sebesar 5% menjadi 96,96 m². Nilai *fouling resistance* pada sisi *shell* dan *tube* setelah dioptimisasi masing-masing sebesar 0,000722 m²°C/W atau berkurang 16% dari data desain dan 0,0004522 m²°C/W atau berkurang 5% dari data desain [8].

Pada penelitian lain, optimisasi geometri dilakukan pada *shell and tube heat exchanger* untuk meminimalkan *fouling resistance* dengan menggunakan Polley Model. Variabel yang dioptimisasi meliputi diameter dalam *shell* (D_s), diameter luar *tube* (D_o), dan jumlah *baffle* (N_b). Metode optimisasi yang digunakan adalah *Rain Water Optimization* (RWA). Hasil geometri yang optimal setelah dilakukan optimisasi untuk diameter dalam *shell* (D_s) adalah sebesar 0,5 m, diameter luar *tube* (D_o) sebesar 0,01905 m, dan jumlah *baffle* sebesar 6 buah. *Fouling resistance* pada sisi *shell* berkurang 17% dari data desain menjadi 0.0000083178 m²h°C/kcal, sedangkan pada sisi *tube* berkurang 48% dari data desain menjadi 0.00031411 m²h°C/kcal [9].

Penelitian tentang optimisasi desain pada *heat exchanger* masih terus dikembangkan dengan berbagai macam jenis *heat exchanger* untuk mendapatkan *fouling resistance* yang minimal. Namun, dari berbagai penelitian yang telah ada, belum ditemukan optimisasi desain yang menghasilkan geometri yang optimal untuk mengurangi *fouling resistance* pada *heat exchanger* jenis *kettle reboiler*. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai desain geometri pada *kettle reboiler* yang optimal dengan parameter geometri diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (D_o) untuk menghasilkan *fouling resistance* yang minimal.

Pada penelitian ini, akan dilakukan optimisasi desain pada *kettle reboiler* dengan variabel yang dioptimisasi berupa diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (D_o) serta konstrain berupa *pressure drop* dan *heat duty*. Metode optimisasi yang digunakan adalah metode *stochastic algorithm* seperti *Genetic Algorithm* (GA), *Duelist Algorithm* (DA), dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan tujuan optimisasi untuk mendapatkan nilai *fouling resistance* yang minimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh terbentuknya *fouling* pada *reboiler* yang disebabkan perubahan laju aliran panas yang dibutuhkan kolom distilasi?
2. Bagaimana desain geometri yang optimal agar mampu meminimalkan terjadinya *fouling* pada *reboiler*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis *reboiler* yang digunakan adalah *kettle reboiler*.
2. Pengambilan data *reboiler* meliputi dimensi *heat exchanger*, kondisi operasi, dan karakteristik fluida.

3. Pemodelan *heat exchanger* meliputi perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan, *heat duty*, *number of tubes*, dan *fouling resistance*.
4. Variabel optimisasi yang digunakan adalah diameter luar *tube* (D_o), diameter dalam *shell* (D_s).
5. Teknik optimisasi yang digunakan adalah metode *stochastic algorithm* yaitu *Genetic Algorithm (GA)*, *Duelist Algorithm (DA)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *fouling* pada *reboiler* yang disebabkan perubahan laju aliran panas yang dibutuhkan kolom distilasi.
2. Mendapatkan desain geometri yang optimal agar mampu meminimalkan terjadinya *fouling* pada *reboiler*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

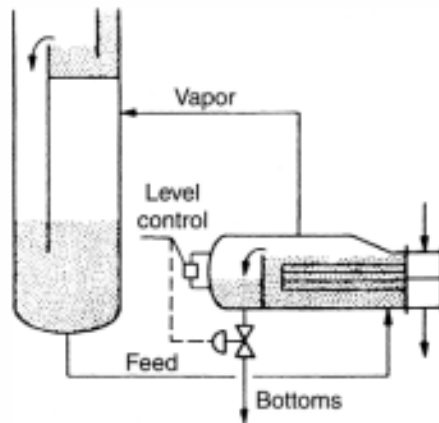
2.1 Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat termal yang digunakan dalam proses perpindahan panas dua atau lebih fluida yang memiliki temperatur yang berbeda [10]. Perpindahan panas pada *heat exchanger* digunakan untuk mentransfer energi dari fluida bertemperatur panas ke fluida bertemperatur dingin ataupun sebaliknya [11]. Perpindahan panas ini dapat terjadi melalui proses konveksi dan konduksi. Perpindahan panas digunakan untuk mengubah fase suatu fluida, serta menghemat energi pada proses selanjutnya.

Fluida pada *heat exchanger* dipisahkan oleh elemen konduksi yang dapat berupa pembatas atau dinding berbentuk tabung atau lempengan. Terdapat beberapa macam tipe dan desain *heat exchanger* yang digunakan pada industri proses, salah satunya adalah *reboiler*. *Reboiler* adalah alat penukar panas yang digunakan untuk menghasilkan uap yang diumpankan kembali ke kolom distilasi. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa fluida dari bagian bawah kolom sebagian akan diuapkan kembali dalam *reboiler*, salah satu *reboiler* yang dapat digunakan adalah jenis *kettle reboiler*. Penguapan pada *reboiler* dapat terjadi dalam *shell* atau di *tube*, tergantung pada jenis *reboiler*. *Heat exchanger* yang memasok uap untuk operasi unit lainnya disebut sebagai *vaporizer* [12].

2.1.1 Komponen-Komponen Pada Reboiler

Reboiler yang digunakan adalah *kettle reboiler*. Komponen-komponen yang dapat mempengaruhi keluaran koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* dan *tube* pada *reboiler* yaitu *tube*, *shell*, *front head*, *rear head*. Beberapa kriteria properti yang dipergunakan selama pengoperasian *kettle reboiler* adalah tekanan dan temperatur. Beberapa komponen utama *reboiler shell and tube* sebagai berikut [12]:



Gambar 2.1 Jenis Konfigurasi *Kettle Reboiler* [12]

a. Tube

Tube adalah pemisah antara dua zat yang berada di dalam suatu alat. *Tube* berbentuk pipa silinder sebagai media mengalirnya fluida yang akan ditukar panasnya. Kumpulan dari beberapa *tube* diikat oleh *tube bundle*.

b. Shell

Selubung yang menyelimuti bagian dalam *heat exchanger* sebagai rumah dari *tube bundle*. *Shell* juga merupakan bagian yang menjadi tempat mengalirnya fluida kerja yang lain selain yang mengalir di dalam *tube*. Umumnya desain pada *shell* berbentuk silinder dengan penampang melingkar.

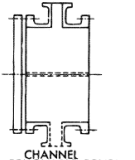
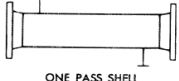
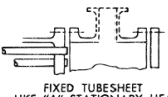
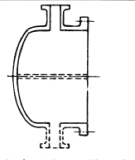
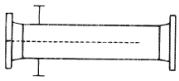
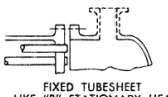
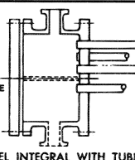
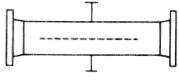
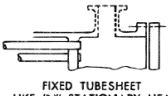
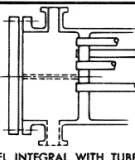
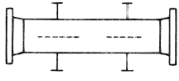
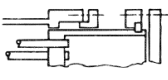
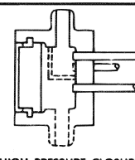

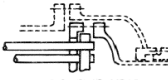
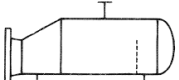
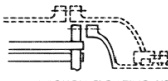
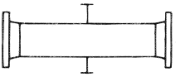
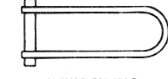

c. Front Head and Rear head

Front Head and Rear Head berfungsi sebagai tempat masuk dan keluar dari fluida yang berada disisi *tube*.

d. Nozzle

Nozzle pada *Heat Exchanger* merupakan titik dimana fluida masuk baik dari sisi *shell* maupun dari sisi *tube*. *Nozzle* pada *inlet heat exchanger* akan membuat aliran fluida yang masuk menjadi lebih merata, maka didapatkan koefisiensi perpindahan panas yang tinggi.

Untuk dapat menentukan konstruksi dari *heat exchanger* menggunakan standar TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*). Untuk menentukan tipe dari *heat exchanger* dengan standar TEMA dapat menggunakan kode huruf seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
A	 CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E	 ONE PASS SHELL	L	 FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B	 BONNET (INTEGRAL COVER)	F	 TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M	 FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE- SHEET AND REMOVABLE COVER	G	 SPLIT FLOW	N	 FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
N	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE- SHEET AND REMOVABLE COVER	H	 DOUBLE SPLIT FLOW	P	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
D	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	J	 DIVIDED FLOW	S	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
		K	 KETTLE TYPE REBOILER	T	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
		X	 CROSS FLOW	U	 U-TUBE BUNDLE
				W	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

Gambar 2.2 Standar Konstruksi *Heat Exchanger* dan Kode Huruf TEMA [9]

2.2 Pemodelan *Heat Exchanger*

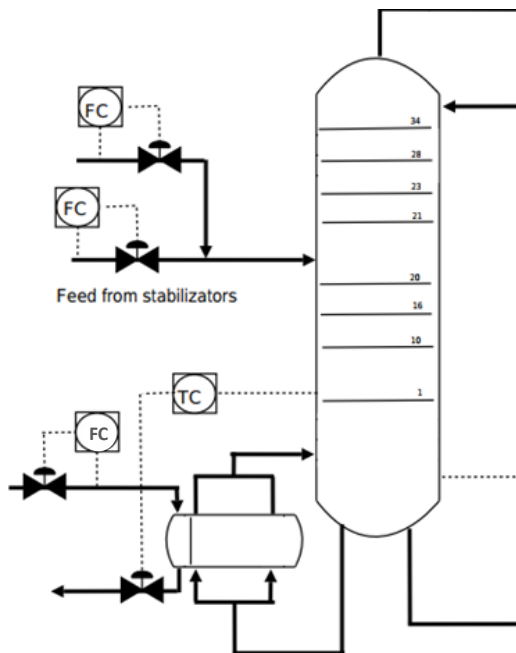
Heat exchanger diperlukan untuk menentukan spesifikasi optimal dari *heat exchanger* itu sendiri. Pemodelan *heat exchanger* bertujuan untuk menghasilkan laju perpindahan panas [13]. Pemodelan pada *heat exchanger* berdasarkan model *lumped parameter* dengan tidak ada panas yang hilang seperti pada persamaan berikut:

$$Q_c = Q_h \quad (2.1)$$

Dimana,

Q_c = Panas yang berasal dari fluida dingin (W)

Q_h = Panas yang berasal dari fluida panas (W)



Gambar 2.3 Skema Aliran Fluida *Kettle Reboiler* [14]

Persamaan untuk menentukan panas yang berasal dari fluida dingin dan dipindahkan ke fluida panas yaitu [13]:

$$Q_c = m_c C_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.2)$$

Dimana,

m_c = Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

$C_{p,c}$ = Kalor jenis fluida dingin (J/ kg °C)

$T_{c,i}$ = Temperatur masuk fluida dingin (°C)

$T_{c,o}$ = Temperatur keluar fluida dingin (°C)

Persamaan untuk menentukan panas yang berasal dari fluida panas dan dipindahkan ke fluida dingin adalah [13]:

$$Q_h = m_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.3)$$

Dimana,

m_h = Laju aliran massa fluida panas (kg/s)

$C_{p,h}$ = Kalor jenis fluida panas (J/ kg °C)

$T_{h,i}$ = Temperatur masuk fluida panas (°C)

$T_{h,o}$ = Temperatur keluar fluida panas (°C)

Persamaan lain untuk menentukan laju perpindahan panas *STHE* yaitu dengan menggunakan persamaan di bawah ini [13].

$$Q = U LMTD_{corr} . A_o \quad (2.4)$$

Dimana,

U = Koefisien perpindahan panas keseluruhan (W/ m² °C)

$LMTD_{corr}$ = Log Mean Temperature Difference corrected (°C)

A_o = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

Persamaan untuk menentukan nilai *Log Mean Temperature Difference corrected* ($LMTD_{corr}$) dengan menggunakan persamaan berikut [13].

$$LMTD_{corr} = LMTD . F \quad (2.5)$$

Dimana,

$LMTD = \text{Log Mean Temperature Difference } (^{\circ}\text{C})$

$F = \text{Faktor koreksi}$

Log Mean Temperature Difference (LMTD) merupakan rata-rata perbedaan temperatur antara fluida panas dan fluida dingin. LMTD dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [13].

$$LMTD = \frac{(T_{h,i}-T_{c,o})-(T_{h,o}-T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i}-T_{c,o}}{T_{h,o}-T_{c,i}}\right)} \quad (2.6)$$

Faktor koreksi (F) untuk menentukan $LMTD_{corr.}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [13].

$$F = \frac{\sqrt{R^2+1} \ln(1-S)/(1-RS)}{(R-1) \ln \frac{2-S(R+1)-\sqrt{R^2+1}}{2-S(R+1)+\sqrt{R^2+1}}} \quad (2.7)$$

Nilai R didapatkan dari persamaan berikut [13].

$$R = \frac{T_{h,i}-T_{h,o}}{T_{c,o}-T_{c,i}} \quad (2.8)$$

Nilai S dari persamaan berikut [13].

$$S = \frac{T_{c,o}-T_{c,i}}{T_{h,i}-T_{c,i}} \quad (2.9)$$

Dimana,

$R, S = \text{Faktor efisiensi temperatur}$

Berdasarkan persamaan (2.4) diatas maka dapat ditentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi aktual (U_a) dengan menggunakan persamaan berikut [13]:

$$U_a = \frac{Q}{LMTD_{corr.} A_o} \quad (2.10)$$

Dimana,

$U_a = \text{Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi aktual}$
($\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$)

2.3 Koefisien Perpindahan Panas *Reboiler* (STHE)

Koefisien Perpindahan Panas ditentukan dengan memodelkan koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* dan *shell* pada *heat exchanger*. Berikut adalah pemodelan dari koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* dan *tube*.

2.3.1 Koefisien Perpindahan Panas pada Sisi Shell

Pemodelan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* dengan menggunakan metode *Mostinski and Palen* [12].

$$h_s = h_{nb} F_b + h_{nc} \quad (2.11)$$

Dimana,

h_s = Koefisien perpindahan panas pada *shell* (W/ m² °C)

h_{nb} = Koefisien perpindahan panas *nucleat boiling* (W/ m² °C)

h_{nc} = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²°C)

F_b = Faktor koreksi efek sirkulasi

2.3.2 Koefisien Perpindahan Panas pada Sisi Tube

Koefisien perpindahan panas dapat ditentukan berdasarkan karakteristik fluida. Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* dapat dihitung dengan menggunakan metode *Bell-Delaware* [13].

$$h_t = \left(\frac{K_t Nu_t}{d_i} \right) \quad (2.12)$$

Dimana,

h_t = Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* (W/ m² °C)

K_t = Konduktifitas termal pada sisi *tube* (W/ m °C)

Nu_t = Bilangan *Nusselt* pada fluida di sisi *tube*

d_i = Diameter dalam *tube* (m)

Bilangan *Nusselt* tergantung dari banyaknya faktor, diantaranya adalah pengaruh dari *Reynold number*. Bilangan *Nusselt* pada sisi *tube* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

a. Aliran turbulen dengan $Re_t > 10^4$ menggunakan persamaan *Side-Tate (Mac Adamas)* [13].

$$Nu_t = 0,027 Re_t^{0,8} Pr_t^{1/3} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (2.13)$$

b. Aliran *intermediate* dengan $2100 < Re_t < 10^4$ menggunakan persamaan *Colburn* [13].

$$Nu_t = 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{0,4} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (2.14)$$

c. Aliran laminar dengan $Re_t \leq 2100$ menggunakan persamaan *Side-Tate (Mac Adamas)* [13].

$$Nu_t = 1,86 (Re_t Pr_t d_i / L)^{0,5} Pr_t^{1/3} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (2.15)$$

Dimana,

Re_t = Bilangan *Reynold* pada sisi *tube*

d_i = Diameter dalam *tube* (m)

Pr_t = Bilangan *Prandtl* pada sisi *tube*

L = Panjang *tube* (m)

μ_t = Viskositas fluida pada sisi *tube* (kg/m s)

μ_w = Viskositas fluida pada temperatur *wall* sisi *tube* (kg/ms)

2.4 Fouling

Fouling merupakan terbentuknya endapan bahan dari material yang tidak diinginkan pada permukaan perpindahan panas. *Fouling* secara signifikan menurunkan kinerja termal penukar panas dan juga meningkatkan *pressure drop* pada unit. Efisiensi perpindahan panas dalam *reboiler* berkurang dengan kenaikan *fouling* [4]. *Fouling* mengurangi fraksinasi karena masukan panas *reboiler* yang rendah dan penurunan refluks kolom yang lebih rendah. Solusi mahal yang dapat dilakukan adalah menambahkan sistem *reboiler* paralel untuk dapat menghilangkan gejalanya. Salah satu cara lain yang dapat dilakukan untuk mengeliminasi *fouling* pada *reboiler* adalah memodifikasi atau mendesain mekanik dari *reboiler* [6].

Pada *heat exchanger* adanya *fouling* tidak dapat dihindari sehingga dalam pemodelan *fouling* perlu dilakukan pemodelan untuk dapat mengestimasi adanya *fouling*. Salah satu penelitian yang telah dilakukan untuk memodelkan *fouling* yaitu oleh *Polley*

[15]. Polley menggunakan beberapa variabel-variabel untuk memodelkan *fouling* yaitu bilangan *Reynold* (Re), bilangan *Prandtl* (Pr) dan *temperature wall* (T_w) dengan menggunakan beberapa parameter yakni α (kosntanta deposit), γ (konstanta supresi), R (konstanta gas konstan), dan E_a (energi aktivasi) [16]. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\frac{dR_f}{dt} = \alpha Re^{-0,8} Pr^{-\frac{1}{3}} \exp\left(-\frac{E_a}{RT_w}\right) - \gamma Re^{0,8} \quad (2.16)$$

Dimana nilai parameter-parameternya adalah sebagai berikut

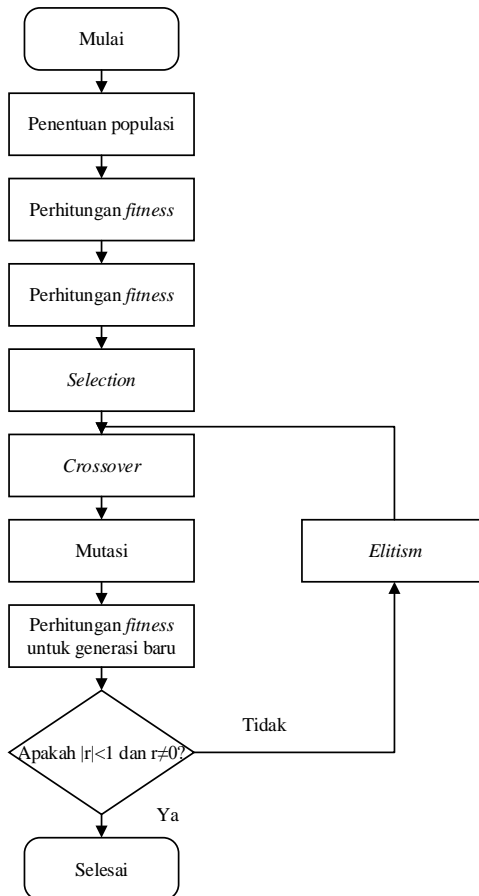
$$\begin{aligned} \alpha &= 277,8 \text{ m}^2\text{K/J} \\ E_a &= 48 \text{ KJ/mol} \\ \gamma &= 4,17 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2\text{K/J} \\ R &= 0,008314462 \text{ KJ mol / K} \end{aligned}$$

2.5 Metode Stokastik

Pada proses optimisasi penentuan fungsi objektif sangatlah penting baik fungsi objektif minimum atau maksimum sesuai dengan nilai yang ingin dioptimisasi. Optimisasi terdiri dari dua jenis yaitu metode stokastik dan deterministik. Metode stokastik adalah metode optimisasi yang terdiri dari variabel-variabel acak (random) sehingga mempunyai distribusi dan probabilitas tertentu sedangkan metode deterministik variabelnya bebas dan keragamannya acak sehingga tidak mempunyai distribusi dalam probabilitas [17]. Berikut ini merupakan beberapa metode optimisasi algoritma stokastik.

2.5.1 Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm (GA) merupakan salah satu metode optimisasi yang menggunakan prinsip seleksi alam dari Darwin. Populasi pada *Genetic Algorithm (GA)* menggunakan filosofi jumlah kromosom. Pada *genetic algorithm* dikenal adanya proses inisiasi yang terdiri dari proses *selection, crossover, and mutation*. Diagram alir dari metode optimisasi *Genetic Algorithm (GA)* dapat ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Diagram Alir *Genetic Algorithm (GA)* [16]

Tahapan dari metode optimisasi *Genetic Algorithm (GA)* adalah sebagai berikut [18]:

1. *Start*
2. Menentukan jumlah populasi
3. Melakukan pembangkitan populasi dan parameter
4. Melakukan seleksi *parent selection*

5. Melakukan persilangan masing-masing *parent* dengan probabilitas *crossover* (P_c) 0.8 untuk menentukan keturunan yang baru
6. Melakukan mutasi pada masing-masing generasi baru dengan probabilitas mutasi (P_m) 0.01
7. Menggantikan populasi saat ini dengan populasi yang baru
8. Melakukan pembangkitan pada masing-masing kromosom pada populasi yang baru
9. Mekanisme *elitism* pada GA yaitu mengambil 90% dari individu yang menang dari populasi saat ini. Populasi yang baru akan diisi oleh keturunan yang baru
10. Kembali ke tahap 4 sampai hasilnya konvergen
11. *Finish*

2.5.2 *Duelist Algorithm (DA)*

Duelist Algorithm (DA) adalah salah satu teknik optimisasi yang berasal dari komputasi evolusi yang telah dikembangkan oleh Biyanto pada tahun 2015. *DA* adalah sebuah algoritma yang mengambil filosofi dari bagaimana *duelist* meningkatkan kemampuannya dalam sebuah pertandingan. Pada *DA* fungsi objektif adalah sebagai *duelist* dengan nilai *fitness* adalah nilai yang optimal dari *duelist* yang menang. Diagram alir dari metode *Duelist Algorithm (DA)* adalah seperti pada gambar 2.5. [18]

Tahapan dari metode *DA* adalah sebagai berikut [18]:

1. Mulai
2. *Registration of Duelist Candidate*
Masing-masing calon *duelist* dalam set *duelist* melakukan registrasi menggunakan *binary array* yang disebut sebagai *Nvar*.
3. *Pre-Qualification*
Pre-qualification adalah sebuah tes yang diberikan pada masing-masing *duelist* untuk mengevaluasi kemampuan dalam bertarung mereka dalam skillset.

4. Menentukan juara

Penentuan juara dilakukan untuk menyimpan *best duelist*. Masing-masing juara harus melatih *duelist* yang baru sebaik dirinya pada sebuah *duel*. *Duelist* yang baru akan menggantikan posisi juara dan mengikuti pertarungan yang selanjutnya.

5. Menentukan jadwal *duel* antar masing-masing *duelist*

Jadwal *duel* antar masing-masing *duelist* ditentukan secara acak. Masing-masing *duelist* akan bertarung sesuai dengan kemampuan mereka dan keberuntungan yang menentukan yang menang dan kalah. *Duel* tersebut menggunakan logika sederhana. Jika kemampuan bertarung *duelist A* dan keberuntungan yang dimiliki lebih besar dari *duelist B* maka *duelist A* adalah pemenang dan sebaliknya. Keberuntungan *duelist* ditentukan semata-mata fungsi acak untuk menghindari *local optimum*.

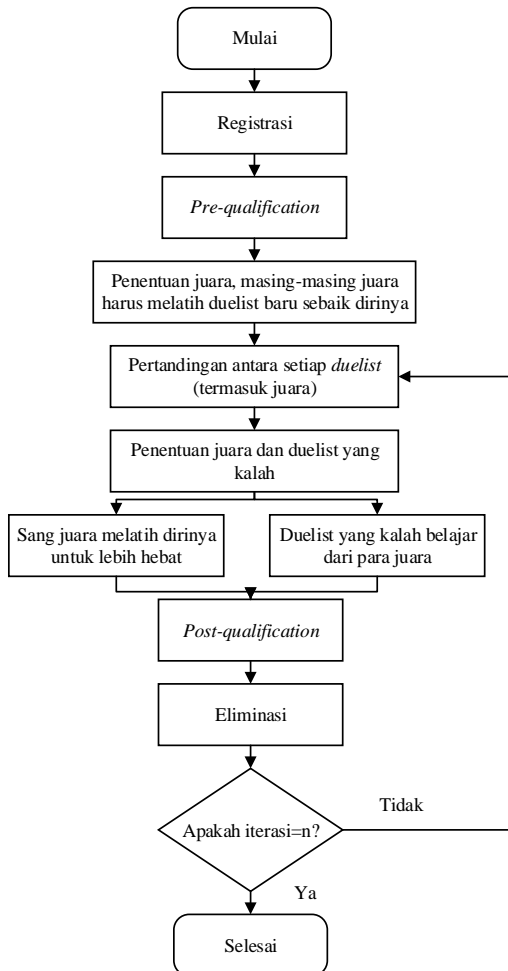
6. Peningkatan *duelist*

Peningkatan kemampuan dari masing-masing *duelist* terdiri dari dua metode untuk masing-masing kondisi. Metode pertama untuk *duelist* yang kalah yaitu masing-masing dari yang kalah belajar dari yang menang. Belajar dalam hal ini berarti yang kalah dapat meniru kemampuan dari pemenang dalam *skillset* dan *binary array*. Metode kedua adalah untuk yang menang, masing-masing *duelist* yang menang dapat mengembangkan kemampuan mereka dengan mencoba hal yang baru dari *duelist* yang kalah. Metode ini terdiri dari manipulasi acak dari *winner's array*.

7. *Elimination*

Duelist dengan kemampuan *duel* terburuk akan tereliminasi. Hal ini akan terus berulang hingga maksimum iterasi

8. Selesai

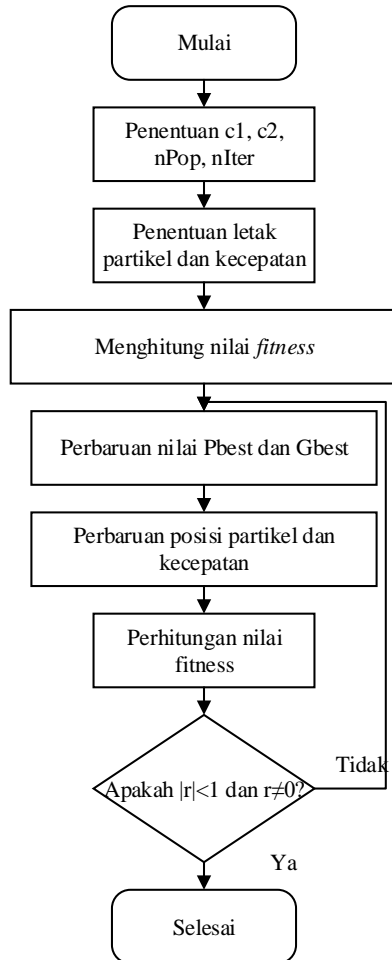


Gambar 2.5 Diagram Alir *Duelist Algorithm* [16]

2.5.3 *Particle Swam Optimization (PSO)*

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah sebuah metode optimisasi yang menggunakan prinsip komputasi pada evolusi yang dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. Konsep pada PSO adalah filosofi dari sekelompok partikel yang

membentuk populasi yang sering dideskripsikan sebagai populasi burung. Diagram alir dari metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah seperti pada gambar 2.6 berikut [18]



Gambar 2.6 Diagram Alir *Particle Swarm Optimization* [15]

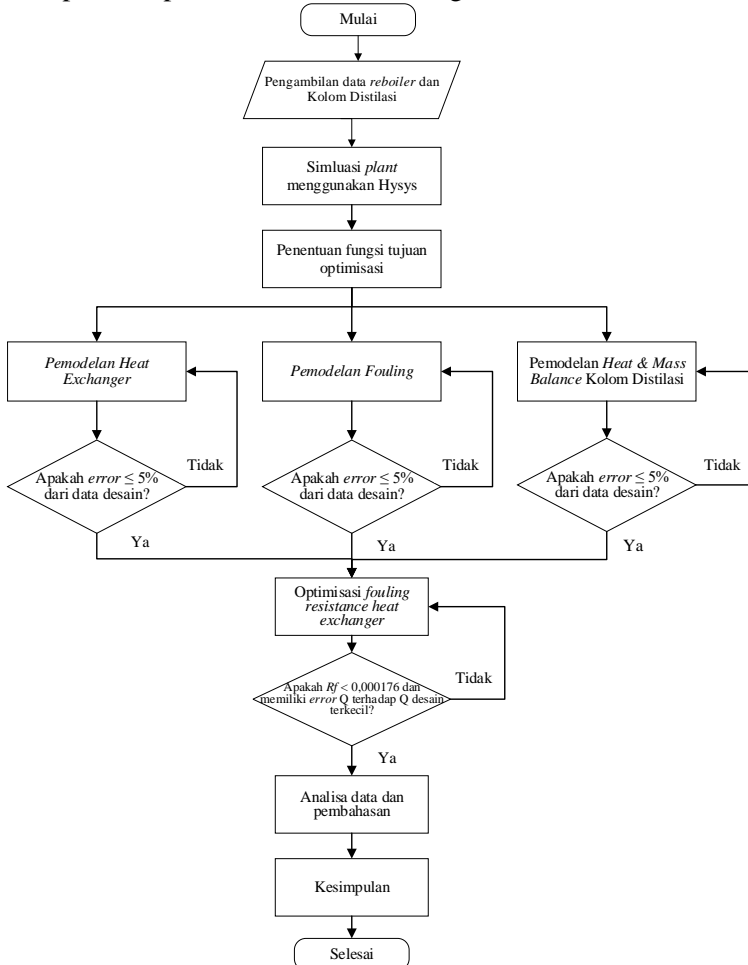
Tahapan dari metode PSO ini adalah sebagai berikut:

1. *Start*
2. Menentukan nilai parameter c_1 , c_2 , jumlah populasi ($nPop$) dan jumlah iterasi ($nIter$)
3. Menentukan letak partikel dan *velocity*
4. Menghitung nilai *fitness*
5. Memperbarui nilai P_{best} dan G_{best}
6. Memperbarui posisi partikel dan *velocity*
7. Menghitung dan mengevaluasi nilai *fitness*
8. Kembali ke langkah 5 hingga konvergen yaitu sampai iterasi 300
9. Selesai

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian tugas akhir ini dirancang melalui beberapa tahapan yang digambarkan pada diagram alir gambar 3.1 berikut. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Pengambilan Data Desain *Reboiler* dan Kolom Distilasi

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data desain dan data saat kondisi operasi pada *reboiler* dan kolom distilasi. Berikut adalah data desain dan data saat kondisi operasi yang dibutuhkan:

- a. Data Desain
- b. Data *properties* fluida pada sisi *shell* dan *tube reboiler*
 - Density fluida pada sisi *shell* dan *tube*
 - Viskositas fluida pada sisi *shell* dan *tube*
 - Panas spesifik fluida pada sisi *shell* dan *tube*
 - Konduktivitas Thermal pada sisi *shell* dan *tube*
- c. Data *properties* fluida pada proses kolom distilasi
- d. Data pada saat kondisi operasi
 - *Mass Flowrate* pada sisi *shell* dan *tube*
 - Temperature inlet dan outlet pada sisi *shell* dan *tube*

3.2 Pemodelan Fungsi Tujuan Optimisasi

Fungsi tujuan optimisasi merepresentasikan tujuan dilakukannya optimisasi sehingga diperoleh nilai yang optimal. Fungsi tujuan pada optimisasi ini adalah *fouling resistance* yang minimal pada *shell and tube heat exchanger*. Variabel yang dioptimisasi adalah diameter dalam *shell* (D_s), diameter luar *tube* (d_o), dengan konstrain adalah *heat duty* (Q) dan *pressure drop* (Δp) yang tidak boleh melebihi dari data desain.

3.3 Simulasi *Plant* Menggunakan Hysys

Software Hysys yang digunakan berfungsi sebagai *tools* untuk mengetahui kondisi aktual dari *plant* kolom distilasi dengan *reboiler*. Simulasi *plant* menggunakan Hysys dilakukan dengan memberikan variasi perbedaan *feed* (*flow rate*) yang masuk ke kolom distilasi. Variasi *feed* yang diberikan yaitu penurunan *feed* sebesar 10% dan 5%, dan kenaikan *feed* sebesar 5% dan 10% dari *feed* normal. Tujuan diberikan variasi *feed* yang berbeda ini agar menghasilkan perbedaan efek pada perbedaan nilai beban panas yang diberikan *reboiler* akibat *feed* dari kolom distilasi. Sehingga diperoleh nilai beban panas (Q) pada kondisi maksimum, normal,

dan minimum. Beban panas ini akan dibandingkan dengan *fouling* yang akan terjadi pada *reboiler*

3.4 Pemodelan *Reboiler*

Pemodelan *reboiler* bertujuan agar perhitungan kinerja *reboiler* pada saat kondisi operasi mendekati kinerja *reboiler* pada kondisi yang sesungguhnya. Data-data yang digunakan untuk memodelkan *reboiler* berupa variable-variabel yang nilainya berubah-ubah hingga mencapai kondisi yang optimal dan nilai parameter-parameter yang sudah ditetapkan. Variable tersebut adalah diameter luar *tube* (D_o) dan diameter dalam *shell* (D_s). Sedangkan parameter-parameter yang ditetapkan adalah laju aliran pada *tube* (m_t), viskositas fluida pada *tube* (μ_t), massa jenis fluida pada *tube* (ρ_t), konduktivitas termal pada *tube* (K_t), kalor jenis fluida pada *tube* ($C_{p,t}$), laju aliran pada *shell* (m_s), viskositas fluida pada *shell* (μ_s), kalor jenis fluida pada *shell* ($C_{p,s}$), massa jenis aliran pada *shell* (ρ_s), konduktivitas termal pada *shell* (K_s), diameter *shell* (D_s), temperatur masuk fluida dingin ($T_{c,i}$), temperatur keluar fluida dingin ($T_{c,o}$), temperatur masuk fluida panas ($T_{h,i}$), temperatur keluar fluida panas ($T_{h,o}$), konduktivitas material pada *tube* (K_{cs}), panjang *tube* (L_{ta}), tebal *tube* (t_w), *number of shell* (N_s), *number of tube pass* (N_p). Adapun persamaan pemodelan *heat exchanger*, sebagai berikut.

3.4.1 Perhitungan Perpindahan Panas pada Sisi *Shell*

Pada perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *shell heat exchanger* menggunakan metode *Bell-Delaware Method*. Berikut adalah langkah-langkah perhitungannya.

a. *Shell side parameter*

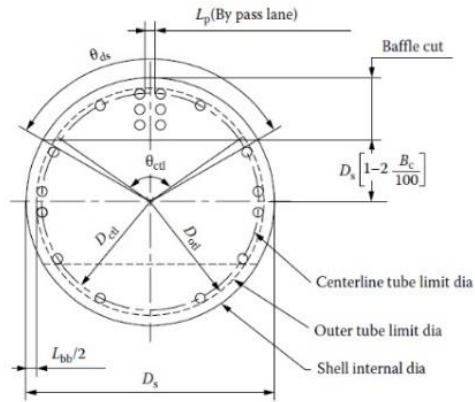
Perhitungan *clearance* antara *bundle* dan *shell* (L_{bb}) digunakan persamaan di bawah ini [19]:

$$L_{bb} = \frac{(12+0,005 D_s)}{1000} \quad (3.1)$$

Dimana

L_{bb} = *Clearance* antara *bundle* dan *shell* (m)

D_s = Diameter dalam *shell* (m)



Gambar 3.2 Geometri *Basic Baffle* [17]

Nilai diameter *tube bank outer* (D_{otl}) dapat dicari dengan persamaan di bawah ini [19]:

$$D_{otl} = D_s - L_{bb} \tag{3.2}$$

Dimana,

D_{otl} = Diameter *tube bank outer* (m)

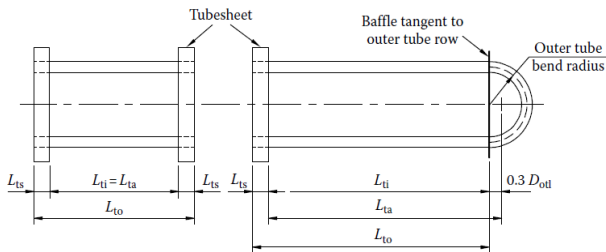
Diameter *bundle* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini [19]:

$$D_{ctl} = D_{otl} - d_o \tag{3.3}$$

Dimana,

D_{ctl} = Diameter *bundle* (m)

d_o = Diameter luar *tube* (m)



Gambar 3.3 Definisi Panjang *Tube* pada STHE [17]

Menentukan nilai L_{ti} dan L_{ta} dapat digunakan persamaan di bawah ini [19]:

$$L_{ti} = ((N_b - 1)L_{bc}) + L_{bi} + L_{bo} \quad (3.4)$$

$$L_{ta} = L_{ti} + 0,3 D_{otl} \quad (3.5)$$

Dimana,

- N_b = Jumlah *baffle*
- L_{bc} = Jarak antar *baffle* (m)
- L_{bi} = Jarak *baffle inlet* (m)
- L_{bo} = Jarak *baffle outlet* (m)

Hubungan antara jarak antar *baffle* (L_{bc}) dengan L_{ta} dapat diketahui dengan persamaan berikut [19]:

$$L_{bc} = \frac{L_{ta}}{N_b + 1} \quad (3.6)$$

Persamaan untuk luas aliran *crossflow* pada sisi *shell* dapat ditentukan sebagai berikut [19]:

$$S_m = L_{bc} \left[L_{bb} + \frac{D_{ctl}}{L_{tp,eff}} (L_{tp} - d_o) \right] \quad (3.7)$$

Dimana,

- S_m = Luas aliran *crossflow* pada sisi *shell* (m²)
- $L_{tp,eff}$ = Jarak efektif antar *tube* (m)

Jika *tube layout* yang dipilih 30° dan 90° ($\theta_{tp} = 30^\circ$ atau 90°) maka, $L_{tp,eff}$ sama dengan panjang antar *tube* atau *tube pitch* ($L_{tp,eff} = L_{tp}$). Ketika *tube layout* yang digunakan adalah 45° ($\theta_{tp} = 45^\circ$) maka $L_{tp,eff}$ sama dengan 0,707 L_{tp} ($L_{tp,eff} = 0,77 L_{tp}$).

b. *Shell side Heat Transfer and Pressure Drop Correction Factor*

Selanjutnya untuk menghitung koefisien perpindahan panas pada *shell*, maka diperlukan perhitungan faktor-faktor koreksi pada sisi *shell*.

Persamaan nilai koefisien perpindahan panas pada *shell* [12]:

$$h_s = h_{nb} F_b + h_{nc} \quad (3.8)$$

Dimana,

- h_s = Koefisien perpindahan panas pada *shell* (W/ m² °C)
 h_{nb} = Koefisien perpindahan panas *nucleat boiling* (W/ m² °C)
 h_{nc} = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²°C)
 F_b = Faktor koreksi efek sirkulasi

Perhitungan faktor koreksi tersebut menggunakan persamaan dibawah ini [12]:

$$F_b = 1 + 0,1 \left[\frac{0.785 D_b}{C_1 \left(\frac{P_T}{D_o}\right)^2 D_o} - 1 \right]^{0.75} \quad (3.9)$$

Dimana,

- D_b = diameter *bundle* atau diameter *outer tube-limit* (m)
 D_o = diameter *tube* (m)
 P_T = *tube pitch*
 C_1 = 1.0 untuk *square* dan *rotated square layouts*
 = 0.866 untuk *triangular layouts*

Perpindahan panas konveksi akan memberikan efek yang relatif kecil terhadap perpindahan panas keseluruhan. Ketika perbedaan suhu (ΔT_e) kurang dari 4°C, maka nilai h_{nc} akan berpengaruh terhadap perpindahan panas keseluruhan. Untuk perbedaan suhu yang lebih besar, Palen menyarankan menggunakan h_{nc} sebesar 250 W/ m² °C untuk *Hydrocarbon* [12].

Koefisien perpindahan panas *nucleat boiling* ditentukan dengan persamaan berikut [12]:

$$h_{nb} = 0.00417 P_c^{0.69} \hat{q}^{0.7} F_p F_m \quad (3.10)$$

Dimana,

- h_{nb} = Koefisien perpindahan panas *nucleat boiling* (W/ m² °C)
 P_c = *Fluid critical pressure* (kPa)
 \hat{q} = *heat flux* (W/ m²)
 F_p = Faktor koreksi tekanan
 F_m = Faktor koreksi fluida campuran

Perhitungan faktor-faktor koreksi tersebut menggunakan persamaan di bawah ini [12]:

- Faktor koreksi F_p dengan menggunakan persamaan berikut:

Jika nilai $P_r > 0,2$, maka:

$$F_p = 1,8 P_r^{0,17} \quad (3.11)$$

Jika nilai $P_r < 0,2$, maka:

$$F_p = 2,1 P_r^{0,27} + \left[9 + (1 - P_r^2)^{-1}\right] P_r^2 \quad (3.12)$$

Dimana,

F_p = Faktor koreksi tekanan

P_r = Tekanan *reboiler* (kPa)

- Faktor koreksi F_m dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$F_m = [1 + 0,023 \hat{q}^{0,15} BR^{0,75}]^{-1} \quad (3.13)$$

Dimana,

F_m = Faktor koreksi fluida campuran

\hat{q} = *Heat flux* (W / m²)

BR = *Boiling range* (K)

Nilai *actual heat flux* dapat dicari dengan persamaan berikut [12]:

$$\hat{q} = \frac{q}{N_t \pi D_o L} \quad (3.14)$$

Dimana,

\hat{q} = *heat flux* (W/m²)

q = laju perpindahan panas (W)

N_t = Jumlah *tube*

D_o = Diameter luar *tube* (m)

L = Panjang *tube* (m)

Persamaan kecepatan massa dan bilangan *Reynold* pada sisi *shell* adalah sebagai berikut [19]:

$$G_s = \frac{m_s}{S_m} \quad (3.15)$$

$$Re_s = \frac{G_s d_o}{\mu_s} \quad (3.16)$$

Dimana,

- G_s = Kecepatan aliran massa pada *shell* (kg/ s m²)
 m_s = Aliran massa pada *shell* (kg/s)
 μ_s = Viskositas fluida pada *shell* (kg/m s)
 Re_s = Bilangan *Reynold shell*

Persamaan nilai *Prandtl* pada *shell* [19]:

$$Pr_s = \frac{\mu_s C_{ps}}{k_s} \quad (3.17)$$

Dimana,

- Pr_s = Nilai *Prandtl*
 C_{ps} = Kapasitas panas spesifik pada *shell* (J/kg °C)
 K_s = Konduktifitas termal pada *shell* (W/ m °C)
 μ_s = Viskositas fluida pada *shell* (kg/m s)

3.4.2 Perhitungan Perpindahan Panas pada Sisi *Tube*

Pada perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* menggunakan metode dari *Bell-Delaware Method*. Berikut adalah persamaan-persamaan untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas pada *tube*.

Luas permukaan *tube* dapat dihitung dengan persamaan berikut [13]:

$$A_t = \frac{\pi d_i^2 N_t}{4} \quad (3.18)$$

$$d_i = d_o - 2 t_w \quad (3.19)$$

Dimana,

- A_t = Luas permukaan *tube* (m²)
 d_i = Diameter dalam *tube* (m)
 N_t = Jumlah *tube*
 t_w = Ketebalan *tube* (m)

Kecepatan aliran massa pada *tube* dihitung dengan persamaan berikut [13]:

$$G_t = \frac{m_t N_p}{A_t} \quad (3.22)$$

Dimana,

- G_t = Kecepatan aliran massa pada *tube* (kg/ s m²)
 m_t = Massa aliran pada *tube* (kg/s)
 N_p = Jumlah *tube pass*

Persamaan untuk menentukan nilai *Reynold* pada sisi *tube* adalah sebagai berikut [13]:

$$Re_t = \frac{G_t d_i}{\mu_t} \quad (3.20)$$

Dimana

- Re_t = Bilangan *Reynold*
 μ_t = Viskositas fluida pada *tube* (kg/m s)

Nilai *Prandtl* pada *tube* dapat dihitung dengan persamaan berikut [13]:

$$Pr_t = \frac{Cp_t \mu_t}{K_t} \quad (3.21)$$

Dimana,

- Cp_t = Kapasitas panas spesifik pada *tube* (J/kg °C)
 K_t = Konduktivitas termal pada *tube* (W/ m °C)

Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* dapat dihitung dengan persamaan *CollBurn* [13]:

$$h_t = 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{0,4} \left(\frac{K_t}{d_i}\right) \left(\frac{\mu_t}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (3.22)$$

Dimana,

- h_t = Koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* (w/m² °C)

3.4.3 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Pada perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan dapat dicari dengan persamaan berikut [13]:

$$U_c = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_s} + \frac{d_o}{h_t d_i}\right) + cond} \quad (3.23)$$

$$cond = \frac{d_o \left(\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)\right)}{2 K_{cs}} \quad (3.24)$$

Dimana,

U_c = Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi bersih ($\text{w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

$Cond$ = Perpindahan panas konduksi ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$)

K_{cs} = konduktifitas termal material *tube* ($\text{W} / \text{m } ^\circ\text{C}$)

Persamaan nilai *heat duty* dapat ditentukan melalui persamaan (2.4). Luas permukaan perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan berikut [13] :

$$A_o = \frac{22}{7} d_o L_{ti} N_t N_s \quad (3.25)$$

Dimana,

A_o = Luas perpindahan panas (m^2)

d_o = Diameter dalam *tube* (m)

N_t = jumlah *tube*

N_s = *number of pass shell*

Dari persamaan (2.4) dapat ditentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi actual (U_a) dengan menggunakan persamaan (2.10).

Sedangkan koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi terjadi *fouling* dapat dihitung dengan persamaan berikut [13]:

$$\frac{1}{U_f} = \frac{d_o}{d_i h_i} + \frac{d_o R_{f,i}}{d_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2 K_w} + R_{f,o} + \frac{1}{h_o} \quad (3.26)$$

Dimana

U_f = koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi terjadi *fouling* ($\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

d_o = Diameter luar *tube* (m)

d_i = Diameter dalam *tube* (m)

$R_{f,i}$ = Resistansi *fouling* pada *tube* ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$)

$R_{f,o}$ = Resistansi *fouling* pada *shell* ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$)

h_i = Koefisien perpindahan panas pada *tube* ($\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

h_o = Koefisien perpindahan panas pada *shell* ($\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

K_w = Konduktifitas termal material *tube* ($\text{W} / \text{m } ^\circ\text{C}$)

3.4.3 Perhitungan Pressure Drop

Pada perhitungan *Pressure drop* pada sisi *tube* dengan menggunakan *Pethukov and Popov's Methods* [13]:

$$\Delta P_t = \left[2 x f \frac{L x Np}{d_i} + 2 x Np \right] x \rho_t x V^2 \quad (3.27)$$

$$f = (1,58 \ln Re_t - 3,28)^2 \quad (3.28)$$

Dimana,

ΔP_t = *Pressure drop* sisi *tube* (kg/cm²)

f = Faktor friksi

L = Panjang *tube* (m)

ρ_t = Kalor jenis pada *tube* (kg/m³)

V = Kecepatan fluida (m/s)

Pada perhitungan *pressure drop* pada sisi *shell* dengan menggunakan *Bell Delaware's Methods* [13]:

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N_b + 1)}{\rho_s d_o \left(\frac{\mu_s}{\mu_w} \right)^{0,14}} \quad (3.29)$$

$$f = e^{0,576 - 0,19 \ln Re_s} \quad (3.30)$$

Dimana,

ΔP_s = *Pressure drop* sisi *shell* (kg/cm²)

f = Faktor friksi

ρ_s = Kalor jenis pada *shell* (kg/m³)

3.4 Pemodelan Fouling

Untuk menghitung nilai *fouling* pada sisi *shell* dan *tube* menggunakan persamaan dari Polley Model sebagai berikut [16]:

$$\frac{dR_f}{dt} = \alpha Re^{-0,8} Pr^{-\frac{1}{3}} \exp\left(-\frac{E_a}{RT_w}\right) - \gamma Re^{0,8} \quad (3.31)$$

Dimana,

$\frac{dR_f}{dt}$ = Resistansi *fouling* (m² K/J)

T_w = Temperatur *tube wall* (K)

α = 277,8 m²K/J

E_a = 48 KJ/mol

γ = 4,17 . 10⁻¹³ m²K/J

$$R = 0,008314 \text{ kJ/mol K}$$

Temperatur *tube* wall ditentukan dengan persamaan berikut [13]:

$$T_w = T_{t,av} + \frac{T_{s,av} - T_{t,av}}{1 + \frac{h_t}{h_s}} \quad (3.32)$$

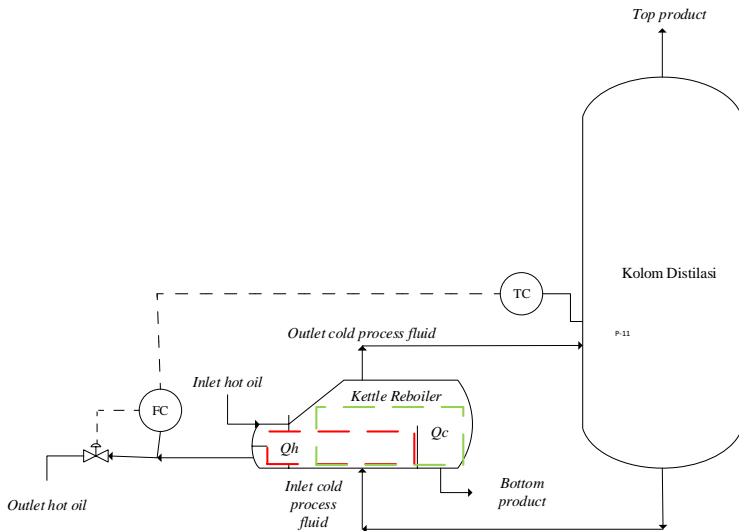
Dimana,

$T_{t,av}$ = Temperatur rata-rata pada *tube* ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{s,av}$ = Temperatur rata-rata pada *shell* ($^{\circ}\text{C}$)

3.5 Pemodelan *Heat & Mass Balance*

Pemodelan pada *heat & mass balance* didasarkan pada model *lumped parameter* dengan tidak ada panas yang hilang. Gambar 3.4 merupakan skema dari *kettle reboiler* yang telah dimodelkan menggunakan persamaan (2.1), dimana panas yang berasal dari fluida dingin (Q_c) ditunjukkan pada area dengan garis putus-putus berwarna hijau, dan panas yang berasal dari fluida panas (Q_h) ditunjukkan pada area dengan garis putus-putus berwarna merah. Pada persamaan (2.2) yang berupa perhitungan panas yang berasal dari fluida dingin dapat ditinjau dari fluida yang masuk dan keluar pada sisi *shell reboiler*. Sedangkan pada persamaan (2.3), perhitungan panas yang berasal dari fluida panas dapat ditinjau dari fluida yang masuk dan keluar pada sisi *tube*. Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi aktual (U_a) pada *reboiler* dapat dihitung dengan persamaan (2.10).



Gambar 3.4 Kettle Reboiler dan Kolom Distilasi

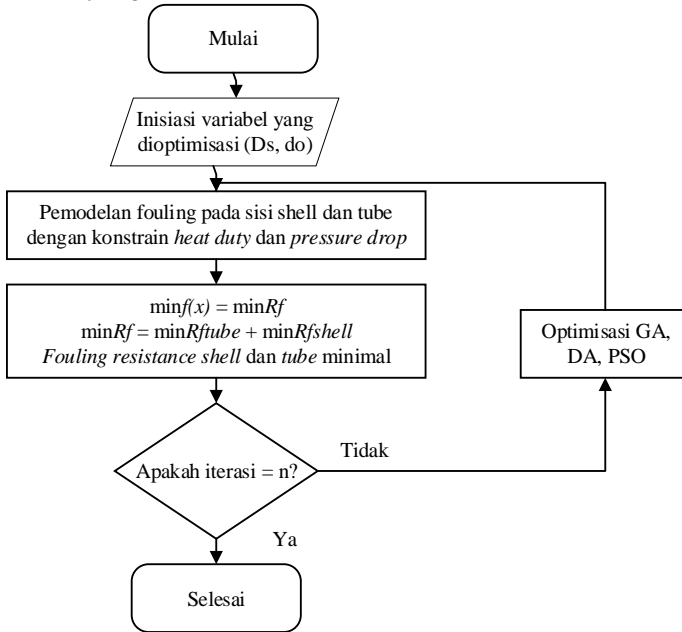
3.6 Validasi Pemodelan

Validasi pemodelan bertujuan untuk mengetahui perbandingan dari hasil permodelan *heat exchanger* dengan data desain atau *data sheet*. Data desain dan *data sheet* diasumsikan sebagai data yang valid yang digunakan sebagai pedoman. Validasi dikatakan benar apabila perbedaan nilai antara permodelan dengan data desain kurang lebih sama.

3.7 Optimisasi *Fouling Resistance* dengan Menggunakan Metode Stokastik

Pada tahap ini dilakukan optimisasi desain *reboiler* yang optimal. Fungsi tujuan optimisasi adalah *fouling resistance* yang minimal pada tiga kondisi *feed* yang masuk dalam *reboiler* yaitu maksimum, normal, dan minimum. Variabel yang dioptimisasi adalah diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (d_o) dengan konstrain adalah *heat duty* dan *pressure drop*. Optimisasi dilakukan dengan menggunakan beberapa metode stokastik yakni *Genetic Algorithm (GA)*, *Duelist Algorithm (DA)* dan *Particle*

Swarm Optimization (PSO). Gambar 3.5 merupakan *flow chart* optimisasi yang dilakukan.



Gambar 3.5 Diagram Optimisasi *Fouling Resistance*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemodelan *Reboiler* dan *Fouling Resistance*

Pemodelan *heat exchanger* dan *fouling resistance* dibutuhkan pada proses desain *reboiler* dengan tipe *Kettle Reboiler*. Pemodelan tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan panas baik di sisi *shell* (h_s) maupun *tube* (h_t), koefisien perpindahan panas keseluruhan dalam kondisi *fouling* (U_f), *heat duty* (Q), *pressure drop* di sisi *shell* (Δp_s) dan di sisi *tube* (Δp_t), *fouling resistance* di sisi *shell* (R_{fs}) dan di sisi *tube* (R_{ft}). Adapun perhitungan pemodelan *heat exchanger* dan *fouling resistance* menggunakan persamaan yang telah dibahas pada bab 2 dan 3.

Perhitungan tersebut membutuhkan spesifikasi *heat exchanger*. Spesifikasi merupakan input yang akan digunakan untuk pemodelan dan dapat digunakan sebagai variabel dalam proses optimisasi. Spesifikasi yang dibutuhkan diantaranya adalah dimensi *reboiler*, kondisi operasi dan *properties* fluida seperti yang disajikan pada Tabel 4.1.

Proses pembentukan *fouling* pada *reboiler* dipengaruhi oleh *properties* fluida. Selain itu, proses desain *reboiler* juga memerlukan data *properties* fluida sehingga dapat ditentukan geometri yang optimal sesuai fluida yang mengalir pada sisi *shell* dan *tube*. Fluida yang memiliki kecepatan tinggi dapat memperlambat proses terbentuknya *fouling*.

Apabila data yang dibutuhkan telah lengkap, kemudian dilakukan pemodelan *reboiler* dan *fouling resistance*. Persamaan pemodelan *reboiler* pada bab 2 dan bab 3 disesuaikan dengan jenis dan spesifikasi *reboiler* yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pemodelan yang telah dihitung kemudian dibandingkan dengan data desain atau data pada *sheet reboiler*.

Tabel 4.1 *Properties Fluida pada Kettle Reboiler*

	<i>Shell (cold side)</i>		<i>Tube (hot side)</i>	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Fluida	<i>Hydrocarbon</i>		<i>Hot Oil</i>	
Aliran Masa (kg/s)	15,3914	15,3914	7,5458	7,5458
Temperatur (°C)	73,28	79,74	229,2	94,74
Massa jenis (kg/m ³)	444,6	447,3	807,9	908,8
Viskositas (kg/ m s)	0,0000779	0,00003	0,0003	0,0008
Kalor jenis (kcal/kg °C)	0,828	0,5916	0,5480	0,4510
Konduktivitas termal (kcal/s m °C)	0,0000165	0,0000111	0,0000220	0,0000268
kecepatan (m/s)	0,12		1,39	
<i>Pressure drop</i> (kg/cm ²)	0,4588		0,7138	

Tabel 4.2 merupakan hasil pemodelan *reboiler* dan *fouling resistance* yang telah dibandingkan dengan data desain *reboiler*. Variasi merupakan prosentase selisih antara hasil pemodelan dengan data desain *reboiler*, sehingga dapat diketahui seberapa *valid* hasil pemodelan yang telah dihitung.

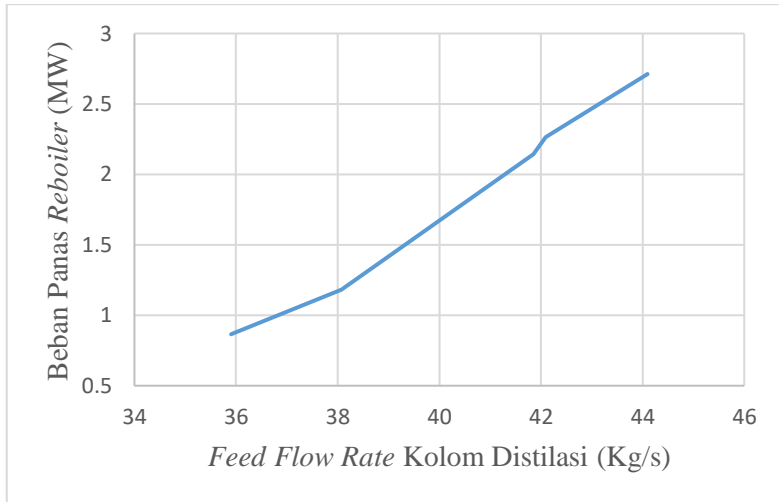
Tabel 4.2 Hasil Pemodelan *Reboiler* dan *Fouling Resistance*

Variabel	Satuan	Desain	Kalkulasi	Variasi
h_s	W/m ² °C	1370	1312,4354	4.2%
h_t	W/m ² °C	2158	2219,2277	3%
U_f	W/m ² °C	552,11	555,3595	1%
A_o	m ²	57,89	56,8778	2%
Q	MW	2,120591	2,120272	0%
Δp_s	Psi	0,4663	0,445	5%
Δp_t	Psi	9,4442	8,9301	5%
R_{fs}	m ² °C/W	0,000176	0,000176	0%
R_{ft}	m ² °C/W	0,000176	0,000176	0%

4.2 Pengaruh Perubahan *Feed Flow Rate* pada Kolom Distilasi

Saat mendesain kolom, kondisi *feed (flow rate)* masukan (*reflux ratio*) adalah tetap. Namun pada saat kondisi aktual operasi sangat besar kemungkinan terjadi perubahan *flow rate* pada *feed*. Sehingga massa, komposisi, dan *reflux feed* juga akan berubah untuk menjaga produk distilatnya. Hal ini menyebabkan adanya perubahan beban panas yang harus diberikan *reboiler*. Beban panas ini juga akan menyebabkan terjadi perubahan laju aliran massa yang masuk ke *reboiler*. Perubahan laju aliran massa dapat mengakibatkan perubahan *velocity* fluida yang dapat menurunkan atau menaikkan *Reynold Number* dan dapat menyebabkan *fouling*.

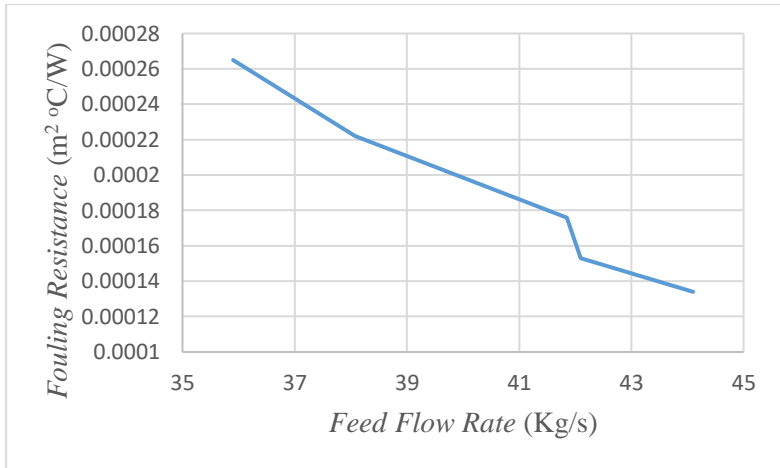
Perubahan *feed flow rate* yang masuk ke *reboiler* akibat perubahan *feed flow rate* yang masuk ke kolom distilasi dapat disimulasikan dengan Hysys. Simulasi Hysys berfungsi untuk mengetahui kondisi aktual dari *plant* kolom distilasi dan *reboiler*. Variasi perubahan *feed flow rate* kolom distilasi yang diberikan adalah penurunan *feed* sebesar 10% dan 5% dari *feed* normal, serta kenaikan *feed* sebesar 5% dan 10% dari *feed* normal.



Gambar 4.1 Pengaruh Besar *Feed Flow Rate* Kolom Distilasi terhadap Beban Panas *Reboiler*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin besar *feed flow rate* kolom distilasi, maka akan semakin besar pula beban panas yang diterima *reboiler*. Hal ini dikarenakan nilai *feed flow rate* akan berbanding lurus dengan nilai *heat duty* berdasarkan persamaan *heat and mass balance*. Pengaruh perubahan laju aliran panas yang masuk *reboiler* ini akan berpengaruh pada nilai *fouling resistance*.

Nilai *feed flow rate* kolom distilasi akan mempengaruhi *fouling resistance*. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin tinggi *feed flow rate* kolom distilasi, maka nilai *fouling resistance* akan turun. Hal ini dikarenakan dengan kenaikan *feed flow rate* kolom distilasi maka *heat duty* yang akan diterima *reboiler* juga meningkat. Beban panas yang meningkat ini akan memperbesar nilai *velocity fluida* yang melewati *reboiler* dan menyebabkan kenaikan *Reynold Number*. Kenaikan *Reynold Number* ini akan menurunkan *fouling resistance*.



Gambar 4.2 Pengaruh *Feed Flow Rate* Kolom Distilasi terhadap *Fouling Resistance*

4.3 Perancangan dan Pengujian Optimisasi

Proses optimisasi dilakukan untuk memperoleh nilai yang optimal sesuai dengan fungsi tujuan. Optimisasi memiliki beberapa tahap yaitu menentukan fungsi tujuan optimisasi, menentukan variabel optimisasi, menentukan *properties* optimisasi, dan melakukan optimisasi sistem.

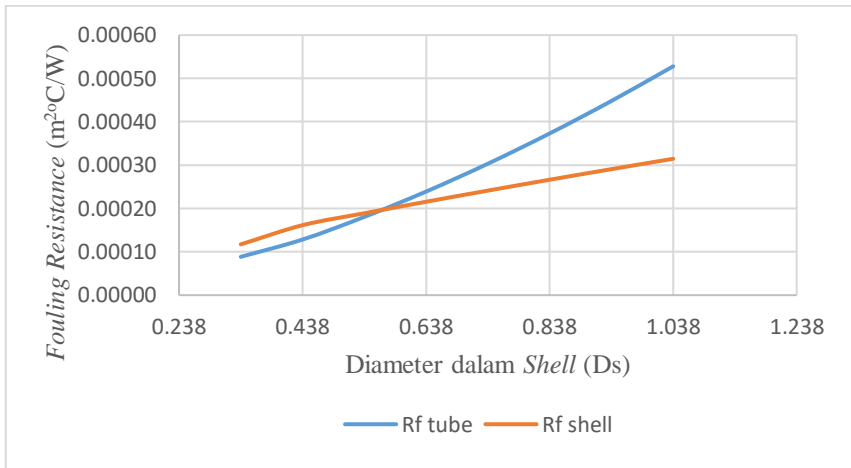
4.3.1 Penentuan Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan optimisasi dalam tugas akhir ini adalah *fouling resistance* yang minimal baik pada sisi *shell* dan *tube*.

4.3.2 Penentuan Variabel yang Dioptimisasi

Pada optimisasi desain *Kettle Reboiler Heat Exchanger* menggunakan 2 variabel. Variabel tersebut diperoleh melalui proses pemodelan *reboiler* dan *fouling resistance*. Variabel yang mempengaruhi desain *reboiler* tipe *Kettle Reboiler* ini adalah diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (d_o). Variabel-variabel tersebut dijadikan sebagai variabel yang akan dioptimisasi.

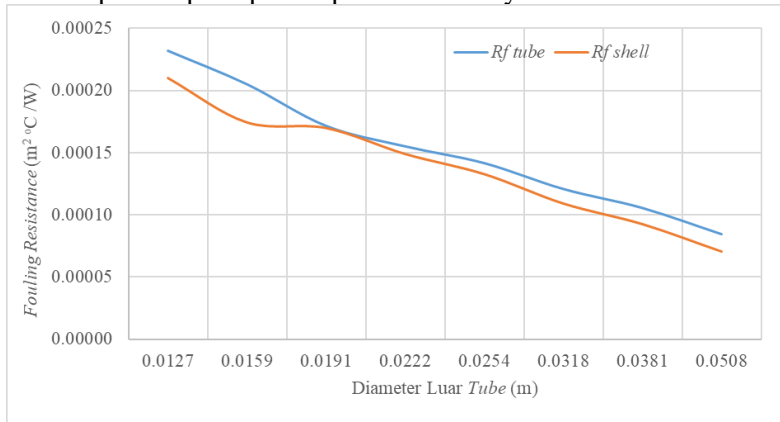
Pengaruh variabel yang dioptimisasi terhadap *fouling resistance* dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa diameter dalam *shell* akan mempengaruhi nilai *fouling resistance* baik di sisi *shell* atau sisi *tube*. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya nilai diameter dalam *shell* (D_s) maka nilai *fouling resistance* akan semakin bertambah. Diameter dalam *shell* menyebabkan perubahan pada luas permukaan sisi *shell* dan *tube*. Semakin besar diameter dalam *shell* maka luas permukaan pada sisi *shell* dan *tube* akan semakin besar juga, sehingga kecepatan aliran massa pada *shell* dan *tube* semakin rendah. Hal ini dapat menyebabkan bilangan *Reynold* rendah dan menyebabkan *fouling* semakin besar.



Gambar 4.3 Pengaruh Diameter dalam *Shell* (D_s) terhadap *Fouling Resistance*

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa diameter luar *tube* juga mempengaruhi *fouling resistance* baik di sisi *shell* maupun di sisi *tube*. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar diameter luar *tube* maka *fouling resistance* akan semakin rendah. Hal ini dikarenakan adanya bilangan *Reynold* di sisi *shell* dan sisi *tube* dipengaruhi langsung oleh diameter luar *tube*. Semakin besar diameter luar *tube* menyebabkan bilangan *Reynold* juga akan

semakin besar. Persamaan *fouling* dengan menggunakan *Polley Model* bergantung pada perubahan bilangan *Reynold*, semakin besar bilangan *Reynold* maka *fouling resistance* akan semakin rendah. Hal ini menandakan bahwa proses penggerusan *fouling* lebih cepat daripada proses pembentukannya.



Gambar 4.4 Pengaruh Diameter Luar Tube (D_o) terhadap *Fouling Resistance*

4.3.3 Penentuan *Properties* pada Teknik Optimisasi

Optimisasi dilakukan dengan menggunakan beberapa metode stokastik yaitu dengan *Genetic Algorithm (GA)*, *Duelist Algorithm (DA)*, dan *Particle Swarm Optimization (PSO)*. *Properties* yang dibutuhkan dalam optimisasi diantaranya sebagai berikut

- a. Jumlah populasi
Jumlah populasi yang digunakan adalah 300.
- b. Jumlah variabel yang dioptimisasi
Variabel yang mempengaruhi fungsi tujuan yakni diameter dalam *shell* (D_s), dan diameter luar *tube* (d_o), maka jumlah variabel yang dioptimisasi adalah 2.
- c. Batas atas dan batas bawah optimisasi
Batas atas dan batas bawah optimisasi digunakan sebagai jangkauan untuk mengacak nilai-nilai variabel optimisasi agar memenuhi fungsi tujuan. Batas atas dan batas bawah diperoleh

berdasarkan standar TEMA yang disesuaikan dengan pemodelan *heat exchanger*. Batas atas dan batas bawah variabel optimisasi sebagai berikut :

- diameter dalam *shell* = 0,3 m – 0,6m
- diameter luar *tube* = 0,00656 m – 0,0161 m

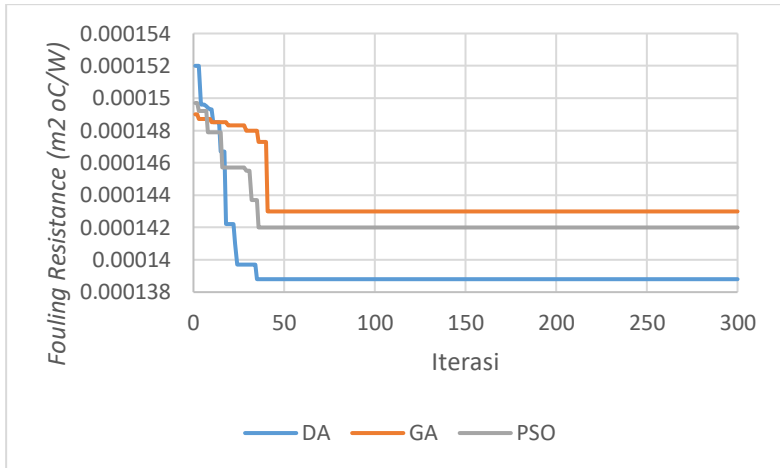
d. Iterasi

Iterasi digunakan untuk menentukan jumlah perputaran proses optimisasi. Pada tugas akhir ini digunakan 300 kali iterasi. Hal ini ditentukan berdasarkan grafik hasil optimisasi pada *software* MATLAB yang telah menunjukkan nilai yang konstan pada iterasi ke 300. Apabila grafik telah konstan dan hasil optimisasi tidak berubah, maka iterasi telah selesai.

4.3.4 Optimisasi *Fouling Resistance* dan Desain pada *Reboiler*

Proses optimisasi dilakukan dengan menggunakan metode stokastik yaitu *Genetic Algorithm (GA)*, *Duelist Algorithm (DA)* dan *Particle Swarm Optimization (PSO)*. Fungsi tujuan, variabel optimisasi dan konstrain merupakan komponen utama dalam proses optimisasi. Variabel yang dioptimisasi adalah diameter dalam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (d_o) dengan konstrain *heat duty* (Q) dan *pressure drop*. Konstrain adalah Batasan yang harus dipenuhi agar kinerja *reboiler* efisien. Nilai konstrain *heat duty* (Q) pada *Kettle Reboiler* ini harus sesuai dengan data desain *reboiler* yaitu sebesar 2,1202 MW. *Heat duty* adalah panas yang harus diterima oleh *reboiler*. Apabila nilai *heat duty* tidak terpenuhi maka efisiensi *reboiler* menjadi tidak maksimal. *Pressure drop* pada sisi *shell* (Δp_s) dan *tube* (Δp_t) juga tidak boleh melebihi dari data desain yaitu sebesar 0,4663 psi dan 9,4442 psi.

Semakin kecil diameter luar *tube* maka *pressure drop* pada sisi *shell* dan *tube* akan semakin besar, semakin kecil nilai diameter dalam *shell* maka nilai *pressure drop* semakin besar. Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan hasil optimisasi *fouling resistance* dengan beberapa metode stokastik yakni *Genetic Algorithm (GA)*, *Duelist Algorithm (DA)* dan *Particle Swarm Optimization (PSO)*.



Gambar 4.5 Hasil Optimisasi *Fouling Resistance* pada *Software MATLAB*

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil *fouling resistance* yang paling minimal dari setiap metode stokastik yang digunakan. Pada metode *Genetic Algorithm (GA)* hasil fungsi obyektif yang optimal yaitu pada nilai *fouling resistance* pada sisi *tube (Rft)* adalah $0,00014 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ atau berkurang 21 % dan *fouling resistance* pada sisi *shell (Rfs)* adalah $0,00014351 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ atau berkurang 18 %. Pada metode *Duelist Algorithm (DA)* hasil fungsi obyektif yang optimal yaitu pada nilai *fouling resistance* pada sisi *tube (Rft)* adalah $0,00013256 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ atau berkurang 25 % dan *fouling resistance* pada sisi *shell (Rfs)* adalah $0,0001373 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ atau berkurang 22 %. Pada metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* hasil fungsi obyektif yang optimal setelah dioptimisasi pada nilai *fouling resistance* pada sisi *tube (Rft)* adalah $0,00014 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ atau berkurang 20 % dari data desain dan *fouling resistance* pada sisi *shell (Rfs)* adalah $0,00014351 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ atau berkurang 18 % dari data desain.

4.4 Analisis Hasil Optimisasi

Hasil optimisasi pada *Kettle Reboiler* ini meliputi hasil optimisasi pada perubahan geometri *reboiler* dan perubahan kondisi operasi *reboiler*.

4.4.1 Analisis Geometri *Reboiler*

Pada hasil optimisasi geometri *reboiler* dengan beberapa metode *stochastic algorithm* diketahui bahwa dua variabel yang dioptimisasi yaitu D_s dan d_o memiliki ukuran yang lebih kecil dari data desain. Perubahan ukuran geometri variabel tersebut menyebabkan geometri yang lainnya juga mengalami perubahan ukuran. Hasil optimisasi terbaik dihasilkan oleh *Duelist Algorithm (DA)* yang menunjukkan penurunan nilai pada diameter salam *shell* (D_s) dan diameter luar *tube* (d_o) sebesar 32 % dan 16 %.

Pada sisi *tube*, ketika diameter luar *tube* (d_o) berkurang maka ukuran geometri diameter luar *tube* (d_i) juga akan berkurang. Diameter luar *tube* (d_i) berbanding lurus dengan luas permukaan *tube* (A_t). Luas permukaan *tube* (A_t) yang berkurang mempengaruhi langsung pada nilai *Reynold Number* (Re).

Pada sisi *shell*, ketika diameter dalam *shell* (D_s) berkurang maka diameter *tube bank outer* ($Dotl$) juga akan berkurang. Nilai diameter *tube bank outer* ($Dotl$) ini menyebabkan diameter *bundle* ($Dctl$) juga akan berkurang dari data desain, sehingga menyebabkan luas aliran *crossflow* pada sisi *shell* (S_m) juga akan menurun. Luas aliran *crossflow* (S_m) yang turun menyebabkan bilangan *Reynold Number* pada sisi *shell* (Re_s) meningkat. Perubahan nilai pada geometri ini juga akan berpengaruh pada hasil optimisasi dari fungsi objektif yaitu *fouling resistance* (R_f).

Tabel 4.3 Hasil Optimisasi Geometri *Reboiler* dengan Beberapa Metode *Stochastic Algorithm*

Variabel	Satuan	Desain	GA	Differ.	PSO	Differ.	DA	Differ.
do	M	0,0191	0,0164	-14%	0,016	-16%	0,0169	-11%
Ds	M	0,4380	0,3	-32%	0,3	-32%	0,3	-32%
di	M	0,0157	0,013	-17%	0,0126	-20%	0,01319	-16%
ltp	M	0,0238	0,0205	-14%	0,02	-16%	0,02	-16%
Nt		95	90,79	-6%	90	-5%	90	-5%
At	m ²	0,0185	0,0147	-20%	0,0144	-22%	0,01492	-19%
Dotl	M	0,4259	0,288	-32%	0,288	-32%	0,287	-33%
Dctl	M	0,4069	0,2716	-33%	0,2631	-35%	0,2742	-33%
Sm	m ²	0,0578	0,0551	-5%	0,05435	-6%	0,0553	-5%

4.4.2 Analisis Hasil Kondisi Operasi

Optimisasi yang dilakukan pada desain *reboiler* akan memberikan pengaruh pada kondisi operasi dari *reboiler* baik di sisi *shell* maupun *tube*. Perubahan kondisi operasi tersebut terjadi akibat dari adanya perubahan pada geometri *reboiler*. Tabel 4.4 menunjukkan hasil perubahan nilai kondisi operasi setelah dilakukan proses optimisasi menggunakan beberapa metode stokastik.

Berdasarkan tabel 4.4, hasil optimisasi pada dua variabel geometri *reboiler* yaitu diameter luar *tube* (d_o) dan diameter dalam *shell* (D_s) juga akan mempengaruhi perubahan kondisi operasi pada *reboiler*.

Sesuai dengan konstrain yang telah ditentukan, nilai *heat duty* (Q) pada *reboiler* tidak boleh melebihi data desain *reboiler* sebesar 2,1 MW. Optimisasi ini dilakukan dengan kondisi nilai *heat duty* tetap atau stabil pada nilai 2,1 MW. Selain itu, nilai nilai *pressure drop* pada sisi *shell* (Δp_s) dan sisi *tube* (Δp_t) juga tidak boleh melebihi dari data desain.

Penurunan nilai *fouling resistance* (R_f) akan mengakibatkan nilai *overall heat transfer coefficient* (U_f) akan meningkat. Peningkatan nilai (U_f) yang tertinggi yaitu pada metode *Duelist Algorithm* (DA) sebesar 632,0872 W/m².°C atau 18 % yang diakibatkan karena adanya penurunan nilai *fouling resistance* (R_f). Hal ini dapat juga terjadi karena setelah dilakukan optimisasi desain, maka nilai *heat transfer area* (A_o) akan semakin berkurang menjadi sebesar 50,0253 m² atau berkurang 12 %.

Tabel 4.4 Hasil Optimisasi Kondisi Operasi *Reboiler* dengan Beberapa Metode *Stochastic Algorithm*

Var.	Design	GA	Differ.	DA	Differ.	PSO	Differ.
fs	0,2304	0,2222	-4%	0,2233	-3%	0,2245	-3%
ps	0,445	0,4026	-9%	0,3899	-12%	0,4013	-10%
ft	0,005682	0,0056	-1%	0,0056	-1%	0,0052	-7%
pt	9,4442	8,2732	-7%	8,0957	-14%	8,3851	-6%
Rft	0,000176	0,00014	-21%	0,0001325	-25%	0,00014	-20%
Rfs	0,000176	0,0001421	-19%	0,0001373	-22%	0,0001435	-18%
Cond	0,00017535	0,00018425	5%	0,00018483	5%	0,00018483	5%
Uf	533,7427	618,3921	16%	632,0872	18%	620,1029	16%
Ao	57,89	50,8164	-11%	50,0253	-12%	50,6391	-11%
Q	2,12	2,10526	-1%	2,1053	-1%	2,13	0%

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Optimisasi pada desain *kettle reboiler* menggunakan Teknik optimisasi stokastik memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan laju aliran panas yang dibutuhkan kolom distilasi mempengaruhi nilai *fouling resistance*. Semakin besar laju aliran panas, maka *fouling resistance* akan semakin kecil.
2. *Fouling resistance* yang minimal dapat diperoleh dengan geometri yang optimal yaitu diameter dalam *shell* (D_s) sebesar 0,3 m, dan diameter luar *tube* (d_o) sebesar 0,0169 m.

5.2 Saran

Adapun saran dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Heat exchanger* yang akan diteliti memiliki jenis yang berbeda selain *kettle reboiler*.
2. *Fouling resistance* dimodelkan dengan menggunakan persamaan yang lain, selain Polley Model.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Amer, M.-R. Chen, U. Sajjad, H. M. Ali, N. Abbas, M.-C. Lu and C.-C. Wang, "Experiments for Suitability of Plastic Heat Exchangers for Dehumidification Applications," *Applied Thermal Engineering*, 2019.
- [2] H. A.-H. Ibrahim, "Fouling in Heat Exchanger," *INTECH*, 2012.
- [3] M. Nitsche and R. O. Gbadamosi, *Heat Exchanger Design Guide: A practical Guide for Planning, Selecting and Designing of Shell and Tube Exchangers*, Elsevier Science, 2015.
- [4] Yamashita and Yoshiyuki, "Model-based Monitoring of Fouling in a Heat Exchanger," *Advanced Control of Industrial Processes (adCONIP)*, pp. 453-456, 2017.
- [5] M. Ratel, "Investigation of Fouling Rates in A Heat Exchanger Using An Innovative Fouling Rig," pp. 36-41, 2013.
- [6] Tony and Barletta, "Revamping FCC Units: Debutanizer Reboiler Fouling," *World Refining*, pp. 20-23.
- [7] D. Wilson, G. Polley and S. Pugh, "Ten Years of Ebert, Panchal and The "Threshold Fouling" Concept," vol. 6, pp. 25-35, 2005.
- [8] T. R. Biyanto and T. Budiati, "Optimization of Design Heat Exchanger to Reduce Fouling Resistance in Milk Pasteurization," in *Engineering Physics International Conference*, Surabaya, 2018.
- [9] E. Utami, A. Malwindasari and T. R. Biyanto, "Optimization of Geometries Shell and Tube Heat Exchanger to Minimize Fouling Resistance by Utilizing Polley Threshold Model," in *Engineering Physics International Conference*, Surabaya, 2019.

- [10] R. V. Rao and A. Saroj, "Economic Optimization of Shell and Tube Heat Exchanger using Jaya," *Applied Thermal Engineering*, no. 6, pp. 473-487, 2017.
- [11] R. Thirumarimurugan, "Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger Using Misic System," *American Journal of Applied Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 548-552, 2008.
- [12] R. Serth and T. Lestina, *Process Heat Transfer: Principles, Applications, and Rules of Thumb*, Texas: Elsevier, 2014.
- [13] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*, New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1983.
- [14] S. Skogestad, E. M. B. Aske and S. Strand, "Impelentation of MPC on A Deethanizer at Karsto Gas Plant," in *16th Triennial World Congress*, Prague, Czech Republic, 2005.
- [15] J. Nasr, M. Reza, M. Givi and Mahdi, "Application of Threshold Model with Various Tube Wall Temperatures for Crude Oil Preheat Train Fouling," *Iran J. Chem. Eng.*, vol. 25, no. 3, pp. 49-58, 2006.
- [16] A. Costa, V. Tavarez, J. L. Borges, E. M. Queiroz, F. L. P. Pessoa, F. Liporace and S. G. Oliveira, "Parameter Estimation of Fouling Models in Crude Preheat Trains," *Internatinal Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*, pp. 39-46, 2011.
- [17] R. Fourer, D. Gay and B. Kernighan, "Linear Programs: Variabels, Objectives and Constraints," 2003.
- [18] T. Biyanto, H. Fibrianto and M. Ramasamy, "Thermal and Hydraulic Impacts Consideration in Refinery Crude Preheat Train Celaning Scheduling Using Recent Stochastic Optimization Methods," *Applied Thermal Engineering*, 2016.
- [19] K. Thulukkanam, *Heat Exchanger Desaign Handbook*, United Kingdom: CRC Press, 2011.
- [20] S. R. C. Byrne, *Standarts of The Tubular Exchanger Manufacturers Association*, New York: Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2007.

- [21] R. V. Rao and A.S., "Constrained Economic Optimization of Shell and Tube Heat Exchangers using Elitist-Jaya Algorithm," *Energy*, pp. 785-800, 2017.
- [22] F. Smaili, V. S. Vassiliadis and D. I. Wilson, "Mitigation of Fouling in Refinery Heat Exchanger Networks by Optimal Manegement of Cleaning," *Energy and Fuels*, vol. V, no. 15, pp. 1038-1056, 2001.
- [23] S. Kakac and H. Liu, *Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design*, 2 ed., New York: CRC Press, 2002.
- [24] M. Nitsche and R. O. Gbadamosi, "Design Of Evaporators," in *Heat Exchanger Design Guide*, 2016, pp. 147-179.
- [25] R. Sinnott and G. Towler, "Heat Transfer Equipment," in *Chemical Engineering Design*, 2015, pp. 773-927.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran A : Data Sheet Reboiler

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET						Page 1
						SI Units
Customer: HPI			Job No: 9490			
Address: Gresik-Indonesia			Reference No: 80705153			
Plant Location: De-ethanizer Reboiler			Date: 9/2/2008			
Scope of Unit: De-ethanizer Reboiler			Rev: 10			
Surf/Inlet (Gross/Eff): 58.45 / 57.89 m ²			Item No: 482-H-03			
3 438.00 x 1050.00 x 4999.94 m; Type: BKU; Horiz; Connected In: 1 Parallel; 1 Series			Shell/Inlet (Gross/Eff): 58.45 / 57.89 m ²			
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation			Shell Side		Tube Side	
Fluid Name			Hydrocarbon		Hot Oil	
Fluid Quantity, Total			kg/hr		kg/hr	
Vapor (In/Out)			2728.7 / 2540.0		27164.9	
Liquid			59409.0		27164.9	
Steam			0.0000		0.0000	
Water			0.0000		0.0000	
Noncondensables			0.0000		0.0000	
Temperature (In/Out)			73.28 / 73.28		229.15 / 217.15	
Specific Gravity			0.4446		0.8078	
Viscosity			mN-s/m ²		0.0779 / 0.0779	
Molecular Weight, Vapor			30.00		30.00	
Molecular Weight, Noncondensables			30.00		30.00	
Specific Heat			kJ/kg-C		2.4768 / 3.440	
Thermal Conductivity			W/m-C		0.0259 / 0.067	
Latent Heat			kJ/kg		239.492 / 235.595	
Inlet Pressure			kPa		2156.70 / 795.129	
Velocity			m/s		0.15 / 1.30	
Pressure Drop, Allow/Calc			kPa		4.500 / 70.001	
Fouling Resistance (min)			m ² -K/W		0.000176 / 0.000176	
Heat Exchanged			W		66.31	
Transfer Rate, Service			W/m ² -K		Clean: 66.31 / Actual: 66.31	
			Clean		Actual	
CONSTRUCTION OF ONE SHELL						
			Shell Side		Tube Side	
Design/Test Pressure			kPaG		3200.05 / 2500.04	
Design Temperature			C		-196.00 / 250.00	
No Passes per Shell			1		6	
Corrosion Allowance			mm		0.0000 / 0.0000	
Connections			in		1 @ 200.000 / 1 @ 80.000	
Size & Rating			Out		1 @ 150.000 / 1 @ 80.000	
Intermediate			in		1 @ 150.000 / 1 @ 80.000	
Tube No.			950		100	
Tube Type			OD 19.950 mm		Tub Avg: 1.651 mm	
Shell Type			OD 438.000 mm		Length 5.000 m	
Channel or Bonnet			OD		Pitch 23.810 mm	
Tubesheet Stationary			Material: 316 STAINLESS STEEL (17 CR, 12 NI)		Layout 60	
Floating Head Cover			Channel Cover		None	
Baffles-Cross			Type: SUPPORT		%Cut (Diam): 990.075	
Baffles-Long			Seal Type		Inlet mm	
Supports-Tube			U-Bend		Type	
Bypass Seal Arrangement			Tube-Tubesheet Joint		None	
Expansion Joint			Type		None	
Rho-V2 Inlet Nozzle			540.06 kg/m-s ²		Bundle Entrance / Bundle Exit	
Gaslike Shell Side			Floating Head		kg/m-s ²	
Code Requirements			Filled with Water: 5983.98		TEMA Class	
Weight/Shell			2812.26		Bundle: 745.23	
Remarks			Supports/baffle space = 4			

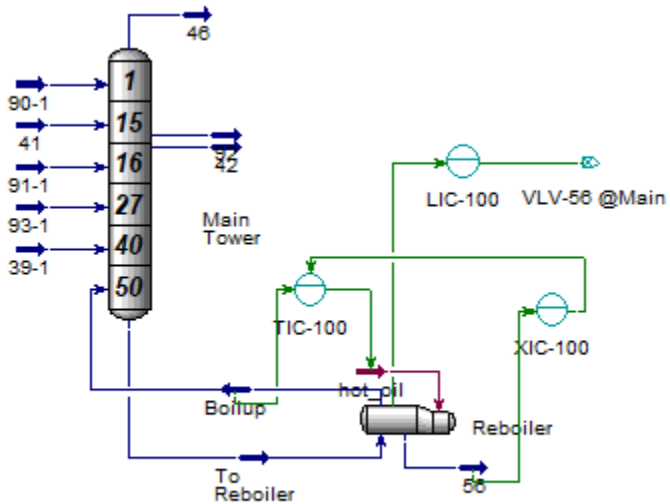
HTB: Result for De-ethanizer Reboiler Rating for LP6F-C3 and C4 Products Segregated Modification Case see "HYSYS Simulation for LP6F-C3 and C4 Products Segregated Modification Case".

I:\WorkSpace\0490\Sep2008\02Sep2008\IUPD-TJ-PR-DS-482-H-03-D De-ethanizer Reboiler\DeC2 Reboiler Rating for Segregated Case.rtr

Lampiran B :

Gambar dan Hasil Simulasi Hysys

B1. Gambar hasil simulasi Hysys



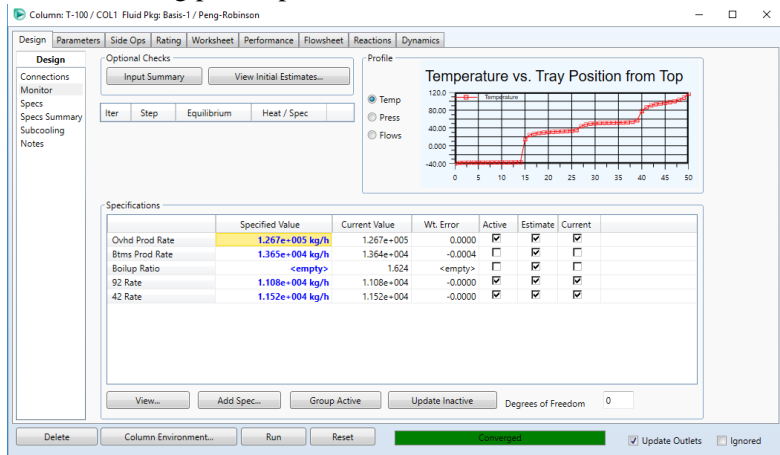
Keterangan:

Stream 90-1, 41, 91-1, 93-1, 39-1 :Feed kolom Distilasi

Stream 56 :Bottom product

Stream 46 : Produk distilat

B2. Monitoring proses pada kolom distilasi



Lampiran C :

Kodingan optimisasi pada MATLAB

C1. Kodingan Pemodelan *Reboiler*

```

function rf=fobj(x)
% close all
% clear all
% clc

%variabel optimisasi
%do=0.0191;
%nb=4;
%ds=0.4380;

ds=x(1);           %diameter dalam shell
do=x(2);           %diameter luar tube

%tube side
nb=4;
lbi=0.6;
lbo=0.761;
tw=0.0017;        %tube thickness(m)
mt=7.5458;        %mass flow rate tube (kg/s)
di=do-(2*tw);     %diameter dalam tube (m)
ltp=1.25*do;      %jarak antar tube (m)
lbb=(12+0.005*ds)/1000;
%clearance antara bundle dengan shell (m)
dotl=ds-lbb;     %diameter tube bank outer (m)
dctl=dctl-do;    %diameter bundle (m)
nt=(0.3008*(dctl^2))/(ltp^2); %jumlah tube
at=((22/7)*(di^2)*nt)/4;%luas permukaan tube(m2)
gt=((7.545*6)/at)/4;%kecepatan aliran massa pada
tube (m/s2)
ret=(gt*di)/0.000546 %bilangan Reynold tube
prt=0.4995*0.000546/0.00002443 ;%bilangan
Prandtl tube
ht=(0.023*(ret^0.8)*(prt^0.4)*(0.00002443/di)*1.
302225798)*3600*1.163; %koefisien perpindahan
panas sisi tube (w/m2.oC)

```

```

%shell side
lta=3.098024; %jarak antara sisi tube luar dg
outer tube bend radius(m)
lbc=(lta/(nb+1)); %jarak antar baffle (m)
lti=((nb-1)*lbc)+lbi+lbo; %jarak antara sisi tube
luar dg baffle terdekat(m)
sm=lbc*((lbb+(dctl/ltp)*(ltp-do));
%luas aliran crossflow pada sisi shell
gs=(15.3914/2)/sm; %kecepatan aliran massa pada
shell (kg/ s m2)
res=(gs*do)/0.0000540; %bilangan Reynold pada
shell
prs=(0.7098*0.0000540)/0.00001379; %bilangan
Prandtl sisi shell
fp=0.502596; %faktor koreksi tekanan
td=352.89; %temperature dew point
tb=346.43; %temperature boiling point
br=td-tb; %boiling range
q=2120272;
qf=q/(nt*(22/7)*do*5); %heat flux
fm=(1/(1+(0.023*(qf^0.15)*(br^0.75))));
%faktor koreksi mixture
hnb=0.00417*(408498.0685^0.69)*(qf^0.7)*fp;
%koefisien perpindahan panas nucleat boiling
hnc=250; %koefisien perpindahan panas konveksi
fb=1+0.1*((0.785*dctl)/(1*(1.2460732^2)*do))-
1)^0.75; %faktor koreksi
hs=(hnb*fb)+hnc; %koefisien perpindahan
panas pada shell (W/ m2 OC)

%pressure drop
fs=exp(0.576-(0.19*log(res))); %faktor friksi
shell
ps=((fs*(gs^2)*ds*(nb+1))/(445.95*do*0.73540659
83))*0.00001019716213*14.2233);%pressure drop
shell (psi)

if ps>= 0.466 ;
    ps= 0.466 ;
end

```

```

ft=((1.58*log(ret))-3.28)^(-2); %faktor friksi
tube
pt=((2*ft*5*6/di)+(2*6))*858.35*(1.39^2))*0.000
01019716213*14.2233; %pressure drop tube (psi)

if pt>= 9.4442 ;
    pt= 9.4442 ;
end

%fouling
alfa=277.8;
ea=48;
gamma=(4.17*(10^(-13)));
r=0.008314462;

drft=(alfa*(ret^(-0.8))*(prt^(-
1/3))*(1.3732*(10^(-6)))-(gamma*(ret^0.8)));
rftu=(drft*830); %resistansi fouling pada sisi
tube (m2 K/J)

drfs=(alfa*(res^(-0.8))*(prs^(-
1/3))*(1.3732*(10^(-6)))-(gamma*(res^0.8)));
rfsh=(drfs*650); %%resistansi fouling pada sisi
shell (m2 K/J)

rf=(rftu+rfsh);

cond=(do*(log(do/di)))/(2*10.34);
%perpindahan panas konduksi (m2 oC /W)
uf=(1/((do/(di*ht))+((do*rftu)/(di))+cond+rfsh+(
1/hs))); %koefisien perpindahan panas
keseluruhan pada kondisi terjadi fouling (W/ m2
oC)
uc=1/(cond+(1/hs)+(do/(ht*di)));
%koefisien perpindahan panas keseluruhan kondisi
normal

%heat duty

```

```

ao=((((22/7)*do*lti*nt*1))*2;    %luas permukaan
perpindahan panas (m2)
lmtd=65.9221; %log mean temperature difference
q=(uf*lmtd*ao)/1000000; %heat duty (MW)

if q>= 2.12;
    q=2.12;
end

```

C2. Kodingan Genetic Algorithm

```

%GENETIC ALGORITHM%
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
load ('prop.mat')
Npop      = 300;                %populasi
Maxit     = 300;                %iterasi
el        = 0.1;                %elatism
Pc        = 0.75;                %probabilitas crossover
Pm        = 0.0005;            %probabilitas mutasi
Nbit     = 20; %jumlah bit
%Constrain

eBangkit  = [];
Individu  = [];
eIndividu = [];
david    = [];
Dadatfit  = [];
Datfit    = [];
summary   = [];
eDadatfit = [];
efitnessmax = [];
eIndividuMax = [];
DatafitY  = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Dimension));
popsize = size(Bangkit,1);

for i = 1:Dimension
    batas(i) = UB(i)-LB(i);
end

```

```

for i =1:Npop
    for j = 1:Dimension
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i, ((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+LB(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = fobj(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit =
sortrows(sort,Nbit*Dimension+1);
        Individu1 = sort_fit(round((1-
e1)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
sort_fit(round(e1*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individu1;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;

```



```

end
for i=2:M
    Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
end
for i=1:M
    n=rand;
    k=1;
    for j=1:M-1
        if (n>Prob(j))
            k=j+1;
        end
    end
    Xparents(i,:) = X(k,:);
end

%Crossover
[M,d] = size(Xparents);
Xcrossed = Xparents;
for i=1:2:M-1
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
        Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
    end
end
if (M/2~=floor(M/2))
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        str=ceil((M-1)*rand);
        Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
    end
end

%Mutasi
[M,d] = size(Xcrossed);

```

```

Xnew=Xcrossed;
for i=1:M
    for j=1:d
        p=rand;
        if (p<=Pm)
            Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
        end
    end
end

disp('New fitness calculation');

Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Dimension);remain(:,1:Nbit*Dimension)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

for i =1:Npop
    for j = 1:Dimension;
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-1)):j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+LB(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness = fobj(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax] = max(Datfit);

    DatafitY = [DatafitY;fitness];
    %for po = 0:population;

    %% BalikData=1./DatafitY;
    %     hY = plot (BalikData);

```

```

%         hold on
%         refreshdata (hY,'caller')
%         drawnow;
%         hold on
end

Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
efitnessmax = [efitnessmax;fitness];
%         efitnessmaxplot =
[efitnessmaxplot;fitness];
balikdata=1./efitnessmax;
    BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
    IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
    eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
    BangkitMaxlast = BangkitMax;
    schedmax = BangkitMax;
    sort = [Bangkit Dadatfit];
    summary = [summary; sort];
    david = [david; Dadatfit];

max_variable_design=eIndividuMax(1,:)
max_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Minimum GA','color','b')
xlabel('Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')
hold on
    plot(balikdata, 'DisplayName', 'efitnessmax',
'YDataSource', 'efitnessmax');
    hold on

end
save ('GA.mat')

```

C3. Kodingan *Duelist Algorithm (DA)*

```
clear all;
```

```

close all;
clc;

Hasilmax=[];
fitnessvector =[];
XDueler=[];
convergemax = [];
convergeiter = [];
DFDAfit = [];
xmax = [];
minmax = 'min';           % 'max' Maximum or 'min'
Minimum
Population = 300;        % Total number of
duelists in a population
MaxGeneration = 300;    % Maximum
Generation/Iteration
FightCapabilities = 50; % Fighting Capabilities
Champion = 0.1;        % Champion Percentage
ProbLearning = 0.8;    % Learning Probability
ProbInnovate = 0.1;    % Innovate Probability
Luckcoeff = 0.01;     % Luck Coefficient
LuckA = 0;             % First Duelist Luck
Coefficient
LuckB = 0;             % Second Duelist Luck
Coefficient
Duelist = [];
Duelisttemp1 = [];
Duelisttemp2 = [];
Duelisttemp3 = [];
DuelistInteger = [];
Datafit = [];
Data1fit = [];
DataSort = [];
ElitDuelist = [];
HMI = [];
DataFDAfit = [];
maxall = [];
Dimension = 2;
UB = [0.6 0.0161];    % Upper Bounds
LB = [0.3 0.00656];  % Lower Bounds

```

```

for rc = 1:Dimension
    RangeB(rc) = UB(rc) - LB(rc);
end

if (strcmp(minmax, 'max'))
    mm = 1;
else
    mm = -1;
end

%====Registrasi Duelist====
Duelist =
floor(9*rand(Population, (FightCapabilities*Dimen-
sion))+rand());

%====Array to Int====
for i = 1:Dimension
    for j = 1:Population
        Duelisttemp1 =
Duelist(j, (i*FightCapabilities-
FightCapabilities)+1):(i*FightCapabilities));
        Duelisttemp2 = num2str(Duelisttemp1);
        Duelisttemp3 =
Duelisttemp2(~isspace(Duelisttemp2));
        DuelistInteger(j,i) =
str2num(Duelisttemp3);
    end
end

Datafit = [];

disp('DA Processing');
for Generasi = 1:MaxGeneration

    %====DA Processing====
    if (Generasi > 1)
        clc
        Generasi
    end
end

```

```

%=====sortir=====
    sort_fit = sortrows(sort,
(FightCapabilities*Dimension) + 1);
    Duelist1 =
sort_fit(randperm(size(sort_fit,1)),:);
    Remain = sort_fit(round((1-
Champion)*Population) + 1:Population, :);
    Winner = [];
    X = Duelist1;
    N = size(X,1);

    if mod(N,2) == 0
        M=N;
    else
        M=N-1;
    end

    for i=1:M
        fitnessvector(i) =
X(i, (FightCapabilities*Dimension) + 1);
    end

    fitnessvector = fitnessvector';
%=====Setting Duelist=====
    for i=1:M
        XDueler = X;
    end
%=====Setting Duel Arena=====

    for i=1:2:M-1
        LuckA = (fitnessvector(i)*(Luckcoeff
+ rand*2*Luckcoeff));
        LuckB =
(fitnessvector(i+1)*(Luckcoeff +
rand*2*Luckcoeff));
        if fitnessvector(i)+LuckA <=
fitnessvector(i+1)+LuckB
            Winner(i) = 0;
            Winner(i+1) = 1;

```

```

        elseif fitnessvector(i)+LuckA >
fitnessvector(i+1)+LuckB
            Winner(i) = 1;
            Winner(i+1) = 0;
        end
    end

    %====Skill Transfer + Innovate====
    [M,d] = size(XDueler);
    XAftermatch = XDueler;
    for i=1:2:M-1
        if (Winner(i)==1)
            p = ceil(((d/2)-
1)*rand*ProbLearning);
            str = ceil(p+1+(((d/2)-2-
p)*rand*ProbLearning));
            XAftermatch(i,:) =
[XDueler(i,1:p) XDueler(i+1,p+1:str)
XDueler(i,str+1:d)];
            for j=1:d
                p = rand;
                if (p<=ProbInnovate)
                    XAftermatch(i+1,j) =
abs(floor(rand()*9));
                end
            end
        else
            p = ceil(((d/2)-
1)*rand*ProbLearning);
            str = ceil(p+1+(((d/2)-2-
p)*rand*ProbLearning));
            XAftermatch(i+1,:) =
[XDueler(i+1,1:p) XDueler(i,p+1:str)
XDueler(i+1,str+1:d)];
            XAftermatch(i,:) = XDueler(i,:);
            for j=1:d
                p = rand;
                if (p<=ProbInnovate)
                    XAftermatch(i,j) =
abs(floor(rand()*9));

```

```

                                end
                            end
                        end
                    end
                end

                Xnew = XAftermatch;

                sort_fitnew = sortrows(Xnew,
(FightCapabilities*Dimension) + 1);
                Duelistnew =
sort_fitnew(round((Champion)*Population)+1:Popul
ation,:);
                Duelist =
[Duelistnew(:,1:(FightCapabilities*Dimension));R
emain(:,1:(FightCapabilities*Dimension))];

                end;
                ElitDuelist = [ElitDuelist; Duelist];

                for i = 1:Dimension
                    for j = 1:Population
                        Duelisttemp1 =
Duelist(j,((i*FightCapabilities-
FightCapabilities)+1):(i*FightCapabilities));
                        Duelisttemp2 =
num2str(Duelisttemp1);
                        Duelisttemp3 =
Duelisttemp2(~isspace(Duelisttemp2));
                        DuelistInteger(j,i) =
str2num(Duelisttemp3);
                    end
                end

                Datafit = [];

                for k = 1:Population

                    for ii=1:Dimension

```



```

        X0(ii,k) =
        (((DuelistInteger(k,ii)+1)/(10^FightCapabilities
        ))*RangeB(ii))+LB(ii);
        end

%         cost = -
        (((X0(1,k).^2)+(X0(2,k).^2)).^0.5).*cos((X0(1,k)
        ))-
        (X0(2,k))).*exp(cos((X0(1,k)).*(X0(2,k)+5))./7
        ));
        fitness = fobj( X0(:,k));
        Datafit = [Datafit; mm*fitness];
        end

        Data1fit = Datafit;
        [fitnessmax, nmax] = max(Data1fit);
        DataFDAfit = [DataFDAfit;fitnessmax];
        DuelistMax = Duelist(nmax,:);
        DuelistMaxLast = DuelistMax;
        Hasilmax = DuelistMax;
        sort = [Duelist Datafit];
        maxall = [maxall; sort];
        for i = 1:Dimension
            HasilMaxtemp1 =
            Hasilmax(1,((i*FightCapabilities)-
            FightCapabilities)+1):(i*FightCapabilities));
            HasilMaxtemp2 = num2str(HasilMaxtemp1);
            HasilMaxtemp3 =
            HasilMaxtemp2(~isspace(HasilMaxtemp2));
            HasilMaxInt(1,i) =
            str2num(HasilMaxtemp3);
        end
        HMIIt = [];
        for ij=1:Dimension
            HMIIt = [HMIIt, HasilMaxInt(1,ij)];
        end
        HMI = [HMI; HMIIt];
    end

    balikdata=1./DataFDAfit;

```

```

plot(balikdata);
hold on

[fitnessmaxf, nmaxf] = max(DataFDAfit);
for ik=1:Dimension
    X0maxfix(ik) =
    (((HMI(nmaxf,ik)+1)/(10^FightCapabilities))*Rang
    eB(ik))+LB(ik);
end

X0maxfix
[fitnessmaxf, nmaxf] = max(DataFDAfit)

convergemax = [convergemax;fitnessmaxf];
convergeiter = [convergeiter;nmaxf];
xmax = [xmax;X0maxfix];
DFDAfit = [DFDAfit,DataFDAfit];

```

C4. Kodingan *Particle Swarm Optimization (PSO)*

```

%PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
clc;
clear;
close all;

%% Problem Definition
CostFunction=@(x) (fobj(x)); % Cost Function

nVar=2; % Number of Decision Variables

VarSize=[1 nVar]; % Size of Decision Variables
Matrix

VarMin=[0.3 0.00656]; % Lower Bound of Variables
VarMax=[0.6 0.0161]; % Upper Bound of Variables

%% PSO Parameters
MaxIt=300; % Maximum Number of Iterations
nPop=300; % Population Size (Swarm Size)

```

```

% PSO Parameters
w=1;           % Inertia Weight
wdamp=0.99;   % Inertia Weight Damping Ratio
c1=1.5;       % Personal Learning Coefficient
c2=2.0;       % Global Learning Coefficient

% If you would like to use Constriction
Coefficients for PSO,
% uncomment the following block and comment the
above set of parameters.

% % Constriction Coefficients
% phi1=2.05;
% phi2=2.05;
% phi=phi1+phi2;
% chi=2/(phi-2+sqrt(phi^2-4*phi));
% w=chi;           % Inertia Weight
% wdamp=1;         % Inertia Weight Damping Ratio
% c1=chi*phi1;    % Personal Learning
Coefficient
% c2=chi*phi2;    % Global Learning Coefficient

% Velocity Limits
VelMax=0.1*(VarMax-VarMin);
VelMin=-VelMax;

%% Initialization
empty_particle.Position=[];
empty_particle.Cost=[];
empty_particle.Velocity=[];
empty_particle.Best.Position=[];
empty_particle.Best.Cost=[];

particle= repmat(empty_particle, nPop, 1);

GlobalBest.Cost=inf;

for i=1:nPop

```

```

    % Initialize Position

particle(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);

    % Initialize Velocity
particle(i).Velocity=zeros(VarSize);

    % Evaluation

particle(i).Cost=CostFunction(particle(i).Position);

    % Update Personal Best
particle(i).Best.Position=particle(i).Position;
particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;

    % Update Global Best
if particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost

        GlobalBest=particle(i).Best;

end

end

BestCost=zeros(MaxIt,1);

%% PSO Main Loop
for it=1:MaxIt

    for i=1:nPop

        % Update Velocity
particle(i).Velocity =
w*particle(i).Velocity ...

+c1*rand(VarSize).*(particle(i).Best.Position-
particle(i).Position) ...

```

```
+c2*rand(VarSize).*(GlobalBest.Position-  
particle(i).Position);  
  
    % Apply Velocity Limits  
    particle(i).Velocity =  
max(particle(i).Velocity, VelMin);  
    particle(i).Velocity =  
min(particle(i).Velocity, VelMax);  
  
    % Update Position  
    particle(i).Position =  
particle(i).Position + particle(i).Velocity;  
  
    % Velocity Mirror Effect  
    IsOutside=(particle(i).Position<VarMin |  
particle(i).Position>VarMax);  
    particle(i).Velocity(IsOutside)=-  
particle(i).Velocity(IsOutside);  
  
    % Apply Position Limits  
    particle(i).Position =  
max(particle(i).Position, VarMin);  
    particle(i).Position =  
min(particle(i).Position, VarMax);  
  
    % Evaluation  
    particle(i).Cost =  
CostFunction(particle(i).Position);  
  
    % Update Personal Best  
    if  
particle(i).Cost<particle(i).Best.Cost  
  
particle(i).Best.Position=particle(i).Position;  
  
particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;
```

```
        % Update Global Best
        if
particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost

            GlobalBest=particle(i).Best;

        end

    end

end

BestCost(it)=GlobalBest.Cost;

disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best Cost
= ' num2str(BestCost(it))]);

w=w*wdamp;

end

BestSol = GlobalBest;
%% Results
figure;
%plot(BestCost,'LineWidth',2);
semilogy(BestCost,'LineWidth',2);
xlabel('Iteration');
ylabel('Best Cost');
grid on;
save ('PSOalone.mat')
```

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Vivin Firdaus Aftami, kelahiran Gresik pada tanggal 1 Februari 1997. Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD NU Kanjeng Sepuh Sidayu, pada tahun 2012 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sidayu, dan pada tahun 2015 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Sidayu. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis telah aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan diantaranya menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS dan Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Penulis juga memiliki pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT. Saka Energi Indonesia Pangkah Ltd. pada bulan Agustus 2018. Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui email: vinaftami@gmail.com