



TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI *FOULING RESISTANCE* DAN BIAYA PADA *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN *STOCHASTIC ALGORITHM*

DZAKY MURTADHO HIDAYAT
NRP. 0231164000067

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - TF 181801

OPTIMISASI *FOULING RESISTANCE* DAN BIAYA PADA *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN *STOCHASTIC ALGORITHM*

DZAKY MURTADHO HIDAYAT
NRP. 02311640000067

Dosen Pembimbing:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

OPTIMIZATION OF FOULING RESISTANCE AND COST IN SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER WITH STOCHASTIC ALGORITHM

**DZAKY MURTADHO HIDAYAT
NRP. 02311640000067**

**Supervisors:
Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.**

***Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020***

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Dzaky Murtadho Hidayat
NRP : 02311640000067
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**OPTIMISASI FOULING RESISTANCE DAN BIAYA PADA SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER MENGGUNAKAN 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 sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 7 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Dzaky Murtadho Hidayat

NRP. 02311640000067

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**OPTIMISASI *FOULING RESISTANCE* DAN BIAYA PADA *SHELL AND
TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN *STOCHASTIC
ALGORITHM***

Oleh:

Dzaky Murtadho Hidayat

NRP. 02311640000067

Surabaya, 7 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing



Totok Ruki Bivanto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19710702 199802 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTIRS - ITS



Dr. Suvanto, S.T., M.T.

NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI *FOULING RESISTANCE* DAN BIAYA PADA *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN *STOCHASTIC ALGORITHM*

TUGAS AKHIR




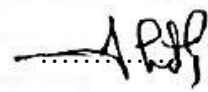

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DZAKY MURTADHO HIDAYAT

NRP. 02311640000067

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.  (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  (Ketua Penguji)
3. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.  (Penguji I)
4. Ir. Matradji, M.Kom.  (Penguji II)
5. Moh. Kamalul Wafi, S.T., M.Sc.DIC  (Penguji III)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMISASI *HEAT EXCHANGER* DAN BIAYA PADA *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN *STOCHASTIC ALGORITHM*

Nama : Dzaky Murtadho Hidayat
NRP : 02311640000067
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Heat exchanger adalah sebuah *equipment* yang digunakan dalam industri proses, dimana cara kerjanya yaitu melakukan perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lainnya tanpa terjadi perpindahan massa sehingga dapat digunakan sebagai pemanas atau pendingin. Di samping jenis *heat exchanger* yang digunakan, ukuran juga mempengaruhi harga *heat exchanger* tersebut. Untuk *heat exchanger* sendiri menggunakan *helical baffle*. Untuk harga paling kecil, ukuran *heat exchanger* juga harus minimum. Berdasarkan persamaan *heat duty* (Q), luas *heat exchanger* dapat diperkecil dengan memperbesar nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_f). Akan tetapi, apabila luas *heat exchanger* diperkecil, *pressure drop* (Δp) meningkat, yang akan membebani kinerja *heat exchanger*. Oleh karena itu, dilakukan optimisasi dengan metode *stochastic algorithm* untuk memperoleh nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum dengan *pressure drop* pada *shell* yang minimum. Dari optimisasi yang telah dilakukan, diperoleh hasil dari *genetic algorithm* dengan peningkatan nilai U_f sebesar 21,62 % sehingga luas *heat exchanger* berkurang sebesar 17,78 %. Dari pengecilan luas *heat exchanger* tersebut, dengan harga *heat exchanger* dengan *helical baffle* yaitu 437,5 USD/m²; maka terjadi penurunan harga sebesar 17,78 %.

Kata Kunci: *Shell and tube heat exchanger, helical baffle, koefisien perpindahan panas keseluruhan, pressure drop pada shell*

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION OF FOULING RESISTANCE AND COST IN SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER WITH STOCHASTIC ALGORITHM

Name : Dzaky Murtadho Hidayat
NRP : 02311640000067
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Supervisors : Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Heat exchanger is an equipment used in the process industry where it is used to transfer heat from one fluid to another without mass transfer. It can be used as a heater or cooler. Besides the type of heat exchanger, size also affects the price of heat exchanger. The heat exchanger itself uses helical baffles. For the minimum price, the minimum size of the heat exchanger is required. Based on the heat duty equation, the area of the heat exchanger is reduced by increasing the value of overall heat transfer coefficient. However, if the area of the heat exchanger is reduced, pressure drop increases, which will hamper the heat exchanger's performance. Therefore, optimization is conducted using the stochastic algorithm method to obtain maximum overall heat transfer coefficient value with minimum shell pressure drop. The result is an increased U_f value by 21,62 %; therefore area is reduced by 17,78 %. From the reduced area, with the price of a heat exchanger with helical baffles is 437,5 USD / m²; it is reduced by 17,78 %.

Keywords: Shell and tube heat exchanger, helical baffle, overall heat transfer coefficient, shell pressure drop

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

“Optimisasi *Fouling Resistance* dan Biaya pada *Shell and Tube Heat Exchanger* Menggunakan *Stochastic Algorithm*”.

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir sekaligus dosen wali yang selalu memberikan arahan sekaligus semangat selama penulis menjadi mahasiswa di jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Bapak/Ibu dosen pengajar di departemen Teknik Fisika ITS.
4. Bapak, Ibu, dan kakak, serta keluarga yang selalu memberikan motivasi serta doa kepada penulis.
5. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir yang senantiasa berjuang bersama-sama serta saling memberikan motivasi dan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman S1 Teknik Fisika yang ikut membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap agar laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 7 Agustus 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
LEMBAR PENGESAHAN	xi
ABSTRAK.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR NOTASI.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Lingkup Kajian.....	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 <i>Heat Exchanger</i>	5
2.2 <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	5
2.3 Struktur <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	6
2.4 <i>Fouling</i>	11
2.5 Optimisasi.....	12
2.6 <i>Stochastic Algorithm</i>	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Pengambilan Data <i>Heat Exchanger</i>	17
3.2 Penentuan Fungsi Objektif Optimisasi.....	18
3.3 Pemodelan <i>Heat Exchanger</i>	19

3.4	Pemodelan <i>Fouling Resistance</i>	22
3.5	Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan	23
3.6	Optimisasi <i>Overall Heat Transfer Coefficient</i>	24
3.7	Perhitungan Harga <i>Heat Exchanger</i>	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Optimisasi <i>Overall Heat Transfer Coefficient</i> pada <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> dengan <i>Helical Baffle</i>	29
4.2	Perhitungan Harga <i>Heat Exchanger</i> Setelah Optimisasi	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		35
5.1	Kesimpulan	35
5.2	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN		39
BIODATA PENULIS		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Aliran pada <i>heat exchanger co-current flow</i>	5
Gambar 2.2	Aliran pada <i>heat exchanger counter current flow</i>	5
Gambar 2.3	Struktur <i>shell and tube heat exchanger</i>	6
Gambar 2.4	Komponen pada <i>shell and tube heat exchanger</i>	6
Gambar 2.5	Dimensi STHE berdasarkan standar TEMA	7
Gambar 2.6	<i>Tube</i> dengan tipe <i>u-tube</i>	8
Gambar 2.7	<i>Tube</i> dengan tipe <i>straight tube</i>	8
Gambar 2.8	<i>Horizontal cut</i> dan <i>vertical cut single segmental baffle</i>	9
Gambar 2.9	<i>Vertical cut</i> dan <i>horizontal cut double segmental baffle</i>	9
Gambar 2.10	<i>Helical baffle</i>	10
Gambar 2.11	<i>Fouling</i> pada permukaan <i>heat transfer shell and tube</i>	11
Gambar 2.12	Diagram alir <i>genetic algorithm</i>	13
Gambar 2.13	Diagram alir <i>duelist algorithm</i>	14
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian	17
Gambar 4.1	Grafik hasil optimisasi menggunakan metode <i>duelist algorithm</i> dengan sumbu-y berupa nilai U_f	30
Gambar 4.2	Grafik hasil optimisasi menggunakan metode <i>genetic algorithm</i> dengan sumbu-y berupa nilai U_f	30

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	<i>Properties</i> Fluida pada <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	17
Tabel 3.2	Geometri pada <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	18
Tabel 4.1	Perbandingan Geometri <i>Heat Exchanger</i> dan <i>Fouling Resistance</i> Sebelum dan Sesudah Optimisasi.....	31
Tabel 4.2	Perbandingan Harga <i>Heat Exchanger</i>	33

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Variabel	Satuan	Keterangan
h_t	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	Koefisien perpindahan panas pada <i>tube</i>
h_s	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$	Koefisien perpindahan panas pada <i>shell</i>
Nu_t		Bilangan <i>Nusselt</i> pada sisi <i>tube</i>
Nu_s		Bilangan <i>Nusselt</i> pada sisi <i>shell</i>
Re_t		Bilangan <i>Reynold</i> pada <i>tube</i>
Re_s		Bilangan <i>Reynold</i> pada <i>shell</i>
Pr_t		Bilangan <i>Prandtl</i> pada <i>tube</i>
Pr_s		Bilangan <i>Prandtl</i> pada <i>shell</i>
Q	MW	<i>Heat duty</i>
U_f	$W /m^2 \text{ } ^\circ C$	Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondisi <i>fouling</i>
A_o	m^2	Luas permukaan keseluruhan <i>heat exchanger</i>
$LMTD_{corr}$	$^\circ C$	<i>Log Mean Temperature Difference (corrected)</i>
$LMTD$	$^\circ C$	<i>Log Mean Temperature Difference</i>
F		Faktor koreksi
$T_{c,i}$	$^\circ C$	Temperatur masuk fluida dingin
$T_{c,o}$	$^\circ C$	Temperatur keluar fluida dingin
$T_{h,i}$	$^\circ C$	Temperatur masuk fluida panas
$T_{h,o}$	$^\circ C$	Temperatur keluar fluida panas
α	$m^2 K / J$	Konstanta <i>deposit</i>
E_a	KJ / mol	Energi aktivasi
γ	$m^2 K / J$	Konstanta supresi
R	$kJ / mol K$	Konstanta gas konstan
R_{fs}	$m^2 \text{ } ^\circ C / W$	<i>Fouling resistance</i> pada <i>shell</i>
R_{ft}	$m^2 \text{ } ^\circ C / W$	<i>Fouling resistance</i> pada <i>tube</i>
f_s		Faktor friksi pada <i>shell</i>
f_t		Faktor friksi pada <i>tube</i>
Δp_s	psi	<i>Pressure drop</i> pada <i>shell</i>
Δp_t	psi	<i>Pressure drop</i> pada <i>tube</i>
\dot{m}_t	kg/s	Laju aliran massa fluida sisi <i>tube</i>
\dot{m}_s	kg/s	Laju aliran massa fluida sisi <i>shell</i>
ρ_t	kg/m^3	Densitas fluida pada sisi <i>tube</i>
ρ_s	kg/m^3	Densitas fluida pada sisi <i>shell</i>
μ_t	kg/ms	Viskositas fluida pada sisi <i>tube</i>
μ_s	kg/ms	Viskositas fluida pada sisi <i>shell</i>
μ_w	kg/ms	Viskositas fluida pada temperatur <i>wall</i> sisi <i>tube</i>
Cp_t	$J/kg^\circ C$	<i>Specific heat</i> fluida pada sisi <i>tube</i>
Cp_s	$J/kg^\circ C$	<i>Specific heat</i> fluida pada sisi <i>shell</i>
K_t	$W/m^\circ C$	Konduktivitas termal pada sisi <i>tube</i>

Variabel	Satuan	Keterangan
K_s	W/m°C	Konduktivitas termal pada sisi <i>shell</i>
K_w	W/m°C	Konduktivitas termal material <i>tube</i>
D_s	m	Diameter dalam <i>shell</i>
N_p		Jumlah <i>tube pass</i>
N_t		Jumlah <i>tube</i>
d_o	m	Diameter luar <i>tube</i>
t_w	m	Ketebalan dinding <i>tube</i>
L_{to}	m	Panjang <i>tube</i>
L_{tp}	m	Panjang <i>tube pitch</i>
N_b		Jumlah <i>baffle</i>
β	°	Sudut <i>helical baffle</i>
L_{bc}	m	Panjang <i>spacing central baffle</i>
d_{ct}	m	Diameter <i>central tube</i>
u_t	m/s	Kecepatan aliran fluida di sisi <i>tube</i>
u_s	m/s	Kecepatan aliran fluida di sisi <i>shell</i>
A_t	m ²	<i>Crossflow area</i> pada sisi <i>tube</i>
A_s	m ²	<i>Crossflow area</i> pada sisi <i>shell</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu kebutuhan manusia pada zaman sekarang antara lain kebutuhan konsumsi energi. Beberapa bentuk energi yaitu energi minyak bumi dan gas. Penemuan energi minyak bumi dan gas memberi dampak besar secara global, salah satu di antaranya membawa pengaruh terhadap kehidupan rumah tangga menjadi lebih mudah.

Kesuksesan bisnis sebuah perusahaan bergantung pada kemampuan perusahaan tersebut untuk memperoleh laba atau *profit* secara kontinu. Laba merupakan pendapatan yang diperoleh perusahaan yang dikurangi dengan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan tersebut. Namun pendapatan tidak akan diperoleh apabila tidak ada biaya yang dikeluarkan, sehingga dapat berisiko dimana perusahaan memperoleh pendapatan yang lebih sedikit dari biaya yang dikeluarkan. Apabila laba tidak terpenuhi, cepat atau lambat perusahaan tersebut akan bangkrut yang akan merugikan baik pemilik perusahaan tersebut maupun karyawan-karyawannya. Sehingga untuk memperoleh laba maksimum, perusahaan perlu memperoleh pendapatan yang setinggi-tingginya dengan mengeluarkan biaya yang seminimum mungkin.

Salah satu alat pada pabrik industri minyak atau gas antara lain *heat exchanger*. *Heat exchanger* adalah sebuah alat termal yang mampu melakukan perpindahan panas yang melibatkan dua fluida dengan suhu yang berbeda tanpa terjadi perpindahan massa di antara kedua fluida tersebut. Tujuannya yaitu menyalurkan energi panas dari fluida yang panas ke fluida yang lebih dingin. *Heat exchanger* berperan besar dalam industri modern abad ke-21 seperti industri listrik, industri proses, industri otomotif, industri kedirgantaraan, dan lain-lain. Oleh karena itu desain *heat exchanger* yang canggih diperlukan untuk beroperasi secara optimal keseluruhan sesuai dengan kebutuhan industri saat ini (Jena, 2019).

Ketika *heat exchanger* beroperasi hingga pada waktu tertentu, muncul *deposit* yang tidak diinginkan, yaitu *fouling*. *Fouling* didefinisikan sebagai akumulasi

endapan yang tidak diinginkan pada permukaan perpindahan panas. Secara umum, ini mengacu pada pengumpulan dan pertumbuhan bahan yang merugikan pada permukaan perpindahan panas, yang menurunkan kinerja termal secara signifikan. Proses *fouling* menggabungkan berbagai fenomena perpindahan panas, massa dan energi yang terlibat dengan operasi *heat exchanger* (Muhammad Awais, 2019).

Fouling resistance dapat mempengaruhi *heat duty* (Q), kinerja pompa, dan luas *area heat transfer* (A_o) pada *heat exchanger*. Perubahan besaran-besaran tersebut dapat mempengaruhi penghematan, baik daya maupun biaya. Perhitungan secara teknologi dan ekonomi merupakan hal yang penting dalam sebuah industri khususnya yang bergerak di bidang energi, dimana tujuannya yaitu untuk dapat menganalisa kebutuhan ekonomi dan mendapatkan fungsi optimal dari pemodelan dan algoritma yang digunakan (Dinastari, 2018).

Permasalahan umum dalam sebuah desain proses kimia atau pengoperasian pabrik memiliki solusi dalam jumlah yang banyak. Optimisasi merupakan hal yang berkaitan dengan pemilihan yang terbaik di antara seluruh rangkaian dengan metode kuantitatif yang efisien. Dalam sebuah operasi pabrik, keuntungan meningkat dari adanya peningkatan kinerja pabrik, seperti peningkatan hasil produk, pengurangan konsumsi energi, tingkat pemrosesan yang lebih tinggi, dan waktu yang lebih lama antara *shutdown*. Optimisasi juga dapat menyebabkan pengurangan biaya *maintenance*, pengurangan keausan peralatan, dan kinerja staf yang lebih baik (T. F. Edgar, 2001).

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan sebagai berikut:

- a) Bagaimana pengaruh variabel optimisasi terhadap nilai *fouling resistance* ketika dilakukan optimisasi desain geometri pada *shell and tube heat exchanger*?
- b) Bagaimana dampak hasil optimisasi terhadap faktor ekonomi?
- c) Bagaimana desain optimal pada *heat exchanger* berdasarkan hasil optimisasi?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan penelitian yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut:

- a) Mengetahui pengaruh variabel optimisasi terhadap nilai *fouling resistance* ketika dilakukan optimisasi desain geometri pada *shell and tube heat exchanger*
- b) Menentukan desain *heat exchanger* dengan faktor ekonomi yang minimum
- c) Mendesain *heat exchanger* secara optimal berdasarkan hasil optimisasi

1.4 Lingkup Kajian

Lingkup kajian yang yang ditinjau pada pengusulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Tipe *heat exchanger* yang digunakan merupakan tipe *shell and tube heat exchanger* dengan *helical baffle*
- b) Data yang diambil antara lain dimensi *heat exchanger*, kondisi pengoperasian, dan *properties* dari fluida yang digunakan
- c) Pemodelan *heat exchanger* terdiri atas perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan, *pressure drop*, dan *fouling resistance* dengan *Polley Model*

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan pada laporan tugas akhir ini disusun atas lima bab sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan

Bab I ini terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, lingkup kerja dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka Dan Dasar Teori

Bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu *heat exchanger*, *shell and tube heat exchanger*, struktur *shell and tube heat exchanger*, *fouling*, optimisasi, dan *stochastic algorithm*.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV ini berisi tentang data hasil penelitian dari pemodelan *heat exchanger*, hasil optimisasi *overall heat transfer coefficient* pada *shell and tube heat exchanger* dengan *helical baffle*, dan hasil perhitungan harga *heat exchanger* setelah optimisasi.

BAB V Kesimpulan dan Saran

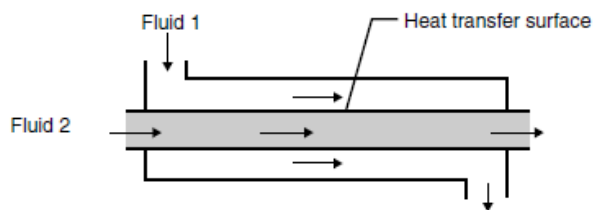
Bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir ini dan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

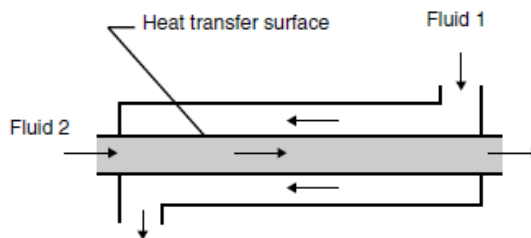
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Heat Exchanger*

Heat exchanger adalah alat termal yang menyediakan aliran energi panas antara dua fluida pada suhu yang berbeda. *Heat exchanger* digunakan dalam berbagai aplikasi, antara lain produksi daya listrik; industri proses, kimia dan makanan; elektronik; *waste heat recovery*; industri manufaktur; dan pendingin (Sadik Kakac, 2002). *Heat exchanger* mampu mengalirkan panas antara kedua fluida tanpa menyebabkan kedua fluida tersebut untuk saling mempengaruhi satu sama lain.



Gambar 2.1 Aliran pada *heat exchanger co-current flow*



Gambar 2.2 Aliran pada *heat exchanger counter current flow*

Beberapa jenis *heat exchanger* dapat mengalirkan kedua fluida dengan arah yang sama atau disebut *co-current flow* atau *parallel flow*, atau mengalir dengan arah yang berlawanan atau *counter current flow*.

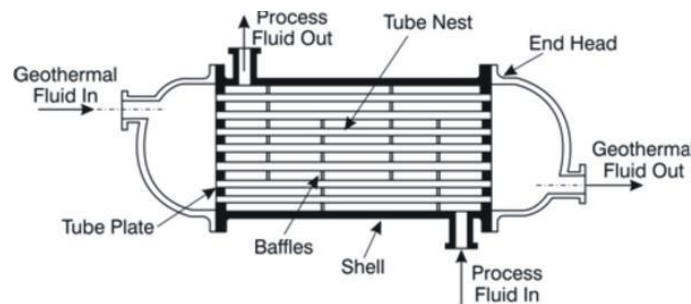
2.2 *Shell and Tube Heat Exchanger*

Heat exchanger yang paling umum digunakan antara lain *shell and tube heat exchanger* (STHE). *Heat exchanger* ini digunakan sebagai pendingin oli, kondensor permukaan, pemanas *feed water*, dan lain-lain (Thulukkanam, *Heat Exchangers: Introduction, Classification, and Selection*, 2013).

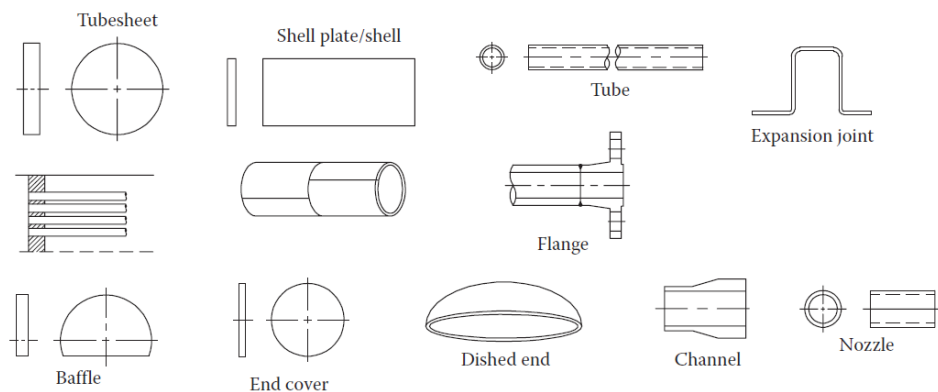
Dalam industri proses, STHE digunakan dalam jumlah yang besar, jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan jenis *heat exchanger* lainnya. STHE merupakan pilihan pertama karena prosedur yang mapan untuk desain dan manufaktur dari berbagai bahan, mampu beroperasi selama bertahun-tahun dengan hasil memuaskan, dan keberadaan kode dan standar untuk desain dan fabrikasi. STHE diproduksi dalam berbagai ukuran dan model dalam cakupan terluas (Thulukkanam, *Heat Exchangers: Introduction, Classification, and Selection*, 2013).

2.3 Struktur *Shell and Tube Heat Exchanger*

Adapun komponen-komponen utama dari *shell and tube heat exchanger* antara lain *tube*, *baffle*, *shell*, *front head*, dan *rear head*.

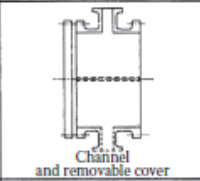
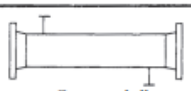
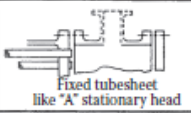
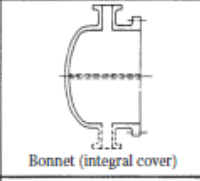
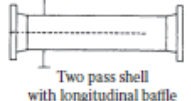
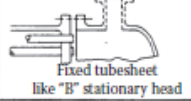
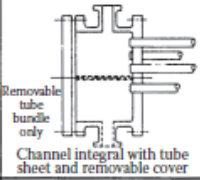

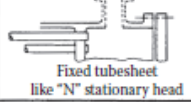
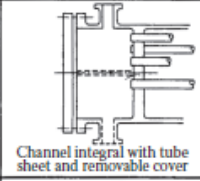
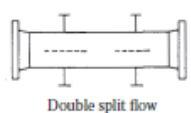
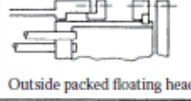
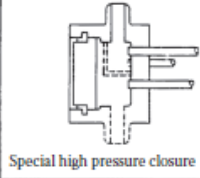
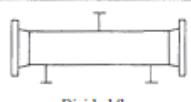
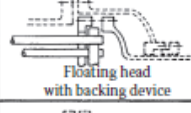
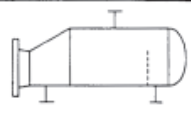
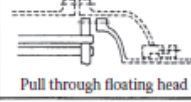
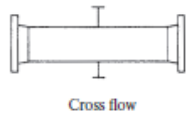
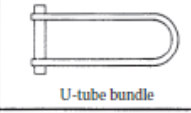
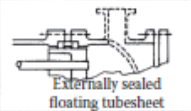


Gambar 2.3 Struktur *shell and tube heat exchanger*



Gambar 2.4 Komponen pada *shell and tube heat exchanger*

TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*) menetapkan standar mengenai dimensi *shell and tube heat exchanger* dimana setiap tipe dalam standar tersebut menggunakan kode huruf (Thulukkanam, *Shell and Tube Heat Exchanger Design*, 2013).

	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 2.5 Dimensi STHE berdasarkan standar TEMA

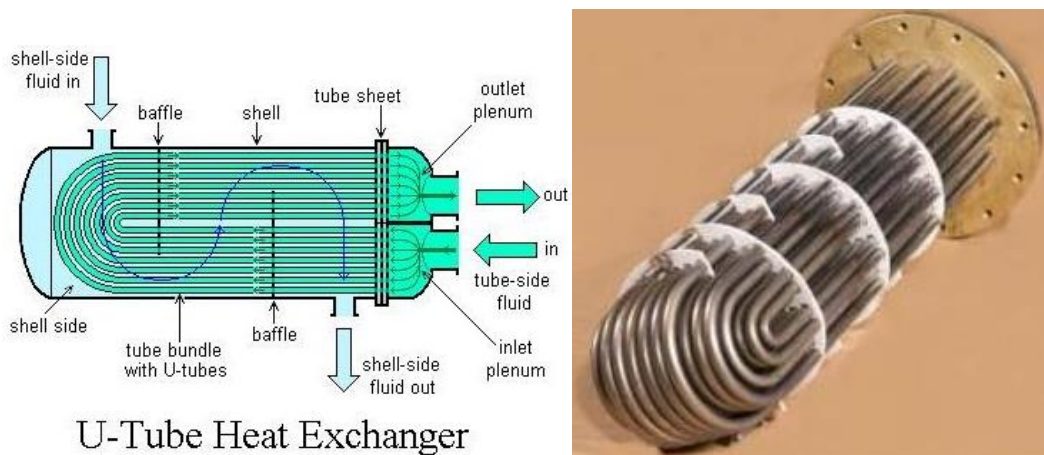
- *Tube*

Tube merupakan komponen yang mengalirkan satu fluida yang akan menukarkan panas dengan fluida yang mengalir pada bagian *shell*. Karena perpindahan panas yang diinginkan dalam *heat exchanger* terjadi di seluruh permukaan *tube*, pemilihan variabel geometri pada *tube* merupakan hal penting dari sudut pandang kinerja. Variabel geometri *tube* yang penting meliputi diameter luar *tube*, ketebalan dinding *tube*, dan pola tata letak *tube* (Thulukkanam, *Shell and Tube Heat Exchanger Design*, 2013). *Tube* terdiri atas dua jenis, antara lain *straight tube* dan *U-tube*.

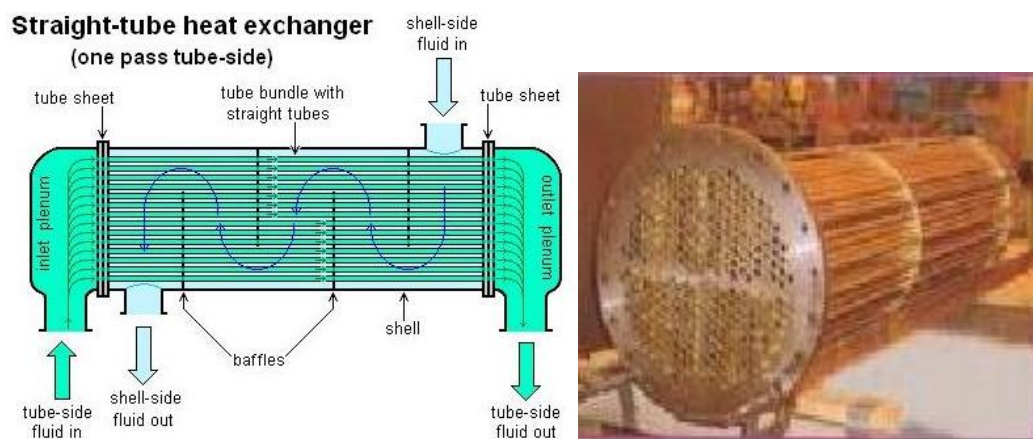
Tube yang berupa *straight tube* atau *fixed tube sheet* merupakan *tube* yang paling umum digunakan pada *shell and tube heat exchanger*. *Heat exchanger* dengan *straight tube* lebih mudah dibersihkan daripada *heat exchanger* yang

menggunakan *u-tube*, sehingga lebih baik untuk cairan sisi tabung yang cenderung mengotori tabung, menyebabkan kebutuhan untuk pembersihan rutin.

Tube yang berupa *u-tube* merupakan *tube* yang ditekuk dalam bentuk seperti huruf U. Terbukti, hanya ada satu *tube sheet* yang tersedia di *heat exchanger* dengan *tube* yang berupa *u-tube*. Namun, penekukan *tube* tersebut merupakan biaya tambahan (Dhavalkumar Maheshwari, 2016).



Gambar 2.6 Tube dengan tipe *u-tube*



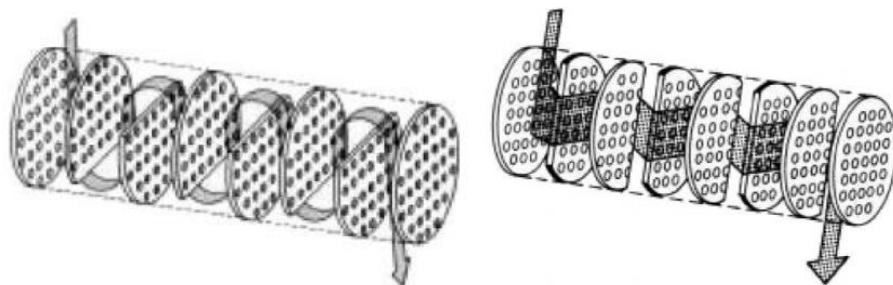
Gambar 2.7 Tube dengan tipe *straight tube*

- *Baffle*

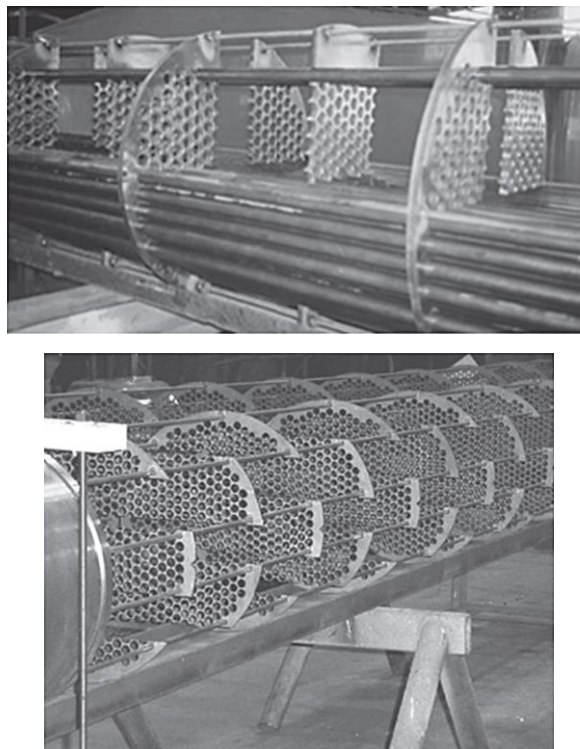
Baffle merupakan komponen yang umumnya dipasang pada sisi *shell* untuk mempertahankan posisi *tube*, untuk menjaga jarak *tube*, dan untuk mengarahkan fluida sisi *shell* sepanjang rangkaian *tube* (Thulukkanam, *Shell and Tube Heat*

Exchanger Design, 2013). Beberapa jenis *baffle* yang digunakan dalam *heat exchanger* antara lain *segmental baffle* dan *helical baffle*.

Segmental baffle merupakan sebuah *baffle* yang berbentuk lingkaran dengan bagian yang terpotong pada sisi horizontal atau vertikal. *Segmental baffle* merupakan jenis *baffle* yang paling banyak digunakan karena dapat mengalihkan aliran dengan efektif. Untuk *segmental baffle* sendiri terdiri atas *single segmental* dan *double segmental*, dimana masing-masing jenis dibedakan karena potongan tiap *baffle*.

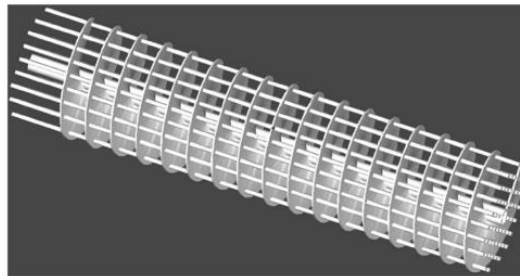


Gambar 2.8 *Horizontal cut dan vertical cut single segmental baffle*



Gambar 2.9 *Vertical cut dan horizontal cut double segmental baffle*

Helical baffle juga dikenal sebagai *helix changer solution* yang menghilangkan banyak kekurangan *segmental baffle*. Keuntungan *helical baffle* antara lain meningkatkan laju perpindahan panas, mengurangi efek *bypass*, mengurangi *shell fouling factor*, mencegah getaran yang diinduksi aliran, dan mengurangi biaya pemompaan (Dipankar De, 2017).



Gambar 2.10 *Helical baffle*

- *Shell*

Shell merupakan komponen yang selain menyelimuti bagian dalam *heat exchanger*, mengalirkan satu fluida yang akan menukarkan panas dengan fluida yang mengalir pada bagian *tube*. Biaya *shell* jauh lebih mahal dibandingkan dengan biaya *tube*; karenanya, perlu mengakomodasi permukaan perpindahan panas yang dibutuhkan dalam satu *shell*. Diketahui bahwa *heat exchanger* yang lebih ekonomis umumnya dapat dirancang dengan menggunakan *shell* yang berdiameter kecil dan panjang *shell* yang maksimum apabila dibandingkan dengan *shell* yang berdiameter besar dan panjang *shell* yang kecil, yang diizinkan oleh faktor-faktor praktis seperti tata letak pabrik, pemasangan, servis, dan beberapa faktor lainnya (Thulukkanam, *Shell and Tube Heat Exchanger Design*, 2013).

- *Front Head*

Front head merupakan komponen *heat exchanger* bagian depan yang menjadi tempat aliran fluida.

- *Rear Head*

Rear head merupakan komponen *heat exchanger* bagian belakang.

2.4 *Fouling*

Kinerja termal dan *pressure drop* dari *heat exchanger* sangat dipengaruhi oleh adanya *fouling*, korosi, dan erosi pada permukaan *heat exchanger* yang mengakibatkan perlunya perhatian yang menonjol. *Fouling* didefinisikan sebagai akumulasi endapan yang tidak diinginkan pada permukaan perpindahan panas. Secara umum, ini mengacu pada pengumpulan dan perkembangan adanya bahan yang merugikan pada permukaan perpindahan panas, yang menurunkan kinerja termalnya secara signifikan. Proses *fouling* menggabungkan berbagai fenomena perpindahan panas, massa dan energi yang terlibat pada pengoperasian *heat exchanger* (Muhammad Awais, 2019).



Gambar 2.11 *Fouling* pada permukaan *heat transfer shell and tube*

Pembentukan lapisan *fouling* pada permukaan perpindahan panas mengakibatkan pencegahan perpindahan panas dari permukaan cairan ke padat dengan bertindak sebagai isolator. Lebih parah lagi, isolasi ini mempersempit area aliran yang mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran pada laju aliran volumetrik tertentu yang konsekuensinya meningkatkan *pressure drop* dan daya pompa (Muhammad Awais, 2019).

2.5 Optimisasi

Optimisasi adalah sebuah tindakan untuk memperoleh hasil terbaik dalam keadaan tertentu. Tujuan akhir dari sebuah optimisasi adalah untuk meminimalkan upaya yang diperlukan atau untuk memaksimalkan keuntungan yang diinginkan. Karena upaya yang diperlukan atau keuntungan yang diinginkan dalam situasi praktis apa pun dapat dinyatakan sebagai fungsi dari variabel keputusan tertentu, optimisasi dapat didefinisikan sebagai proses untuk menemukan kondisi yang memberikan nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi (Rao, 2009). Untuk melakukan optimisasi, diperlukan berbagai aspek. Di antaranya adalah fungsi objektif, variabel-variabel optimisasi, dan variabel-variabel *constraint*. Fungsi objektif adalah fungsi bernilai riil yang nilainya diminimalkan atau dimaksimalkan dari batasan-batasan yang ada. Variabel optimisasi adalah variabel-variabel yang dijadikan parameter dengan jarak tertentu yang mempengaruhi penentuan maksimum atau minimum nilai fungsi objektif. Variabel *constraint* adalah fungsi yang terdiri atas variabel yang menjadi batasan baik maksimum atau minimum yang menentukan nilai maksimum atau minimum fungsi objektif yang dioptimalkan.

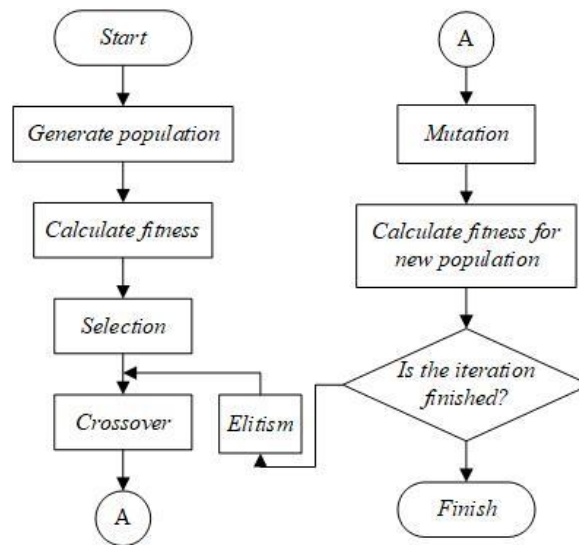
2.6 Stochastic Algorithm

Optimisasi dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu sesuai dengan fungsi objektif yang telah ditentukan, baik keadaan maksimum ataupun minimum. Optimisasi dibedakan menjadi dua jenis, antara lain algoritma stokastik dan deterministik. Algoritma stokastik adalah suatu metode optimisasi yang terdiri dari variabel-variabel acak sehingga mempunyai distribusi dan probabilitas tertentu sedangkan algoritma deterministik variabelnya bebas dan keragamannya acak sehingga tidak mempunyai distribusi dalam probabilitas (T. R. Biyanto, 2016).

2.6.1 Genetic Algorithm

Genetic Algorithm (GA) merupakan sebuah algoritma optimisasi yang pertama kali diusulkan oleh John Holland pada tahun 1975. *Genetic algorithm* merupakan jenis pencarian meta-heuristik dan algoritma optimisasi yang terinspirasi oleh prinsip seleksi alam Darwin. Dalam GA, kromosom diproses

menggunakan tiga pengoperasian, yaitu: seleksi, persilangan, dan mutasi (T. R. Biyanto, 2016). Diagram alir dari metode *genetic algorithm* adalah sebagai berikut.



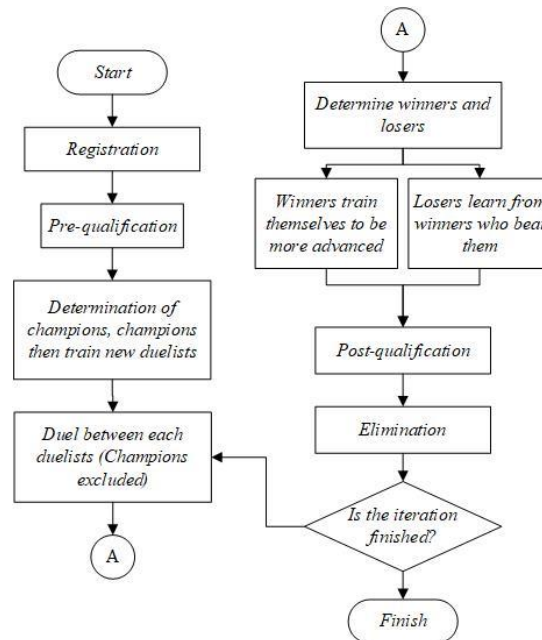
Gambar 2.12 Diagram alir *genetic algorithm*

Berikut adalah tahapan dari metode *genetic algorithm*.

1. Mulai
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) 0.05
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*

2.6.2 Duelist Algorithm

Duelist Algorithm (DA) adalah teknik perhitungan evolusi yang dikembangkan oleh Biyanto pada tahun 2015. *Duelist Algorithm* merupakan sebuah algoritma yang terinspirasi oleh bagaimana para *duelist* meningkatkan kemampuannya dalam sebuah duel (T. R. Biyanto, 2016).



Gambar 2.13 Diagram alir *duelist algorithm*

Berikut adalah tahapan dari metode *duelist algorithm* (T. R. Biyanto, 2016).

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.

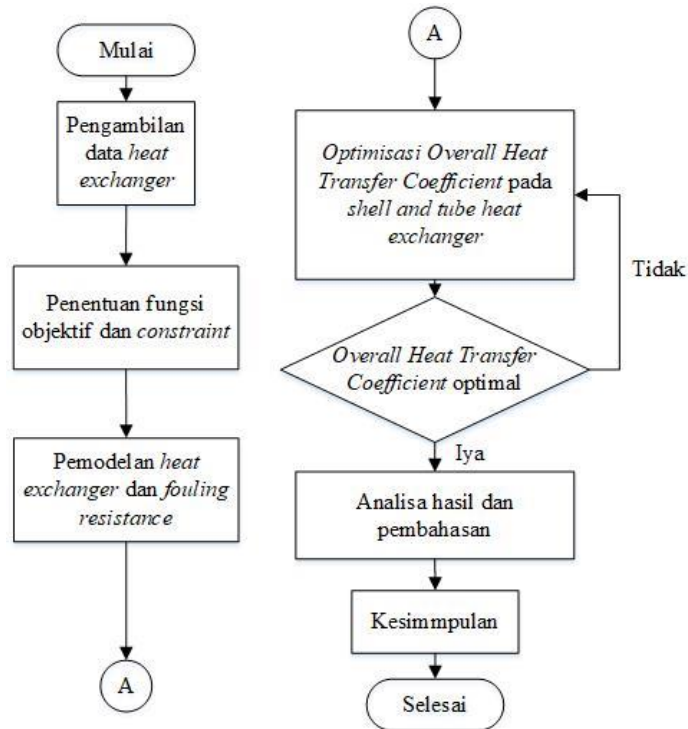
5. Menentukan jadwal duel antar masing-masing *duelist*
Jadwal duel antar masing-masing *duelist* ditentukan secara acak. Masing-masing *duelist* akan bertarung sesuai dengan kemampuan mereka dan keberuntungan yang menentukan yang menang dan kalah. Duel tersebut menggunakan logika sederhana. Jika kemampuan 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

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan *flowchart* yang berisi beberapa tahapan sebagai berikut.



Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

3.1 Pengambilan Data *Heat Exchanger*

Untuk tahap ini, dilakukan pengumpulan data desain dan data *properties* fluida pada *heat exchanger*. Berikut adalah data-data mengenai desain dan *properties* fluida tersebut.

Tabel 3.1 *Properties* Fluida pada *Shell and Tube Heat Exchanger*

<i>Fluid Properties</i>						
<i>Fluid Allocation</i>			<i>Shell Side (Hot Fluid)</i>		<i>Tube Side (Cold Fluid)</i>	
			in	out	in	Out
<i>Fluid name</i>			<i>Propane</i>		<i>Sea Water</i>	
<i>Fluid quantity</i>	<i>m</i>	<i>kg/s</i>	3,404		4,674	

Tabel 3.1 Lanjutan

<i>Fluid Properties</i>						
<i>Fluid Allocation</i>			<i>Shell Side (Hot Fluid)</i>		<i>Tube Side (Cold Fluid)</i>	
<i>Temperature</i>	<i>T</i>	<i>°C</i>	60,40	49,55	29,50	40,52
<i>Density</i>	ρ	kg/m ³	28,0285		1019,8724	
<i>Viscosity</i>	μ	kg/ms	0,00001		0,0007852	
<i>Specific heat</i>	<i>C_p</i>	J/kg°C	2368,5		4005,00	
<i>Thermal conductivity</i>	<i>K</i>	W/m°C	0,0245		0,62164	
<i>Inlet pressure</i>	<i>p</i>	kPa	1361,7146		680,8573	

Tabel 3.2 Geometri pada *Shell and Tube Heat Exchanger*

Shell side	<i>N_s</i>	<i>No. of pass shell</i>		1
	<i>D_s</i>	<i>Inside diameter</i>	m	0,6
Tube side	<i>N_p</i>	<i>No. of passes tubes</i>		2
	<i>N_t</i>	<i>No. of tubes</i>		94
	<i>d_o</i>	<i>Outer diameter</i>	m	0,023
	<i>t_w</i>	<i>Thickness</i>	m	0,002769
	<i>L_{to}</i>	<i>Length</i>	m	5
	<i>L_{tp}</i>	<i>Pitch</i>	m	0,02875
	θ_{tp}	<i>Layout</i>	°	30
Baffle	<i>N_b</i>	<i>No. of baffles</i>		7
	β	<i>Helix angle</i>	°	45
	<i>L_{bc}</i>	<i>Spacing central</i>	m	0,7
	<i>L_{bi}</i>	<i>Spacing inlet</i>	m	0,7
	<i>L_{bo}</i>	<i>Spacing outlet</i>	m	0,9

3.2 Penentuan Fungsi Objektif Optimisasi

Pada tahap ini, ditentukan fungsi objektif, *constraint*, dan variabel-variabel yang dioptimisasi. Optimisasi dilakukan agar sebuah sistem dapat mencapai keadaan optimum. Akan mencapai optimum apabila sebuah sistem mencapai keadaan dimana suatu besaran yang diinginkan (fungsi objektif) telah maksimum atau minimum sesuai keterbatasan-keterbatasan yang ada pada sistem tersebut

(*constraint*). Optimisasi pada penelitian ini dilakukan agar memperoleh desain *heat exchanger* yang optimal, yaitu dari aspek biaya *heat exchanger* yang minimum. Biaya dipengaruhi oleh ukuran *heat exchanger*, yang secara langsung berkaitan dengan luas (A_o). Berdasarkan persamaan (3.30) mengenai *heat duty*, nilai A_o dapat diperkecil dengan memperbesar nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_f). Oleh karena itu, fungsi tujuan optimisasi pada penelitian ini adalah *overall heat transfer coefficient* yang maksimal. Dengan demikian fungsi objektif dari optimisasi *heat exchanger* kali ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$J_{max} = f(U_f) \quad (3.1)$$

Adapun *constraint* yang digunakan dalam optimisasi kali ini adalah *shell pressure drop* dengan persamaan berikut.

$$\Delta P_{S\ max} \leq \Delta P_{S\ desain} \quad (3.2)$$

Adapun variabel-variabel optimisasi yang digunakan yaitu panjang *tube* (L_{te}), diameter luar *tube* (d_o), dan diameter dalam *shell* (D_s).

3.3 Pemodelan *Heat Exchanger*

Pemodelan *heat exchanger* dilakukan agar ketika dilakukan perhitungan kinerja *heat exchanger* pada saat kondisi operasi mendekati kondisi sesungguhnya. Adapun data-data yang digunakan untuk pemodelan *heat exchanger* yaitu variabel yang berubah-ubah sehingga mencapai kondisi optimal. Berikut adalah persamaan mengenai pemodelan *heat exchanger*.

3.3.1 Persamaan *Heat Transfer* pada *Shell*

Untuk perhitungan perpindahan panas pada *shell* pada *heat exchanger* dengan tipe *baffle* berupa *helical*, ditentukan dengan persamaan (3.3) berikut.

$$A_s = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d_{ct}}{D_s}\right) L_{bc} D_s \left(1 - \frac{d_o}{L_{TP}}\right) \quad (3.3)$$

Dimana A_s adalah *crossflow area* pada *shell*, d_{ct} adalah diameter *central tube*, L_{TP} adalah panjang *tube pitch* dan L_{bc} adalah panjang *baffle spacing* dimana masing-masing variabel dinyatakan melalui persamaan (3.4), (3.5), dan (3.6) berikut.

$$d_{ct} = 1,5 d_o \quad (3.4)$$

$$L_{TP} = 1,25 d_o \quad (3.5)$$

$$L_{bc} = D_s \tan \beta \quad (3.6)$$

Setelah menentukan nilai A_s , selanjutnya dapat ditentukan nilai u_s , yaitu kecepatan aliran fluida yang melewati *shell*, dengan persamaan (3.7) berikut.

$$u_s = \frac{\dot{m}_s}{\rho_s A_s} \quad (3.7)$$

Dimana \dot{m}_s adalah laju aliran massa fluida yang melalui *shell* pada *heat exchanger*, dan ρ_s adalah densitas fluida yang melewati *shell*. Dari nilai u_s , maka dapat ditentukan nilai Re_s , yaitu *Reynold number* pada *shell* dengan persamaan (3.8) berikut.

$$Re_s = \frac{u_s d_o \rho}{\mu_s} \quad (3.8)$$

Dari nilai Re_s , maka dapat ditentukan nilai Nu_s , yaitu *Nusselt number* pada *shell* dengan persamaan (3.9) berikut.

$$Nu_s = 0.193 Re_s^{0.6} Pr_s^{1/3} \quad (3.9)$$

Dimana Pr_s adalah nilai *Prandtl number* pada *shell* yang dapat ditentukan dengan persamaan (3.10) berikut.

$$Pr_s = \frac{c_{ps} \mu_s}{k_s} \quad (3.10)$$

Setelah diperoleh nilai Nu_s , maka dapat ditentukan nilai h_s , yaitu *coefficient heat transfer* pada *shell* dengan persamaan (3.11) berikut.

$$h_s = \frac{Nu_s k_s}{d_o} \quad (3.11)$$

Setelah itu, dilakukan perhitungan Δp_s , yaitu *pressure drop* pada *shell* dengan persamaan (3.12) berikut.

$$\Delta p_s = \frac{fr_s \rho_s \cos \beta u_s^2 (N_b + 1) D_s}{2 d_o} \quad (3.12)$$

Dimana fr_s adalah *friction factor*, yang dapat ditentukan dengan persamaan (3.13) berikut.

$$fr_s = 0.226 Re^{-0.206} \quad (3.13)$$

3.3.2 Persamaan *Heat Transfer* pada *Tube*

Untuk perhitungan perpindahan panas pada *tube* pada *heat exchanger*, ditentukan dengan *Bell-Delaware's Method* (Thulukkanam, *Shell and Tube Heat Exchanger Design*, 2013) sebagai berikut.

$$A_t = \frac{\pi d_i^2 N_t N_p}{4} \quad (3.14)$$

Dimana pada persamaan (3.14), A_t adalah *crossflow area* pada *tube*, d_i adalah diameter dalam *tube* yang dipengaruhi oleh diameter luar *tube* d_o dan ketebalan dinding *tube* t_w yang diperoleh dengan persamaan (3.15) berikut.

$$d_i = d_o - 2t_w \quad (3.15)$$

Dari nilai A_t , maka dapat ditentukan nilai G_t , yaitu nilai kecepatan aliran massa fluida yang mengalir pada *tube* dengan persamaan (3.16) berikut.

$$G_t = \frac{m_t N_p}{A_t} \quad (3.16)$$

Dari nilai G_t , selanjutnya ditentukan nilai Re_t , yaitu nilai *Reynold number* pada *tube* dengan persamaan (3.17) berikut.

$$Re_t = \frac{G_t d_i}{\mu_t} \quad (3.17)$$

Setelah ditentukan nilai Re_t , maka dapat ditentukan nilai Nu_t , yaitu nilai *Nusselt number* pada *tube*. Adapun nilai Nu_t ditentukan tergantung pada nilai Re_t , dengan kondisi-kondisi berikut.

- Untuk aliran turbulen dengan $Re_t > 10^4$ menggunakan persamaan *Side-Tate* (Mac Adamas) yaitu persamaan (3.18).

$$Nu_t = 0,027 Re_t^{0,8} Pr_t^{1/3} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.18)$$

- Untuk aliran *intermediate* dengan $2100 < Re_t < 10^4$ menggunakan persamaan Colburn yaitu persamaan (3.19).

$$Nu_t = 0,023 Re_t^{0,8} Pr_t^{0,4} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.19)$$

- Untuk aliran laminar dengan $Re_t \leq 2100$ menggunakan persamaan *Side-Tate* (Mac Adamas) yaitu persamaan (3.20).

$$Nu_t = 1,86 \left(\frac{Re_t Pr_t d_i}{L} \right)^{0,5} Pr_t^{1/3} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (3.20)$$

Dimana Pr_t adalah nilai *Prandtl number* pada *tube* yang dapat ditentukan dengan persamaan (3.21) berikut.

$$Pr_t = \frac{c_{pt} \mu_t}{k_t} \quad (3.21)$$

Setelah itu, ditentukan nilai h_t , yaitu nilai *coefficient heat transfer* pada *tube* dengan persamaan (3.22) berikut.

$$h_t = \frac{Nu_t k_t}{d_i} \quad (3.22)$$

Selanjutnya, ditentukan nilai *pressure drop* ΔP_t dengan *Pethukov and Popov's Methods* yaitu persamaan (3.23) berikut.

$$\Delta P_t = \left[2 \times fr_t \frac{L \times Np}{d_i} + 2 \times Np \right] \times \rho_t \times V^2 \quad (3.23)$$

Dimana fr_t adalah nilai *friction factor* pada *tube* yang dapat ditentukan dengan persamaan (3.24) berikut.

$$fr_t = (1,58 \ln Re_t - 3,28)^{-2} \quad (3.24)$$

Adapun untuk aliran *laminar* berlaku persamaan (3.25) berikut.

$$fr_t = \frac{16}{Re_t} \quad (3.25)$$

3.4 Pemodelan *Fouling Resistance*

Untuk pemodelan *fouling resistance*, digunakan persamaan dari *Polley model* (3.26) sebagai berikut.

$$\frac{dR_f}{dt} = \alpha Re^{-0,8} Pr^{-\frac{1}{3}} \exp\left(-\frac{E_a}{RT_w}\right) - \gamma Re^{0,8} \quad (3.26)$$

Dimana,

$$\frac{dR_f}{dt} = \text{Fouling resistance (m}^2 \text{ K/J)}$$

$$T_w = \text{Temperatur tube wall (K)}$$

$$\alpha = 277,8 \text{ m}^2 \text{K/J}$$

$$E_a = 48 \text{ KJ/mol}$$

$$\gamma = 4,17 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2 \text{K/J}$$

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

Adapun nilai temperatur *tube wall* ditentukan dengan persamaan (3.27) berikut.

$$T_w = T_{t,av} + \frac{T_{s,av} - T_{t,av}}{1 + \frac{h_t}{h_s}} \quad (3.27)$$

Dimana $T_{t,av}$ adalah temperatur rata-rata pada *tube* ($^{\circ}\text{C}$) dan $T_{s,av}$ adalah temperatur rata-rata pada *shell* ($^{\circ}\text{C}$).

3.5 Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Dari perhitungan yang telah dilakukan pada subbab 3.2 dan 3.3, selanjutnya dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan. Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) terdapat yang dalam keadaan bersih dan dalam keadaan aktual. Untuk koefisien perpindahan panas keseluruhan dalam kondisi bersih (U_C), ditentukan dalam persamaan (3.28) berikut.

$$U_C = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_s} + \frac{d_o}{h_t d_i}\right) + cond} \quad (3.28)$$

Dimana $cond$ adalah nilai perpindahan panas konduksi, yang dapat ditentukan dengan persamaan (3.29) berikut.

$$cond = \frac{d_o \left(\ln \left(\frac{d_o}{d_i} \right) \right)}{2 K_w} \quad (3.29)$$

Dimana K_w adalah nilai konduktivitas termal material pada *tube*. Dikarenakan bahan *tube* pada penelitian ini berupa *carbon-steel*, nilai K_w sebesar 36. Kemudian perhitungan *heat duty* (Q) dapat ditentukan dengan persamaan (3.30) berikut.

$$Q = U LMTD_{corr.} A_o \quad (3.30)$$

Dimana A_o adalah luas permukaan perpindahan panas dan $LMTD_{corr.}$ adalah *corrected log mean temperature difference*. Adapun $LMTD_{corr.}$ ditentukan dengan persamaan (3.31) berikut.

$$LMTD_{corr.} = LMTD \cdot F \quad (3.31)$$

Dimana F merupakan faktor koreksi. Adapun $LMTD$ sendiri merupakan rata-rata perbedaan suhu antara fluida panas dengan fluida dingin. $LMTD$ ditentukan dengan persamaan (3.32) berikut.

$$LMTD = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)} \quad (3.32)$$

Adapun faktor koreksi (F) ditentukan dengan persamaan (3.33) berikut.

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln(1 - S) / (1 - RS)}{(R - 1) \ln \frac{2 - S(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - S(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}} \quad (3.33)$$

Dimana Nilai S dan R merupakan faktor efisiensi temperatur, yang masing-masing nilai dapat ditentukan dengan persamaan (3.34) dan (3.35) berikut.

$$R = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{c,o} - T_{c,i}} \quad (3.34)$$

$$S = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (3.35)$$

Kemudian, untuk koefisien perpindahan panas keseluruhan dalam kondisi aktual (U_f), ditentukan dalam persamaan (3.36) berikut.

$$\frac{1}{U_f} = \frac{d_o}{d_i h_t} + \frac{d_o R_{ft}}{d_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2 K_w} + R_{fs} + \frac{1}{h_s} \quad (3.36)$$

Setelah ditentukan nilai U_f , kemudian dapat ditentukan nilai area *heat exchanger* keseluruhan dengan persamaan (3.37) berikut.

$$A_o = \frac{22}{7} d_o L_{te} N_t N_s \quad (3.37)$$

Persamaan (3.37) menunjukkan bahwa A_o dipengaruhi oleh variabel-variabel yang mempengaruhi faktor ekonomi pada *heat exchanger*.

3.6 Optimisasi Overall Heat Transfer Coefficient

Dalam optimisasi dengan menggunakan metode stokastik diperlukan beberapa *properties* sebagai berikut.

a. Jumlah variabel yang dioptimisasi

Variabel yang mempengaruhi fungsi tujuan yakni diameter dalam *shell* (D_s), diameter luar *tube* (d_o), dan panjang *tube* (L_{te}) maka jumlah variabel yang dioptimisasi adalah 3.

b. 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* = 0,5 m - 0,8 m
- Diameter luar *tube* = 0.01905 m - 0,02540 m
- Panjang *tube* = 3.6576 m - 6.096 m

c. Iterasi

Iterasi digunakan untuk menentukan jumlah pengulangan proses optimisasi. Pada tugas akhir ini digunakan 200 kali iterasi. Hal ini ditentukan berdasarkan grafik hasil optimisasi pada *software* MATLAB yang telah menunjukkan nilai yang konstan pada iterasi ke 200. Apabila grafik telah konstan dan hasil optimisasi tidak berubah, maka iterasi telah selesai.

d. Penginputan Data

Pemrograman penginputan MATLAB dapat dilihat pada bab lampiran bagian fungsi objektif. Untuk penginputan data simulasi pada pemrograman fungsi objektif MATLAB meliputi beberapa hal sebagai berikut.

- Penentuan fungsi objektif
- Penentuan variabel-variabel yang dioptimisasi
- Penginputan data *properties* fluida pada *shell* dan *tube*
- Penginputan persamaan-persamaan pemodelan *heat exchanger* dan *fouling resistance* pada *heat exchanger*
- Penentuan variabel *constraint*

e. Prosedur Simulasi

Pemrograman simulasi untuk optimisasi pada *software* MATLAB meliputi pemrograman *stochastic algorithm* berupa *duelist algorithm* dan *genetic algorithm*, yang dapat dilihat pada bab lampiran bagian *duelist algorithm* dan *genetic algorithm*. Adapun prosedur simulasi dari masing-masing algoritma meliputi langkah-langkah berikut ini.

- *Duelist algorithm*
 - a) *Duelist registration*

Tahap pertama yaitu registrasi para *duelist* dimana setiap *duelist* dinyatakan dalam bentuk *binary array* yang menunjukkan sebagai *skillset*. Semakin banyak dimensi (variabel optimisasi), maka panjang binernya dikalikan sebanyak dimensi tersebut.

b) *Pre-qualification*

Selanjutnya para *duelist* dilakukan pengujian untuk mengukur kemampuan duel mereka berdasarkan *skillset* para *duelist* dengan mengonversi nilai *binary array* menjadi nilai dalam bentuk integer.

c) *Champions determination*

Setelah diuji, para *duelist* dengan *skillset* paling tinggi kemudian dijadikan *champion*.

d) *Training new duelist*

Para *champion* kemudian melatih *duelist* baru hingga memiliki *skillset* yang serupa dengan *champion* tersebut.

e) *Duel between duelist*

Para *duelist* baru kemudian melakukan duel satu lawan satu untuk menentukan mana yang menang dan yang kalah. Adapun kemenangan duel ditentukan oleh *skillset* dan faktor keberuntungan, dimana faktor keberuntungan merupakan hal yang acak. Jumlah nilai *skillset* dan faktor keberuntungan menentukan kemenangan.

f) *Duelist improvement*

Setelah melakukan duel, para *duelist* kemudian mengembangkan diri masing-masing, dimana yang menang meningkatkan kemampuannya dalam duel dengan mencoba beberapa hal yang baru dari yang kalah sedangkan yang kalah belajar dari yang menang. Selain itu, baik yang menang maupun yang kalah juga dapat berkesempatan untuk berinovasi.

g) *Post-qualification and elimination*

Setelah pengembangan dari masing-masing *duelist*, kemudian dilakukan evaluasi kemampuan masing-masing *duelist* yang kemudian diurutkan. Untuk para *duelist* yang memiliki *skillset* yang paling buruk kemudian dieliminasi dan digantikan dengan *duelist* yang baru. Adapun para *duelist* yang bertahan kemudian menjadi *champion* yang baru, yang kemudian melatih para *duelist* yang baru hingga iterasi maksimum.

- *Genetic algorithm*

- a) *Generate population*

Tahap awal yaitu membangkitkan sebuah populasi yang merupakan seperangkat individu, dimana masing-masing individu merupakan sebuah solusi sebuah variabel. Suatu individu ditandai dengan serangkaian parameter (variabel) yang diketahui sebagai gen. Gen kemudian digabungkan menjadi *string* untuk membentuk kromosom (solusi).

- b) *Calculate fitness*

Fitness dihitung untuk menentukan seberapa cocok suatu individu untuk bersaing dengan individu lain. Perhitungan ini memberikan nilai *fitness* untuk masing-masing individu yang menjadi pengaruh apakah individu-individu tersebut dipilih menjadi *parent*.

- c) *Selection*

Selanjutnya pemilihan individu untuk dijadikan *parent* agar meneruskan gennya ke generasi selanjutnya. Semakin tinggi nilai *fitness* individu tersebut maka semakin berpeluang untuk menjadi *parent*.

- d) *Crossover*

Dari masing-masing pasangan yang meneruskan gennya, dengan probabilitas tertentu terjadi persilangan atau pertukaran gen pada keturunannya sehingga memiliki kombinasi gen yang baru.

- e) *Mutation*

Dari masing-masing keturunan yang baru terbentuk, beberapa gen dapat mengalami mutasi dengan probabilitas yang rendah, dimana beberapa gen pada keturunan dapat bertukar posisi. Mutasi terjadi untuk mempertahankan keragaman dalam populasi dan mencegah konvergensi prematur.

- f) *Calculate fitness for new population*

Masing-masing keturunan kemudian dilakukan perhitungan *fitness* seperti *parent* keturunan tersebut untuk ditentukan apakah bisa meneruskan gennya atau tidak.

g) *Elitism*

Untuk individu-individu yang tidak terpilih untuk meneruskan gennya akan gugur dan tidak dapat berkesempatan untuk meneruskan gennya.

3.7 Perhitungan Harga *Heat Exchanger*

Dari hasil optimisasi nilai koefisien *heat exchanger* keseluruhan yang telah dilakukan, diperoleh nilai luas *heat exchanger* yang berbeda. Dari nilai luas tersebut, maka harga *heat exchanger* per satuan luas dapat ditentukan yang kemudian dibandingkan dengan harga *heat exchanger* sebelum dilakukan optimisasi.

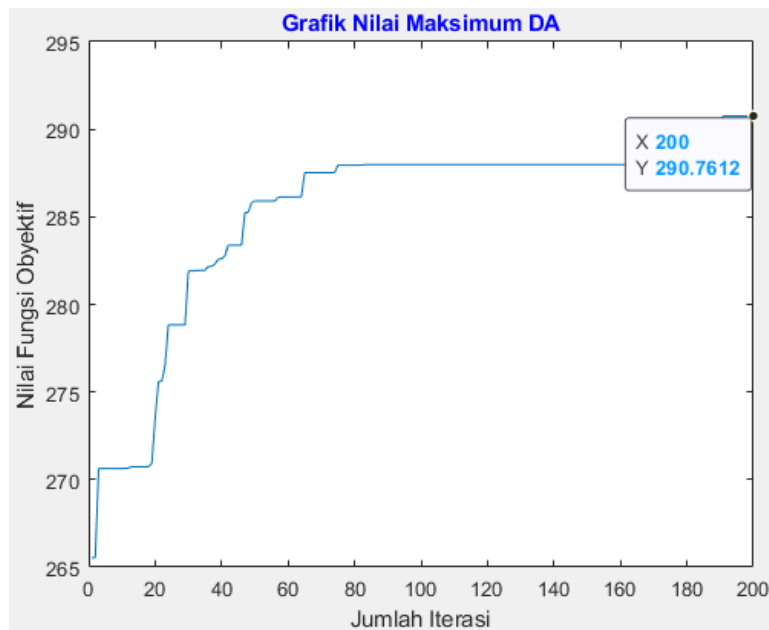
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

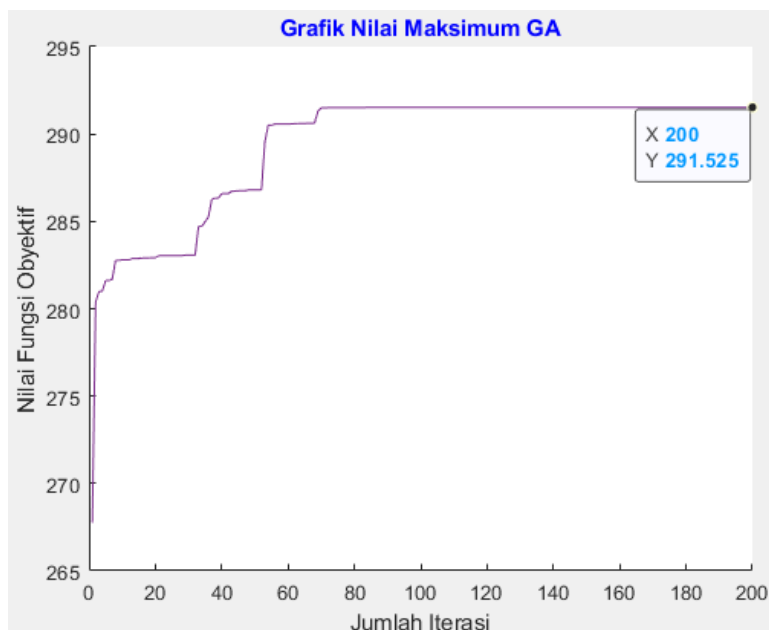
4.1 Optimisasi *Overall Heat Transfer Coefficient* pada *Shell and Tube Heat Exchanger* dengan *Helical Baffle*

Optimisasi dilakukan untuk mendapatkan nilai *overall heat transfer coefficient* yang terbaik dengan *constraint pressure drop* pada sisi *shell*. *Constraint* diperlukan sebagai batasan kondisi operasi dalam memperoleh nilai *overall heat transfer coefficient* sehingga nilai *pressure drop* pada sisi *shell* hasil optimisasi tidak boleh melebihi hasil desainnya. Pembatasan nilai *pressure drop* dilakukan agar tidak membebani kinerja *equipment* lebih lanjut sehingga *heat exchanger* tetap dapat beroperasi dalam kondisi aman.

Apabila nilai *overall heat transfer coefficient* semakin besar, maka nilai luas permukaan perpindahan panas (A_o) semakin kecil, yang secara langsung mempengaruhi nilai panjang *tube* dan diameter dalam *shell*. Adapun nilai diameter luar *tube* mempengaruhi nilai *shell pressure drop* yang merupakan *constrain* optimisasi ini. Dikarenakan setiap variabel memiliki *local optimum* masing-masing maka diperlukan optimisasi menggunakan metode *stochastic algorithm*. *Stochastic algorithm* merupakan salah satu metode optimisasi yang mencari nilai *global optimum* dari masing-masing variabel optimisasi. Berikut adalah grafik hasil optimisasi *overall heat transfer coefficient* menggunakan *stochastic algorithm* yang berupa *genetic algorithm* dan *duelist algorithm*.



Gambar 4.1 Grafik hasil optimisasi menggunakan metode *duelist algorithm* dengan sumbu-y berupa nilai U_f



Gambar 4.2 Grafik hasil optimisasi menggunakan metode *genetic algorithm* dengan sumbu-y berupa nilai U_f

Optimisasi sistem dilakukan menggunakan *software* MATLAB yakni dengan cara menginputkan pemodelan *heat exchanger* dan *fouling resistance*, fungsi tujuan

optimisasi, *properties* optimisasi dan algoritma *genetic algorithm* dan *duelist algorithm*. Gambar 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan grafik iterasi optimisasi menggunakan *stochastic algorithm* berupa *genetic algorithm* dan *duelist algorithm*. Dari kedua gambar tersebut, baik dari *genetic algorithm* maupun *duelist algorithm* menghasilkan nilai U_f sebesar sekitar 291 W/m²K saat iterasi ke-200. Grafik tersebut menunjukkan hasil *overall heat transfer coefficient* yang maksimal. Berikut adalah tabel perbandingan geometri *heat exchanger* dan *fouling resistance* sebelum dan setelah dioptimisasi.

Tabel 4.1 Perbandingan Geometri *Heat Exchanger* dan *Fouling Resistance* Sebelum dan Sesudah Optimisasi

	Satuan	GA	DA	Model
D_s	m	0,582	0,584	0,6
L_{te}	m	3,74	3,751	4,594
d_o	m	0,019	0,019	0,023
B	m	0,583	0,584	0,6
N_b		5	5	7
β		45	45	45
d_{ct}	m	0,029	0,029	0,034
d_i	m	0,014	0,014	0,017
L_{tp}	m	0,024	0,024	0,029
Re_s		201506,358	200375,522	230721,174
Nu_s		301,436	300,420	326,945
h_s	W/m ² K	386,659	385,356	348,267
Re_t		4902,5	4902,5	4617,685
Nu_t		39,587	39,587	37,736
h_t	W/ m ² K	2117,321	2117,321	1343,384
Δp_s	kPa	0,469	0,466	0,470
Δp_t	kPa	0,327	0,327	0,179
Rf_s	m ² K/W	5,226 x e-06	5,249 x e-06	4,727 x e-06
Rf_t	m ² K/W	1,629 x e-04	1,628 x e-04	1,726 x e-04

Tabel 4.1 Lanjutan

	Satuan	GA	DA	Model
Q	MW	2,575	2,575	2,575
A_o	m ²	21,105	21,166	31,216
N_t		114	114	94
U_f	W/ m ² K	291,525	290,799	239,699

Dari tabel 4.1, diketahui bahwa diameter dalam *shell*, panjang *tube*, dan diameter luar *tube* mengecil setelah dilakukan optimisasi. Dapat diketahui bahwa nilai *overall heat transfer coefficient* meningkat setelah dioptimisasi sebesar sekitar 21,62 %. Dari nilai *overall heat transfer coefficient* tersebut, maka luas *heat exchanger* berkurang sebesar 17,78 %. Akan tetapi, meskipun *fouling resistance* pada *tube* menurun sebesar 5,64 %; *fouling resistance* pada *shell* meningkat sebesar 10,54 %. Hal ini dikarenakan nilai *fouling resistance* dipengaruhi oleh besar diameter, dimana *fouling resistance* sendiri dipengaruhi oleh nilai Reynold yang dipengaruhi oleh diameter luar *tube* untuk *fouling resistance* pada *shell* dan diameter dalam *tube* untuk *fouling resistance* pada *tube*, dan kecepatan aliran. Untuk penelitian ini, nilai *heat duty* (Q) tidak diubah, sehingga ketika nilai A_o turun, maka jumlah *tube* (N_t) meningkat.

Jika dibandingkan dengan hasil pemodelan, *heat exchanger* dalam keadaan optimal mengalami penurunan ukuran, yang meliputi penurunan *baffle spacing* (B) sebesar 2,92 %; *tube central diameter* (d_{ct}) sebesar 16,96 %; diameter dalam *tube* (d_i) sebesar 22,33 %; dan *tube pitch length* (L_{tp}) sebesar 16,96 %. Pengecilan ukuran *heat exchanger* menyebabkan luas area *crossflow* baik pada *shell* maupun *tube* menurun sehingga kecepatan aliran baik di bagian *shell* maupun *tube* meningkat. Meskipun begitu, nilai Reynold, yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan diameter *tube*, mengalami penurunan pada *shell* sebesar 12,66 % karena kenaikan kecepatan aliran pada *shell* lebih kecil daripada penurunan diameter luar pada *tube*. Adapun untuk nilai Reynold (Re) pada *tube* meningkat sebesar 6,17 %. Nilai Prandtl (Pr) tidak ada perubahan dikarenakan nilai tersebut mencerminkan sifat-sifat termal fluida. Nilai Nusselt (Nu) dipengaruhi oleh nilai Reynold dan Prandtl,

dimana nilai tersebut pada *shell* mengalami penurunan sebesar 7,8 % dan pada *tube* mengalami kenaikan sebesar 4,9 %. Nilai koefisien perpindahan panas (h), yang dipengaruhi oleh nilai Nusselt dan diameter *tube*, baik pada *shell* maupun *tube* meningkat masing-masing sebesar 11,02 % dan 35,07 %.

4.2 Perhitungan Harga *Heat Exchanger* Setelah Optimisasi

Perhitungan harga *heat exchanger* dapat ditentukan berdasarkan luas *heat exchanger* secara keseluruhan. Nilai luas *heat exchanger* yang telah diperoleh dari hasil optimisasi selanjutnya ditentukan harga *heat exchanger*. Untuk luas *heat exchanger* dari hasil optimisasi sendiri digunakan dari hasil *genetic algorithm* dikarenakan nilai luasnya yang lebih kecil. Adapun untuk *heat exchanger* dengan jenis *shell and tube*, harga per satuan luas yaitu sebesar 437,5 USD/m².

Tabel 4.2 Perbandingan Harga *Heat xchanger*

<i>Heat Exchanger</i>	Luas (m ²)	Harga (USD)
Pemodelan	31,216	13656,81
Hasil optimisasi	25,666	11228,95
Selisih harga		2427,86

Dari tabel 4.2, diketahui bahwa harga *heat exchanger* yang telah dioptimisasi lebih murah dari ketika belum dioptimisasi dengan selisih 2427,86 USD atau penurunan harga sebesar 17,78 %.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari tugas akhir yang telah dilaksanakan, maka diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain:

- Pengecilan diameter dalam *shell*, panjang *tube*, dan diameter luar *tube* menyebabkan penurunan *fouling resistance* pada *tube* tetapi *fouling resistance* pada *shell* meningkat.
- Harga *heat exchanger* dapat diturunkan dengan menurunkan luas *heat exchanger* keseluruhan, yang dapat dilakukan dengan meningkatkan koefisien perpindahan panas secara keseluruhan. Geometri *heat exchanger* yang optimal agar harga *heat exchanger* minimum yaitu dengan diameter dalam *shell* sebesar 0,582 m; panjang *tube* sebesar 3,74 m; dan diameter luar *tube* sebesar 0,019 m. Dengan harga mencapai 11228,95 USD dan penurunan harga sebesar 17,78 %.
- Dikarenakan nilai *heat duty* ditetapkan, maka tidak hanya besaran variabel-variabel yang dioptimisasi yang diubah, tetapi juga jumlah *tube* dari 94 hingga sebanyak 114.
- Dalam keadaan optimal, dimana *heat exchanger* memiliki koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_f) maksimum, *heat exchanger* mengalami penurunan ukuran, peningkatan kecepatan aliran, dan peningkatan koefisien baik pada *shell* maupun *tube*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

- Perlu dilakukan validasi pemodelan *heat exchanger* dengan *datasheet* desain untuk memastikan kesesuaian pemodelan *heat exchanger* tersebut.
- *Expense* untuk alat-alat industri seperti *heat exchanger* tidak hanya dilihat dari biaya alat itu sendiri. Perlu dipertimbangkan juga biaya lainnya seperti *maintenance*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Dhavalkumar Maheshwari, K. T. (2016, May). *Experimental Investigation of U-tube heat exchanger using Plain tube and Corrugated tube. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(5), 1931-1936.
- Dinastari, A. (2018). Optimisasi Tekno-Ekonomi pada Desain Geometri *Heat Exchanger* dengan Dipengaruhi *Fouling Resistance* Menggunakan Beberapa Metode *Stochastic Algorithm*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Dipankar De, T. K. (2017). *Helical baffle design in shell and tube type heat exchanger with CFD analysis. INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND TECHNOLOGY*, 378-383.
- Jena, P. C. (2019). *Design and analysis of heat exchanger by using computational fluid dynamics. In Sustainable Engineering Products and Manufacturing Technologies* (pp. 159-176). Elsevier Ltd.
- Muhammad Awais, A. A. (2019). *Recent advancements in impedance of fouling resistance and particulate. International Journal of Heat and Mass Transfer*(141), 580-603.
- Sadik Kakac, H. L. (2002). *Classification of Heat Exchangers. In Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design Second Edition* (pp. 1-30). CRC Press.
- T. F. Edgar, D. M. (2001). *Problem Formulation: The Nature and Organization of Optimization. In D. M. T. F. Edgar, Optimization of Chemical Processes, Second Edition* (pp. 4-5). New York: The McGraw Hill Companies Inc.
- Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchangers: Introduction, Classification, and Selection. In Heat Exchanger Design Handbook Second Edition* (pp. 57-75). New York: CRC Press.
- Thulukkanam, K. (2013). *Shell and Tube Heat Exchanger Design. In Heat Exchanger Design Handbook Second Edition* (pp. 293-323). New York: CRC Press.

Totok R. Biyanto, H. Y. (2016). *Thermal and Hydraulic Impacts Consideration in Refinery Crude Preheat Train Cleaning Scheduling Using Recent Stochastic Optimization Methods*. *Applied Thermal Engineering*, 1436-1450.

LAMPIRAN

A. Koding Optimisasi *Overall Heat Transfer Coefficient* pada *Heat and Tube Heat Exchanger* Menggunakan *Stochastic Algorithm*

Objective Function

```
%%objective function
function [uo] = objfunc(x)
%variabel optimisasi
tle = x(1); %tube length
do = x(2); %diameter outside
ds = x(3); %shell inner diameter

%shell side fluid input
mts = 3.404; %mass velocity
tsin = 60.4;
tsout = 49.55;
dens = 28.0285; %densitas
viss = 0.00001; %viscositas
kinviss = viss/dens; %kinematic viscosity
cps = 2368.5; %specific heat
ks = 0.0245; %thermal conductivity
prs = viss*cps/ks; %prandtl number

%tube side fluid input
mtt = 4.674; %mass velocity
ttin = 29.5; %suhu air laut
ttout = 40.52;
dent = 1019.8724; %densitas
vist = 0.0007852; %viscositas
kinvist = vist/dent; %kinematic viscosity
cpt = 4005; %specific heat
kt = 0.62164; %thermal conductivity
prt = vist*cpt/kt; %prandtl number

%tube mechanical data
np = 2; %number of pass
nt = 94; %number of tubes
dct = 1.5*do; %tube center diameter
ltw = 0.002769; %tube thickness
di = do-2*ltw; %tube inside diameter
tp = 1.25*do; %tube pitch

%shell mechanical data
ha = 45;
bs = ds*tand(ha); %baffle spacing
dotl = 0.587997; %outer tube bundle diameter
dctl = 0.564997; %circumsibed tube bundle diameter
nb = round((tle/bs)-1);

%shell side heat transfer coefficient
acs = 0.5*(1-dct/ds)*bs*ds*(1-do/tp);
%ms = mts/acs;
```

```

us = mts/(dens*acs);
reys = us*do*dens/viss;
nus = 0.193*reys^0.6*prs^0.3;
hs = nus*ks/do;

ktube = 36;

%tube side heat transfer coefficient
act = (22/7)*(di^2)*nt*2/4;
mt = mtt*2/act;
%ut = 0.101790478;
reyt = mt*(di)/vist;
nut = 0.027*reyt^0.8*prt^(1/3)*((1.031463479)^0.14);
ht = nut*kt/(di);

fs = 0.226*(reys^-0.206);
dps = (fs*dens*(us^2)*ds*cosd(ha)*(nb+1)/(2*do));
ft = ((1.58*log(reyt))-3.28)^-2;
dpt = (((2*ft*tle*2)/di)+4)*dent*(mt/1.583)^2*3.365;

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

Tw=35.01+((35.01-54.975)/(1+(ht/hs)))+273;

drft=((alfa)*(reyt^(-0.8))*(prt^(-1/3))*(exp(-ea/(r*Tw))))-
(gamma*(reyt^0.8)); %belum selesai
rft=(drft*17.56);

drfs=((alfa)*(reys^(-0.8))*(prs^(-1/3))*(exp(-ea/(r*Tw))))-
(gamma*(reys^0.8)); %belum selesai
rfs=(drfs*6.4);

cond=do*(log(do/di))/(2*ktube);

if dps >= 470.3273242

    uo =0;
else
    uo=1/((do/(di*ht))+((do*rft)/di)+cond+rfs+(1/hs));
end

end

```

Duelist Algorithm

```

clear all;
close all;
clc;

%====Deklarasi====

```

```

Hasilmax=[];
fitnessvector =[];
XDueler=[];
convergemax = [];
convergeiter = [];
DFDAfit = [];
xmax = [];
minmax = 'max';           % 'max' Maximum or 'min' Minimum
Population = 200;         % Total number of duelists in a population
MaxGeneration = 200;     % 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 = 3;
UB = [6.096 0.02540 0.8]; % Upper Bounds
LB = [3.6576 0.01905 0.5]; % 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*Dimension))+rand());

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

```

```

        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

        %====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
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:Population,:);
Duelist =
[Duelistnew(:,1:(FightCapabilities*Dimension));Remain(:,1:(FightCa
pabilities*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

    fitness = objfunc (X0(:,k));
    Datafit = [Datafit; mm*fitness];
end

Datalfit = Datafit;
[fitnessmax, nmax] = max(Datalfit);
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

plot(DataFDAfit);
hold on

```

```

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

X0maxfix
[fitnessmaxf, nmaxf] = max(DataFDAfit)

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

figure(gcf)
title('Grafik Nilai Maksimum DA','color','b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')

```

Genetic Algorithm

```

%GENETIC ALGORITHM%
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
clear all;
clc;

Dimension = 3; % dimensi diganti sesuai dengan
jumlah variabel yang dioptimasi
UB = [6.096 0.02540 0.8]; % Upper Bounds diganti sesuai
dengan constraint fungsi objektif
LB = [3.6576 0.01905 0.5]; % Lower Bounds diganti sesuai
dengan constraint fungsi objektif

Npop = 60; %populasi
Maxit = 200; %iterasi
el = 0.95; %elatism
Pc = 0.8; %probabilitas crossover
Pm = 0.05; %probabilitas mutasi
Nbit = 20; %jumlah bit
%Constrain

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

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 = objfunc(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 = objfunc(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax] = max(Datfit);
end

```

```
Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];

clc
max_variable_design=IndividuMax(1,:)
max_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Maksimum GA','color','b')
xlabel('Jumlah Iterasi')
ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')
hold on
plot(efitnessmax, 'DisplayName', 'efitnessmax', 'YDataSource',
'efitnessmax');
hold on
end
```

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Dzaky Murtadho Hidayat, lahir di Kota Bontang pada tanggal 22 Juli 1998 dari pasangan Bapak Nur Hidayat dan Ibu Tetty Setiawati. Penulis merupakan anak kedua dari dua saudara. Pada tahun 2010 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDIT Asy-Syaamil Bontang, pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Vidatra Bontang, pada tahun 2016 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Vidatra Bontang. Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis telah aktif dalam berbagai kepanitian diantaranya EPW dan Petrolida 2018.

Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2020 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Optimisasi *Fouling Resistance* dan Biaya pada *Shell and Tube Heat Exchanger* Menggunakan *Stochastic Algorithm*.**

Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : dzaky.murtadho@yahoo.co.id