



TUGAS AKHIR - TF 181801

***CLEANING SCHEDULING OPTIMISASI PADA  
HEAT EXCHANGER NETWORK  
MENGUNAKAN HOT MELTING***

Dimas Gerry Ainul Wafa'  
NRP. 02311745000057

Dosen Pembimbing  
Ir. Jerri Susatio, M.T

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





*FINAL PROJECT - TF181801*

***CLEANING SCHEDULING OPTIMIZATION ON  
HEAT EXCHANGER NETWORK USING HOT  
MELTING***

Dimas Gerry Ainul Wafa'  
NRP. 02311745000057

*Supervisor*  
Ir. Jerri Susatio, M.T

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



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Dimas Gerry Ainul Wafa'  
NRP : 02311745000057  
Jurusan/ Prodi : Teknik Fisika/ LJ Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "cleaning scheduling optimisasi pada heat exchanger network menggunakan hot melting" 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, 26 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Dimas Gerry Ainul Wafa'  
NRP. 02311745000057



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

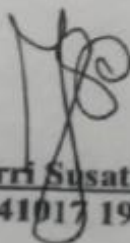
***CLEANING SCHEDULING OPTIMISASI PADA HEAT  
EXCHANGER NETWORK MENGGUNAKAN HOT  
MELTING***

Oleh:

Dimas Gerry A.W  
NRP 02311745000057

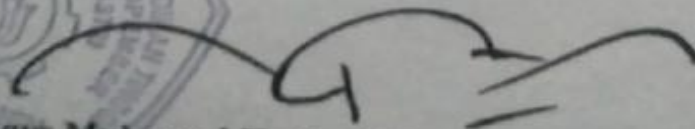
Surabaya, 26 Juli 2018

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I



Ir. Jerri Susatio, M.T  
NIPN. 19541017 198003 1 005

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



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





## LEMBAR PENGESAHAN

### *CLEANING SCHEDULING OPTIMISASI PADA HEAT EXCHANGER NETWORK MENGGUNAKAN HOT MELTING*

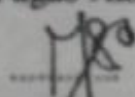
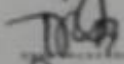
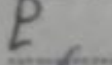
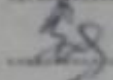
#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-I Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Dimas Gerry Ainul Wafa'**  
NRP. 02311745000057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- |                                     |   |                 |
|-------------------------------------|---|-----------------|
| 1. Ir. Jerri Susatio, M.T           |    | (Pembimbing)    |
| 2. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, Ph.D |   | (Ketua Penguji) |
| 3. Hendra Cordova, S.T, M.T         |  | (Penguji I)     |
| 4. Lizda Johar, S.T., M.T.          |  | (Penguji II)    |

**SURABAYA**  
**Juli, 2019**





# **CLEANING SCHEDULING OPTIMISASI PADA HEAT EXCHANGER NETWORK MENGGUNAKAN HOT MELTING**

**Nama Mahasiswa** : Dimas Gerry Ainul Wafa'  
**NRP** : 02311745000057  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Jerri Susatio,M.T

## **Abstrak**

Dalam usaha meningkatkan profitabilitas dan mengurangi emisi karbon dioksida, banyak proses di industri telah menerapkan upaya untuk meminimalkan konsumsi energi dengan memaksimalkan rekoveri panas melalui *heat exchanger network (HEN)*. Akan tetapi, *fouling* pada *heat exchanger* adalah deposit yang tidak diinginkan yang mengurangi realisasi pemanfaatan dari integrasi panas secara maksimum. Setiap *fouling* mempunyai cara pembersihan yang efektif. Thermal cleaning untuk foulant yang berupa *wax* (lilin). *Cleaning schedule* menggunakan fenomena *hot melting* mempunyai banyak kelebihan yaitu cleaning dilakukan tanpa penambahan peralatan khusus, tidak perlu melepas dan memasang kembali bundle heat exchanger serta tidak memerlukan waktu yang lama, hot melting terdapat pada *heat exchanger* no.2, 3, 4, dan 8 fenomena *hot melting* terjadi pada saat heat exchanger mengalami keadaan power trip. Dari hasil optimisasi menggunakan fenomena *hot melting* didapatkan bahwa setiap *heat exchanger* yang didapati mengalami fenomena hot melting mengalami kenaikan efisiensi untuk *heat exchanger* no.2 mengalami kenaikan sebesar 44% dengan desain efisiensi 62%, *heat exchanger* no.3 29% dengan desain efisiensi 59%, *heat exchanger* no.4 41,8% dengan desain efisiensi 74%, dan *heat exchanger* no.8 37,8% dengan efisiensi 67 % rata kenaikan efisiensi dari ke empat heat exchanger yang terdapat fenomena *hot melting* adalah sebesar 38,15 %. Dari hasil optimisasi *cleaning scheduling* menggunakan *hot melting* mendapatkan nilai saving energi sebesar \$1,69 juta

**Kata kunci** : *heat exchanger, wax (lilin), hot melting, fouling*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **CLEANING SCHEDULING OPTIMISASI PADA HEAT EXCHANGER NETWORK MENGGUNAKAN HOT MELTING**

**Name** : Dimas Gerry Ainul Wafa'  
**NRP** : 02311745000057  
**Department** : Department of Engineering Physics  
**Supervisor** : Ir. Jerri Susatio, M.T

## **Abstract**

*In an effort to increase profitability and reduce carbon dioxide emissions, many processes in the industry have implemented efforts to minimize energy consumption by maximizing heat recovery through a heat exchanger network (HEN). However, fouling in a heat exchanger is an unwanted deposit which reduces the realization of the maximum utilization of heat integration. Chemical cleaning for foulants which can be dissolved with certain solvents and thermal cleaning for foulants in the form of wax. Therefore fouling in the heat exchanger must be cleaned and fouling can be cleaned by a process known as hot melting. Cleaning schedule using the hot melting phenomenon has many advantages, namely cleaning is carried out without the addition of special equipment, no need to remove and reinstall the bundle heat exchanger and does not require a long time, hot melting is found in the heat exchanger No. 2, 3, 4 and 8 hot melting occurs when the heat exchanger experiences a power trip condition. From the results of the optimization using the hot melting phenomenon, it was found that each heat exchanger found to experience a hot melting phenomenon experienced an increase in efficiency for the heat exchanger No. 2 which increased by 44% with a design efficiency of 62%, no. %, no. 4 heat exchanger 41.8% with design efficiency 74%, and no. 8 heat exchanger 37.8% with efficiency 67%, average increase in efficiency from the four heat exchangers with hot melting phenomenon is 38.15% from cleaning schedule optimization using hot melting obtained energy saving \$1,69 billion.*

**Key word** : heat exchanger, wax (lilin), hot melting, fouling

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

*“CLEANING SCHEDULING OPTIMISASI PADA HEAT EXCHANGER NETWORK MENGGUNAKAN HOT MELTING”*

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. Allah SWT yang memberi rahmat serta hidayahnya dalam pengerjaan tugas akhir.
2. Segenap keluarga penulis yang telah memberikan dukungan penuh terhadap penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ir.Jerri Susatio selaku dosen pembimbing tugas akhir ini,
4. Totok Ruki Biyanto, Ph.D dosen penguji dan juga sebagai penggagas judul tugas akhir penulis
5. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Fisika ITS.
6. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di jurusan Teknik Fisika - ITS.
7. Teman-teman dan adik-adik workshop yang membuat saya semangat untuk terus menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman kelas lintas jalur dan teman-teman diluar kampus yang telah memberi dukungan moril dan referensi.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis

terima.Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 24 Juli 2019



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ix
<b>Abstrak</b> .....	vi
<i>Abstract</i> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Lingkup Kerja .....	3
<b>BAB II</b> .....	5
<b>DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Fenomena <i>Hot Melting</i> .....	5
2.2 Heat Exchanger .....	8
2.3 HENs( <i>heat exchanger networks</i> ).....	9
2.4 <i>Fouling</i> .....	10
2.5 <i>Cleaning schedule</i> .....	10
2.6 <i>Stochastic Optimization Algorithm</i> .....	11
<b>BAB III</b> .....	13
<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	13
3.1 Pengumpulan data awal .....	14

3.3	Fouling model .....	17
3.4	Optimisasi <i>cleaning schedule</i> .....	19
<b>BAB IV</b>	.....	<b>25</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>25</b>
4.1	Data Awal Rekonsiliasi pada Heat Exchangers Network	25
4.2	Hasil Pemodelan <i>fouling resistance</i> pada <i>heat exchanger networks</i> .....	29
4.3	<i>Cleaning Schedule Cost</i> Menggunakan <i>Hot Melting</i> .....	31
4.4	Hasil Optimisasi <i>Cleaning Schedule</i> Menggunakan Hot Melting.....	33
<b>BAB V</b>	.....	<b>41</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	<b>41</b>
5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>43</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Performa Dari <i>Heat Exchanger</i> .....	5
Gambar 2.2 Grafik terjadinya power trip pada heat exchanger ....	7
Gambar 2.3 Aliran fluida pada <i>heat exchanger</i> (a) <i>paralel-flow</i> (b) <i>counter current flow</i> .....	9
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	13
Gambar 3. 2 skematik diagram shell-tube heat exchanger .....	14
Gambar 3. 3 Cleaning schedule optimization menggunakan GA .....	23
Gambar 4. 1 profil <i>resistansi fouling</i> heat exchanger 01.....	28
Gambar 4. 2 profil <i>resistansi fouling</i> heat exchanger 02.....	28
Gambar 4. 3 grafik Boltzmann-sigmoidal .....	29
Gambar 4. 4 hasil grafik efisiensi heat exchanger no.2.....	34
Gambar 4. 5 hasil grafik efisiensi heat exchanger no.3.....	35
Gambar 4. 6 hasil grafik efisiensi heat exchanger no.4.....	36
Gambar 4. 7 hasil grafik efisiensi heat exchanger no.8.....	36
Gambar 4. 8 Overall-Heat-Transfer Saat Pembersihan Dan Fouled Kondisi.....	37
Gambar 4. 9 Minimum cost and mean cost .....	38



## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Data Rekonsiliasi dan kalibrasi .....	26
Tabel 4. 2 <i>fouling model</i> dan hasil $R^2$ .....	30
Tabel 4. 3 Cleaning Cost Heat Exchanger.....	32
Tabel 4. 4 Cleaning Interval pada heat exchanger network.....	39
Tabel 4. 5 Hasil Optimisasi Heat Exchanger Network Untuk 44 Bulan.....	40



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam usaha meningkatkan profitabilitas dan mengurangi emisi karbon dioksida, banyak proses di industri telah menerapkan upaya untuk meminimalkan konsumsi energi dengan memaksimalkan rekoveri panas melalui *heat exchanger network (HEN)*. Akan tetapi, *fouling* pada *heat exchanger* adalah deposit yang tidak diinginkan yang mengurangi realisasi pemanfaatan dari integrasi panas secara maksimum. Fouling menyebabkan hilangnya efisiensi sepanjang waktu, penambahan biaya pemompaan dan kehilangan produksi saat *downtime* [1]. Fouling menurunkan overall heat transfer coefficient ( $u$ ) dan menaikkan pressure drop. Ada beberapa jenis penyebab fouling pada heat exchanger, yaitu fouling yang disebabkan oleh proses reaksi, korosi, macroorganisme dan solidification. Setiap jenis fouling memiliki karakter foulant yang berbeda beda, salah satu contoh fouling yang disebabkan oleh solidification adalah fouling pada refineries pengolahan minyak yang banyak mengandung wax (lilin) [2].

Setiap fouling mempunyai cara pembersihan yang efektif. Mekanikal cleaning biasanya digunakan untuk foulant yang mempunyai kekerasan tinggi, chemical cleaning untuk foulant yang bisa dilarutkan dengan solvent tertentu dan thermal cleaning untuk foulant yang berupa wax (lilin). Oleh karena itu fouling pada heat exchanger harus dibersihkan dan fouling dapat dibersihkan dengan proses yang dikenal sebagai hot melting.

*Hot Melting* adalah fenomena pembersihan yang secara alami dapat membersihkan fouling pada heat exchanger walaupun pada pembersihan fouling ini fenomena hot melting tidak dapat membersihkan secara keseluruhan, fenomena hot melting sendiri pada penelitian sebelumnya ditemukan saat kondisi heat exchanger mengalami trip (kegagalan) dan tidak pada semua heat exchanger mengalami proses hot melting [3]. Hot melting tidak

dapat membersihkan semua fouling ke keadaan semula dikarenakan bahwa hot melting hanya dapat membersihkan fouling yang berupa wax (lilin) [4]. Dengan memanfaatkan fenomena hot melting dapat dilakukan pembersihan secara thermal untuk mengurangi foulant berupa wax (lilin) pada heat exchanger. Selain itu cleaning menggunakan hot melting memiliki kelebihan yaitu cleaning dilakukan tanpa penambahan peralatan khusus, tidak perlu melepas dan memasang kembali bundle heat exchanger serta tidak memerlukan waktu yang lama.

*Cleaning* pada *heat exchanger* dapat mencegah penurunan kinerja dari heat exchanger yang disebabkan oleh fouling. Namun selama pembersihan, heat exchanger tidak bekerja dengan baik atau tidak maksimal. Oleh karena itu jika dapat memprediksi fouling secara tepat, pembersihan heat exchanger dapat diatur sebelumnya sehingga dapat meminimalisir gangguan operasional. Cleaning biasanya menggunakan Mechanical cleaning dan memakan biaya yang banyak dan menghabiskan waktu sampai 5 hari. Jika fouling tidak dibersihkan pada heat exchanger terlihat bahwa sekitar 1-5% dari energi yang dikonsumsi oleh sektor industri digunakan untuk membayar kelebihan bahan bakar yang digunakan dan penambahan biaya listrik akibat *fouling* [5].

Karena melihat pentingnya cleaning scheduling dengan memanfaatkan fenomena hot melting dapat membersihkan fouling lebih cepat dengan rentang waktu 1 hari dan meningkatkan efisiensi pada heat exchanger. Maka pada penelitian ini dilakukan optimisasi *Cleaning Scheduling* dengan hot melting untuk meningkatkan efisiensi pada *heat exchanger*. Dengan adanya optimisasi ini diharapkan kondisi operasi berlangsung optimal sehingga biaya produksi yang diperlukan seminimal mungkin dan menghasilkan keuntungan produksi yang maksimal.



## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir ini adalah bagaimana mengetahui performansi cleaning scheduling pada heat exchanger

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dilakukan tugas akhir ini, adalah mengetahui performansi cleaning scheduling pada heat exchanger.

## **1.4 Lingkup Kerja**

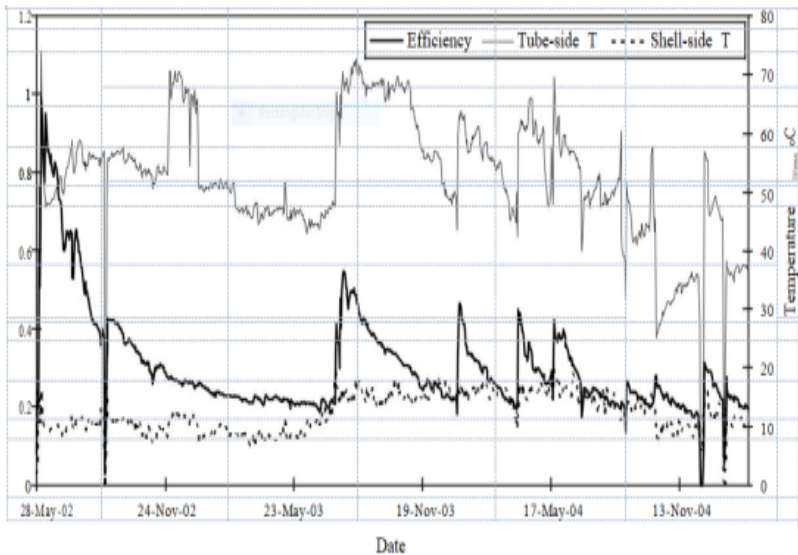
Adapun lingkup kerja yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Pengembangan model simulasi yang akurat untuk jaringan penukar panas industri yang dipilih, Pengembangan model prediksi fouling yang tepat untuk menggambarkan perilaku fouling secara akurat dengan periode inisiasi, Perumusan masalah optimisasi jadwal pembersihan HEN yang realistis yang mencakup biaya besar yang terkait dengan *fouling*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Fenomena *Hot Melting*

Fenomena *hot melting* adalah proses yang ditemukan saat terjadi pembersihan *fouling* pada *heat exchanger* yang terdapat pada *crude oil*. Mengacu pada penelitian sebelumnya tentang pembersihan *fouling* dengan cara yang dikenal dengan *hot melting* didapati bahwa Kinerja penukar panas yang dipilih untuk periode 3 tahun mulai dari perputaran ditunjukkan pada Gambar. 1. Koefisien perpindahan panas dalam kondisi kotor (Udirty) dihitung menggunakan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD). Efisiensi perpindahan panas dihitung sebagai Udirty / Uclean.

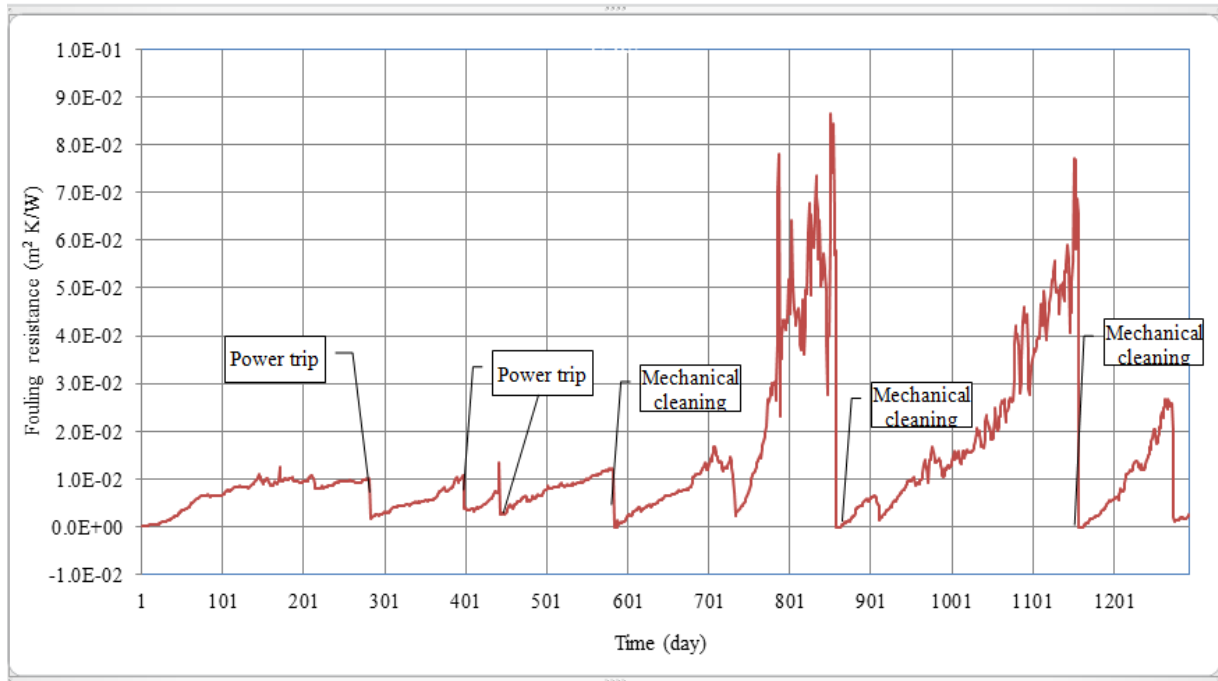


Gambar 2.0.1 Performa Dari *Heat Exchanger*

Seperti terlihat pada Gambar.1, pada Juni 2003 efisiensi turun menjadi hampir 20%. Penukar kemudian dibersihkan dengan proses yang dikenal sebagai '*hot melting*' di mana diesel panas dengan bahan kimia pembersih lainnya diedarkan di atas permukaan perpindahan panas selama beberapa jam sampai endapan larut dan dihilangkan. efisiensi puncak. Diamati bahwa efisiensi puncak tidak sepenuhnya dikembalikan ke nilai bersih setelah pencairan panas pertama, tetapi hanya untuk nilai sekitar 60%.

Proses *hot melting* yang terdapat pada heat exchanger pada crude oil ini dapat membersihkan fouling tetapi tidak dapat membersihkan secara sempurna karena pada saat proses *hot melting* hanya dapat membesihkan fouling yang berupa lilin (wax), molekul lilin ini terjadi karena hambatan hidrodinamik fluida mengalir yang tergantung pada laju aliran dan viskositas fluida. Viskositas yang lebih tinggi dan laju aliran yang tinggi. Tetapi dalam kondisi aliran yang turbulent tinggi, laju deposisi lilin menurun dengan meningkatnya aliran karena lilin secara mekanis menggerogoti endapan pada dinding pipa [6].

Saat cleaning di heat exchanger fenomena hot melting dapat membersihkan fouling walaupun tidak membersihkan secara penuh, fenomena ini terjadi ketika terjadi trip pada heat exchanger, pada gambar 2.2 menunjukkan profil fouling untuk *heat exchanger* E-02. *Heat exchanger* melakukan pembersihan mekanis pada 580, 850 dan 1144 hari dari operasi *turnaround*. Setelah setiap pembersihan resistensi fouling telah kembali ke nilai awal dalam kondisi bersih. Angka ini juga menunjukkan pengurangan resistensi fouling karena *hot melting* setelah pembangkit listrik mati (*trip*) dan *shutdown*. Hot melting adalah prosedur standar untuk membersihkan penukar panas setelah pembangkit listrik mati dan *shutdown*. Tapi, hot melting tidak bisa mengembalikan resistensi fouling kembali ke nilai awal setelah *plant turn-around*. Diamati bahwa profil resistensi fouling setelah pembersihan mekanis dan hot melting memiliki tren yang berbeda



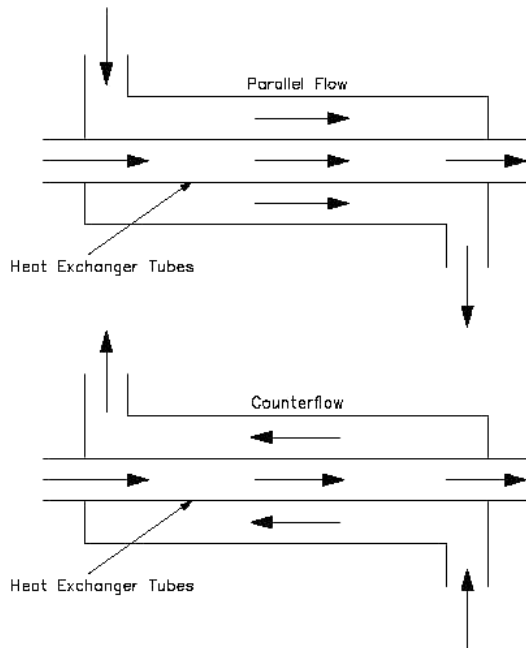
**Gambar 2.2** Grafik terjadinya power trip pada heat exchanger

## 2.2 Heat Exchanger

*Heat exchanger* adalah salah satu alat yang sering digunakan pada proses industri yang berfungsi untuk menghantarkan panas antara dua proses aliran dimana salah satu penerapannya bisa digunakan untuk proses pendinginan, pemanasan, kondensasi, ataupun evaporasi [7]. Perpindahan panas pada *heat exchanger* digunakan untuk mentransfer energi dari fluida bertemperatur panas ke fluida bertemperatur dingin ataupun sebaliknya, tanpa terjadi perpindahan massa didalamnya. Perpindahan panas pada *heat exchanger* dapat terjadi melalui proses konveksi dan konduksi. Laju perpindahan panas pada *heat exchanger* dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas keseluruhan, luas bidang transfer, dan perbedaan temperatur rata-rata logaritmik [8].

Perpindahan panas juga digunakan untuk mengubah keadaan atau fase suatu fluida, serta menghemat energi pada proses selanjutnya. Fluida-fluida pada *heat exchanger* dipisahkan oleh elemen konduksi berupa pembatas atau dinding berbentuk tabung atau lempengan, sehingga tidak terjadi kontak langsung atau pencampuran fluida-fluida tersebut [8].

Pada *heat exchanger* fluida panas dan dingin dapat mengalir searah (*co-current flow* atau *paralel flow*) dimana kedua fluida masuk pada ujung *heat exchanger* yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung *heat exchanger* yang lain. Apabila fluida panas dan dingin berlawanan arah (*counter current flow*) dimana fluida yang satu masuk pada ujung *heat exchanger*, sedangkan fluida yang lain masuk pada ujung *heat exchanger* yang lain [9].



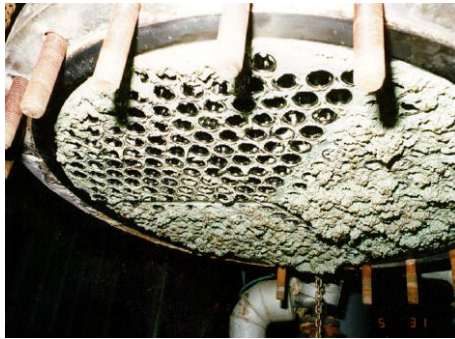
**Gambar 2.0.3** Aliran fluida pada *heat exchanger* (a) *parallel-flow* (b) *counter current flow*

### 2.3 HENs (*heat exchanger networks*)

Heat exchanger network merupakan kumpulan dari beberapa heat exchanger yang saling berintegrasi. Keberadaan HEN dapat membantu dalam mengurangi beban boiler dalam memanaskan fluida. HEN telah menjadi sesuatu yang umum pada industri pengolahan minyak, pengolahan bahan kimia, dll. Susunan dari heat exchanger yang terdapat pada HEN tidak dilakukan dengan sembarangan. Pada HEN terdapat fluida dingin yang melewati setiap heat exchanger dan terdapat fluida panas yang mengalir melewati lebih dari satu HE [10].

## 2.4 *Fouling*

*Fouling* adalah deposit yang tidak diinginkan pada permukaan *heat transfer* yang menghambat proses perpindahan panas *heat exchanger* dan meningkatkan hambatan aliran fluida sehingga *pressure drop* menjadi lebih tinggi. *Fouling* terjadi karena proses sedimentasi, kristalisasi, reaksi dan korosi. Lapisan *fouling* dapat berasal dari partikel-partikel atau senyawa lainnya yang tersangkut oleh aliran fluida. *Fouling* tidak dapat dihindari pada *heat exchanger* dan mempengaruhi produktivitas dan efisiensi *heat exchanger* [11].



**Gambar 2.4** *Fouling* pada permukaan *heat transfer shell and Tube*

## 2.5 *Cleaning schedule*

Cleaning schedule pada kasus ini dilakukan untuk dapat memberikan kemudahann dalam penjadwalan pembersihan pada *heat exchanger networks* pada *crude oil*. Cleaning schedule pada HENs (*heat exchanger networks*) peermasalahanya identik dengan *cost function* tapi ada perbedaan di dalam *cost function* itu sendiri, untuk pertama kalinya di perkenalkan oleh geogiardis tentang *heat exchanger* di plan susu [12] . *cost function* itu sendiri adalah dasar dari anilisis produksi dan biaya. Fungsi obyektif



yang terdiri dari biaya utilitas dan biaya pembersihan digunakan bersama dengan kendala pada keseimbangan energi, fouling, interval pembersihan, dan durasi pembersihan. Dan masalah tentang optimisasi ini telah ditemukan solusi dengan menggunakan *mixed integer nonlinear programming* (MINLP) dengan rumus :

$$J = \sum_{p=1}^{N_p} CU_p T_p + \sum_{n=1}^{N_E} \sum_{p=1}^{N_p} (\bar{C}_{n,p} (1 - y_{n,p}) + \hat{C}_{n,p} \Delta t_{n,p}) \quad (2.1)$$

Dimana :

$\bar{C}_{n,p}$  = koefisien pembersihan tetap selama periode p

$\hat{C}_{n,p}$  = variabel koefisien selama pembersihan p

CU = cost koefisien

n = nomer dari heat exchanger

P = periode

T = temperature panas fluida

$\Delta t_{n,p}$  =

interval waktu untuk periode terakhir di bersihkan

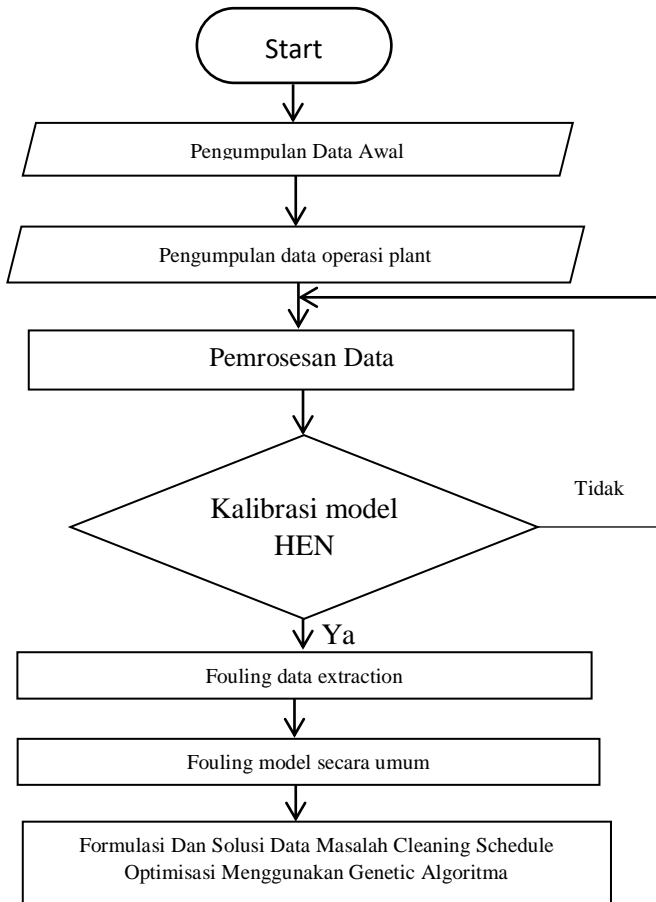
## 2.6 Stochastic Optimization Algorithm

Optimisasi dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu sesuai dengan fungsi objektif yang telah ditentukan (maksimum atau minimum). 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. Ada beberapa metode optimisasi stokastik algoritma,

contohnya; *Genetic Algorithm (GA)*, *Rain Water Optimization (RWA)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Duelist Algorithm*, dan sebagainya. Namun pada tugas akhir kali ini hanya menggunakan metode ICA (*imperialist competitive algorithm*), guna mencari global optimum dari *fitness* terbaik dari metode tersebut.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada kajian ini dirancang dengan beberapa tahapan yang digambarkan pada diagram alir dibawah ini. Tahapan-tahapan tersebut meliputi gambar *flow chart* dibawah.



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

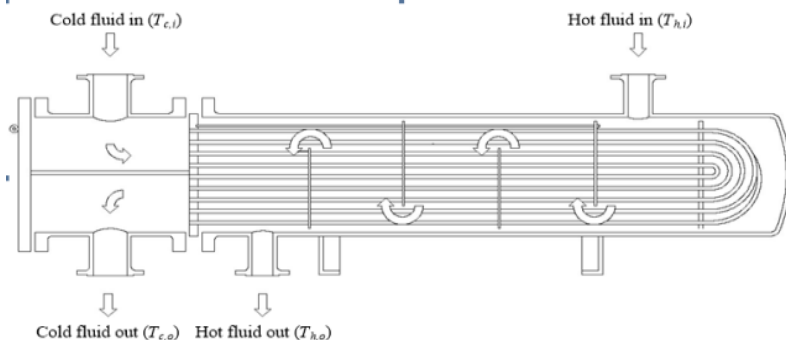
### 3.1 Pengumpulan data awal

Aktivitas penelitian pertama dan terpenting melibatkan pengumpulan data dari kilang terpilih. Jendela operasi yang sesuai akan dipilih untuk pengumpulan data berdasarkan diskusi dengan insinyur pabrik. Diagram alir proses (PFD), diagram perpipaan dan instrumentasi (P&ID) dan data desain penukar panas akan dikumpulkan dari instalasi. Berdasarkan informasi dalam PFD dan P & ID, sebuah template untuk pengumpulan data akan disiapkan dan data rata-rata harian akan dikumpulkan dari history instalasi. Data yang akan dikumpulkan terutama terdiri dari:

1. Data operassional inlet outlet temperature dan flowrate
2. informasi campuran pada crude oil
3. laporan operasi dan pemeliharaan

### 3.2 Pemodelan Heat Exchanger

Heat exchanger shell-and-tube umumnya digunakan pada HEN besar, terutama yang melibatkan hasil yang besar. Diagram skematis dari penukar panas shell-and-tube ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2** skematik diagram shell-tube heat exchanger

secara umum analisis kinerja dan simulasi kinerja *heat exchanger* dilakukan dengan menggunakan keseimbangan energi

*steady state* di *heat exchanger*. Keseimbangan energi pada cairan panas dan dingin bersama-sama dengan persamaan perpindahan panas merupakan model *heat exchanger*. Model yang disederhanakan umumnya menggunakan kekuatan pendorong rata-rata seperti *log mean temperature difference* (LMTD) dan mengasumsikan sifat-sifat seragam dari fluida sepanjang panjang penukar panas untuk menentukan keseluruhan koefisien perpindahan panas.

Dengan asumsi bahwa tidak ada kehilangan panas ke lingkungan, panas yang hilang oleh aliran fluida panas harus sama dengan panas yang diperoleh oleh aliran fluida dingin, dengan demikian :

$$Q_c = Q_h \quad (3.1)$$

Dimana

$Q_c$  = jumlah panas yang diterima oleh fluida dingin

$Q_h$  = jumlah panas yang diterima oleh fluida panas

Jumlah panas yang diterima oleh fluida dingin,  $Q_c$ , diberikan oleh :

$$Q_c = m_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (3.2)$$

dimana  $m_c$  = mass flow rate of the cold fluid (crude oil)

$c_{p,c}$  = specific heat of the cold fluid

$T_{c,i}$  = inlet temperature of the cold fluid

$T_{c,o}$  = outlet temperature of the cold fluid

Jumlah panas yang diterima oleh fluida panas  $Q_h$

$$Q_h = m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (3.3)$$

dimana  $m_h$  = mass flow rate of the hot fluid

$c_{p,h}$  = specific heat of the hot fluid

$T_{h,i}$  = inlet temperature of the hot fluid

$T_{h,o}$  = outlet temperature of the hot fluid

Jumlah panas yang ditransfer dari fluida panas ke fluida dingin, Q, pada permukaan penukar panas akan sama dengan Qc dan Qh dan diberikan oleh

$$Q = UAF\Delta T_{lm} \quad (3.4)$$

Dimana

U = Keseluruhan perpindahan panas

A = Area permukaan perpindahan panas

$\Delta T_{lm}$  = *log mean temperature difference*  
(LMTD)

F = Factor koreksi LMTD

Koefisien perpindahan panas keseluruhan, U, ditentukan dengan menggunakan korelasi empiris dari masing-masing koefisien perpindahan panas dan resistensi akibat *fouling* [13]. Seperti

$$\frac{1}{U} = \frac{d_o}{d_i h_i} + \frac{d_o R_{f,i}}{d_i} + \frac{d_o \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2k_w} + R_{f,o} + \frac{1}{h_o} \quad (3.5)$$

Dimana :

$R_{f,i}$  = Inlet fouling resistance

$R_{f,o}$  = outlet fouling resistance

$h_i$  = tube-side film heat-transfer coefficient

$h_o$  = shell-side film heat-transfer coefficient

- $U$  = overall heat-transfer coefficient  
 $k_w$  = thermal conductivity of the tube metal  
 $d_o$  = outside diameter of the tube  
 $d_i$  = inside diameter of the tube

### 3.3 Fouling model

Pada tahun 1979, Crittenden dan Kolaczkowski melakukan percobaan sistematis untuk menentukan endapan stirena dari minyak tanah dan mengusulkan model umum yang mempertimbangkan pengangkutan bahan kimia perintis dan reaksi kimia [14].

$$\frac{dR_f}{dt} = \frac{1}{\rho_f k_f} \left[ \frac{C_{rb}}{\frac{\rho(d-2x)^{1.8} (Sc_r)^{0.67}}{1.213 \lambda_1 \eta^{0.2} G^{0.8}} + \frac{1}{Ae^{-\frac{E}{RT}}}} - \frac{1.213 \lambda_1 \eta^{0.2} G^{0.8} C_{Di}}{\rho(d-2x)^{1.8} (Sc_D)^{0.67}} \right] \quad (3.6)$$

dimana  $\lambda_1$  = function of surface roughness

$\rho_f$  = foulant density

$\rho$  = fluid density

$\eta$  = fluid viscosity

$A$  = constant

$E$  = activation energy of the chemical reaction

$C_{rb}$  = reactant/precursor concentration in bulk fluid

$C_{Di}$  = deposit concentration at the interface

$d$  = tube diameter

$G$  = mass flow rate

$k_{tr}$  = mass transfer coefficient for reactant/precursor

$k_{td}$  = mass transfer coefficient for deposit

$k_f$  = foulant thermal conductivity

$R$  = universal gas constant

$Sc_r$  = Schmidt number of precursor

$Sc_D$  = Schmidt number of deposit

$T$  = temperature

$x$  = deposit thickness

kemudian penelitian berkembang lagi dengan Konsep threshold fouling untuk minyak mentah pertama kali dilaporkan dalam literatur oleh [15]. dari rumkus umum untuk fouling dengan pendekatan rumus semi empiris model Seperti rumus dibawah ini

$$\frac{dR_f}{dt} = \alpha' Re^{-0.8} Pr^{-0.33} \exp\left(\frac{-E}{RT_w}\right) - \gamma' Re^{0.8} \quad (3.7)$$

Penerapan model fouling teoretis dan semi-empiris untuk menganalisis pengotoran pada penukar panas industri, terutama pada kereta panas awal minyak mentah tampaknya tidak praktis karena kilang menggunakan berbagai campuran minyak mentah dengan laju aliran minyak mentah yang bervariasi. Tidak tersedianya batch sifat minyak mentah dan kurangnya pemahaman tentang efek pencampuran pada sifat fisik menghambat penggunaan tipe model di atas. Model empiris yang melibatkan sedikitnya jumlah parameter dapat dengan mudah dikembangkan dengan data operasi. Secara umum, model empiris ini memprediksikan resistensi pengotoran sebagai fungsi waktu dan tidak secara langsung bergantung pada sifat fisik minyak mentah atau campuran minyak mentah. Model linear, tingkat jatuh dan pelarangan eksponensial telah dilaporkan digunakan dalam masalah optimisasi jadwal pembersihan HEN untuk



mengurangi beban komputasi selama solusi masalah optimisasi [16].

Dua model *fouling* empiris yang paling umum digunakan adalah model pengotoran linier dan eksponensial [17]. Dan berikut adalah rumus untuk *fouling* empiris linear

$$R_f = at \quad (3.8)$$

Dua model *fouling* empiris yang paling umum digunakan adalah linier dan di mana parameter,  $a$ , mewakili laju *fouling* konstan. Dan model *fouling* eksponensial sebagai berikut

$$R_f(t) = R_f^\infty (1 - \exp(-t/\tau_t)) \quad (3.9)$$

dimana  $R_f^\infty = \text{asymptotic fouling resistance}$

$t =$  waktu terakhir sejak pembersihan terakhir

$\tau_t =$  waktu karakteristik dari *fouling*

### 3.4 Optimisasi *cleaning schedule*

*Cleaning schedule heat exchanger* dapat dinyatakan sebagai jumlah pembersihan dalam periode operasi tertentu atau durasi antara pembersihan berturut-turut. Tujuan optimalisasi jadwal pembersihan HEN dapat dikategorikan ke dalam dua kelas, yaitu sebagai berikut: untuk meminimalkan kerugian ekonomis atau memaksimalkan penghematan karena pengotoran pada penukar panas dengan menjadwalkan pembersihan penukar panas secara optimal. Oleh karena itu, fungsi tujuan yang diusulkan untuk optimasi jadwal pembersihan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$J = \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{n=1}^{N_E} C_E y_{n,p} (Q_{n, \text{clean}} - Q_{n,p}) \Delta t + \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{n=1}^{N_E} C_{Cl} (1 - y_{n,p}) \quad (3.10)$$

dimana

$C_E =$  Economic value for unit of energy transfer rate

$C_C =$  Cost of heat exchanger cleaning, USD/cleaning, varies with heat exchanger.

$C_p$  = Cost of pump work

$N_E$  = Number of heat exchangers in the HEN

$N_{c,n}$  = Number of cleanings for nth HE in the given operating period

$N_{if}$  = Number of days (Time horizon)

$W_p$  = Additional pump work due to increased pressure drop

$U_a$  = Actual heat transfer coefficient

$U_c$  = Clean heat transfer coefficient

$A$  = Heat transfer surface area

$Q_{n,t}^{cl}$  = Heat transfer in the nth at time t in clean condition

$Q_{n,t}^{wcl}$  = Heat transfer in the nth at time t with cleaning scheduling

$T$  = Temperature

$Y$  = Status setiap penukar panas. 1 jika unit berfungsi dan 0 untuk sebaliknya

$n = 1, 2, \dots, N_E$  nomer *heat exchanger*

$c$  = Cold fluid

$h$  = Hot fluid

$i$  = Inlet

$o$  = Outlet

Fungsi obyektif yang diusulkan melibatkan biaya tambahan memompa karena peningkatan ketebalan fouling di

dalam tabung. Oleh karena itu fungsi tujuan yang diusulkan lebih tepat daripada yang lain yang tersedia dalam literatur.

### **3.5 Optimisasi cleaning schedule dengan imperialis competitive algoritma**

Imperialist Competitive Algorithm (ICA) diperkenalkan pada 2007 oleh Esmail Atashpaz. Algoritma ini adalah algoritma komputasi yang mengacu pada otoritas kompetisi ICA adalah salah satu metode optimisasi dalam sistem modern. Tujuan akhir dari optimalisasi ICA adalah untuk mendapatkan solusi optimal dari masalah yang pasti. Dalam penyelesaian masalah optimasi, ICA memiliki beberapa tahap operasi.

Menghasilkan initial empires adalah tahap pertama dari operasi ICA. Pada tahap ini, ICA membentuk susunan variabel untuk dioptimalkan nilainya. Susunan dari ICA dikenal sebagai country, sedangkan pada metode optimasi lainnya seperti Genetic Algorithm (GA) dikenal sebagai kromosom. Di dalam sebuah country terdapat susunan  $1 \times Nvar$ . Setelah itu, imperialis memimpin empire dari salah satu country terbaik. Sisa populasi akan membentuk koloni yang dimiliki oleh empires. Sebuah empire memiliki imperialis dan beberapa koloni. Persamaan inisialisasi country dapat dinyatakan oleh (4). Variabel  $(P1, P2, P3, \dots, PNvar)$  adalah variabel yang akan dioptimalkan ( $Nvar$ ). Biaya masing-masing country dapat ditentukan dengan mengevaluasi posisi masing-masing country .

Tahap kedua untuk operasi ICA adalah memindahkan koloni menuju imperialis. Pada tahap ini, kaum imperialis akan berusaha memperbaiki koloninya dengan menggerakkan semua koloni menuju imperialis. Jika koloni terus menerus bergerak, itu akan membuat semua koloni bergerak ke arah imperialis. Dalam pergerakan koloni menuju imperialis, koloni tidak secara langsung bergerak ke arah imperialis. Sejumlah penyimpangan acak ditambahkan ke arah gerakan untuk memodelkan fakta ini.

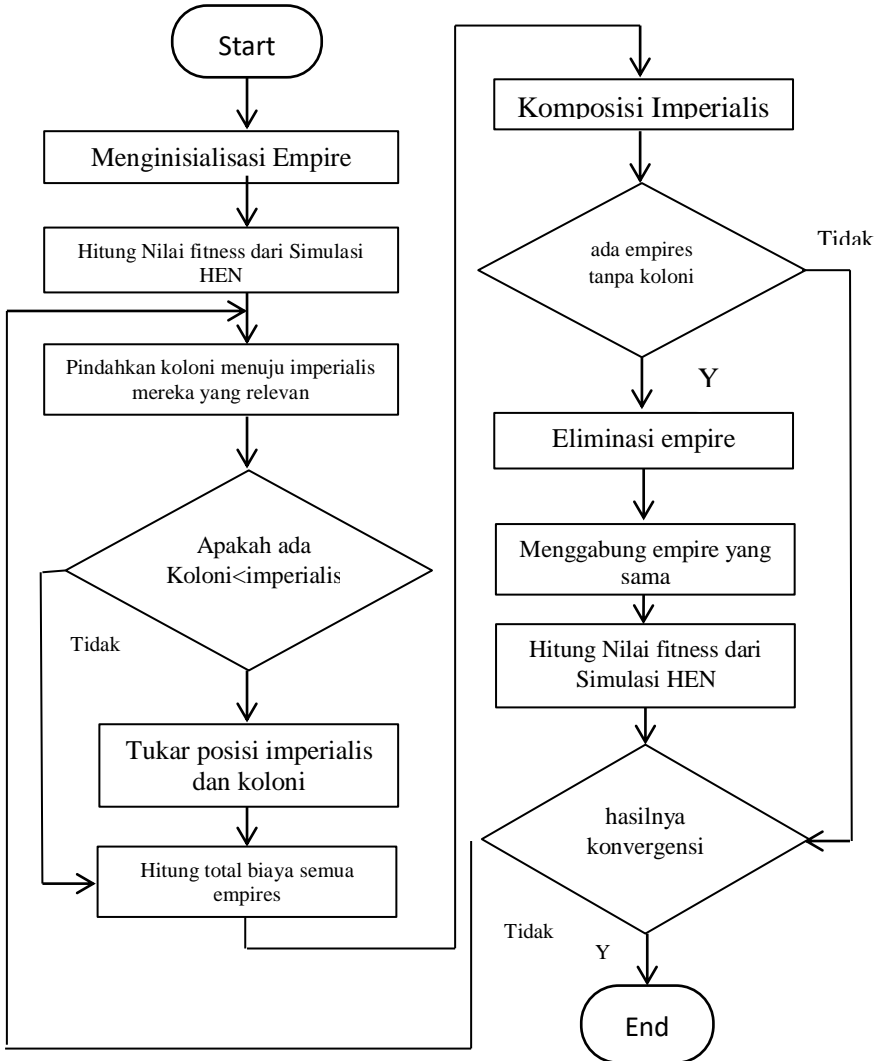
Pada saat memindahkan koloni ke arah imperialis, sebuah koloni mungkin memiliki biaya yang lebih baik daripada

imperialis. Ketika itu terjadi, itu akan menyebabkan pertukaran posisi antara imperialis dan koloni. Algoritme akan dilanjutkan dengan imperialis baru dan koloni baru.

Beberapa imperialis diizinkan untuk pindah ke posisi yang sama pada saat koloni dan gerakan imperialis menuju minimum global. empire baru akan terbentuk ketika jarak antara kedua imperialis kurang dari ambang jarak. Imperialis baru juga dibentuk pada posisi di mana kedua imperialis bertemu satu sama lain.

Kekaisaran(empire) yang kuat dipengaruhi oleh imperialis. Namun, kekuatan koloni juga memberikan efek kecil pada kekuatan kekaisaran. Total biaya sebuah kerajaan dapat didefinisikan sebagai jumlah biaya imperialis dan biaya koloni rata-rata yang dimiliki oleh imperialis di satu kerajaan yang dituliskan pada (6). Hasil dari  $\xi$  menunjukkan pengaruh kontribusi koloni dan nilai positif kurang dari 1. T.CN adalah total biaya kekaisaran. Dalam hasil kekuatan total, imperialis itu mempengaruhi kerajaan daripada koloni.

Semua kekaisaran akan berusaha mengendalikan koloni kekaisaran lainnya. Persaingan ini secara bertahap akan meningkatkan kekuatan kekaisaran yang kuat dan akan mengurangi kekuatan kekaisaran yang lemah. Kompetisi ini dapat dimodelkan dengan mengambil beberapa atau salah satu koloni terlemah yang dimiliki oleh kekaisaran yang lemah di antara semua kekaisaran. Ini akan menciptakan persaingan antara semua kekaisaran yang memiliki kekuatan yang lebih kuat untuk mengendalikan koloni. Untuk memulai kompetisi, ia akan menemukan probabilitas kepemilikan di setiap kekaisaran berdasarkan kekuatan total. Eliminasi kekaisaran terjadi ketika kekaisaran kehilangan semua koloninya. Kekaisaran dihilangkan karena kekaisaran terlemah akan menghancurkan kekuasaan dan koloni dalam kompetisi. Kekaisaran akan didistribusikan koloni ke yang lain



**Gambar 3. 3** Cleaning schedule optimization menggunakan ICA

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Awal Rekonsiliasi pada Heat Exchangers Network

Data awal rekonsiliasi ini adalah data yang akan diolah dengan nilai nilai yang diukur untuk optimisasi dengan rentang waktu dan periode tertentu dengan mempertimbangkan *mass energi balance*.

Pada data tabel 4.1 terdapat beberapa nilai untuk optimisasi, yang nantinya nilai nilai tersebut yang akan dijadikan sebagai objective function untuk optimisasi cleaning schedule pada heat exchanger networks. Data berikut adalah nilai dari resistance fouling ( $R_f$ ), luasan heat transfer ( $A_0$ ), dan juga data cost saat pembersihan pada heat exchanger.

Perhitungan pemodelan *fouling resistance* pada *heat exchanger*, dimana *fouling resistance* ini menjadi masukan yang nantinya akan digunakan untuk pemodelan dan proses optimisasi.

*Properties* fluida mempengaruhi proses pembentukan *fouling* pada *heat exchanger*. Proses desain *heat exchanger* memerlukan data *properties* fluida sehingga dapat ditentukan geometri yang optimal sesuai dengan fluida yang mengalir pada sisi *shell* dan *tube*.

**Tabel 4. 1** Hasil Data Rekonsiliasi dan kalibrasi

HE NO.	Initial fouling resistance		Overall heat-transfer coefficient			Tube-side outlet temperature			Shell-side outlet temperature		
	$R_{f,o}$	$R_{f,i}$	Esti-masi	Simul-asi	deviasi	aktua	simul-asi	deviasi	aktual	simul-asi	deviasi
	m <sup>2</sup> K/W	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	%	°C	°C	%	°C	°C	%
E-01	3.60E-04	3.63E-04	457.7	457.8	-0.01%	72.4	72.6	0.19%	73.2	73.2	-0.01%
E-02	4.00E-04	4.03E-04	383.3	383.2	0.02%	84.7	84.0	-0.89%	76.4	75.9	-0.67%
E-03	1.90E-04	1.95E-04	499.4	499.5	-0.02%	100.0	100.9	0.87%	91.0	90.1	-1.02%
E-04	1.25E-03	1.25E-03	176.0	176.0	-0.01%	108.9	108.6	-0.28%	108.5	108.5	0.00%
E-05	4.00E-04	4.02E-04	356.1	356.0	0.02%	128.5	129.1	0.47%	116.4	117.1	0.61%
E-06	4.80E-04	4.80E-04	400.4	400.5	-0.03%	133.4	133.8	0.32%	137.1	138.1	0.77%
E-07	1.62E-03	1.62E-03	147.4	147.4	0.01%	139.2	139.6	0.32%	138.2	140.6	1.77%
E-08	2.80E-04	2.80E-04	320.1	320.2	-0.04%	148.2	148.4	0.13%	154.9	154.9	0.00%
E-09	6.50E-04	6.50E-04	327.8	327.9	-0.02%	180.5	179.9	-0.32%	188.0	192.5	2.42%
E-10	5.00E-04	5.00E-04	448.3	448.3	0.01%	200.3	199.6	-0.33%	215.6	216.4	0.39%
E-11	5.00E-05	5.20E-05	489.6	489.6	0.00%	222.7	228.3	2.51%	222.1	220.8	-0.59%



Koefisien perpindahan panas keseluruhan yang sebenarnya di bawah kondisi fouling,  $U_a$ , diperkirakan dari pengukuran di sekitar penukar panas dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_a = \frac{Q}{AF\Delta T_{lm}} \quad (4.1)$$

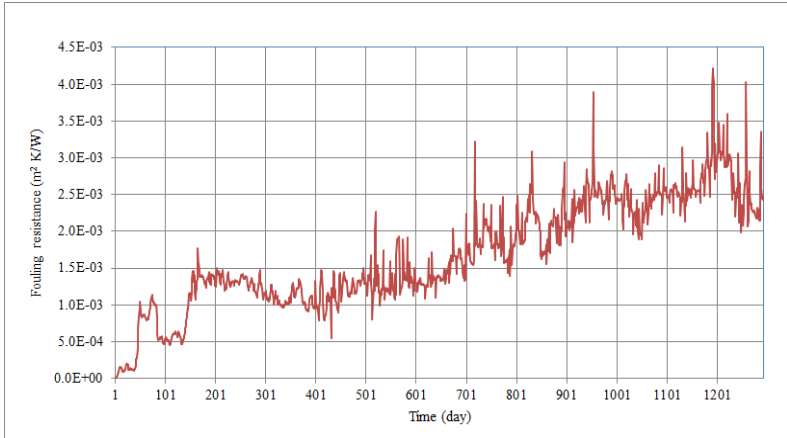
di mana  $Q$  adalah laju perpindahan panas yang dihitung menggunakan salah satu fluida. *resistance fouling*,  $R_f$ , kemudian di dapatkan persamaan sebagai berikut :

$$R_f = \frac{1}{U_a} - \frac{1}{U_c} \quad (4.2)$$

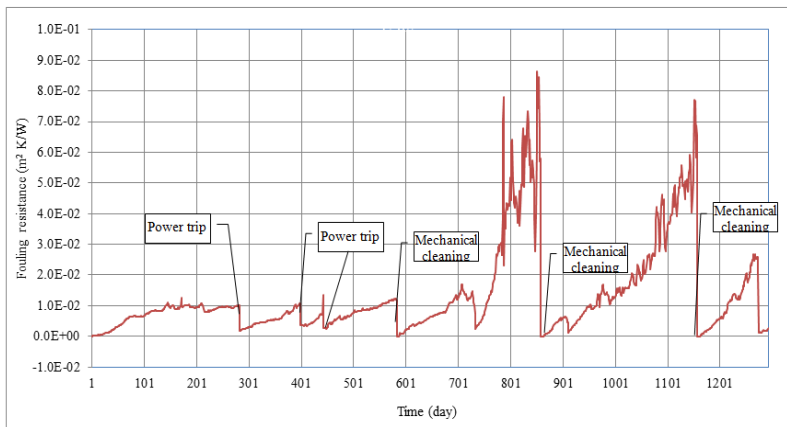
Gambar 4.1 menunjukkan profil  $R_f$  dari penukar panas E-01. Penukar panas E-01 belum dibersihkan selama seluruh periode. Diamati bahwa *fouling resistance* sangat berfluktuasi, fluktuasi terutama disebabkan oleh variasi dalam kondisi operasi dan sifat fluida. Ketidakakuratan dan kebisingan dalam pengukuran aliran dan suhu juga menghasilkan fluktuasi dari estimasi nilai *fouling resistance*. Profil fouling dari semua penukar panas lainnya ditunjukkan pada Gambar 4.1 - 4.11(lampiran A).

Gambar 4.2 menunjukkan profil fouling untuk penukar panas E-02. Penukar panas menjalani pembersihan mekanis pada 580, 850 dan 1144 hari dari operasi turnaround. Setelah setiap pembersihan *fouling resistance* telah kembali ke nilai awal dalam kondisi bersih. Angka ini juga menunjukkan pengurangan *fouling resistance* karena *hot melting* setelah pembangkit *shutdown*. *Hot melting* adalah prosedur standar untuk membersihkan penukar panas setelah pembangkit listrik padam dan mati. Tapi, *hot melting* tidak bisa mengembalikan *fouling resistance* kembali ke

nilai awal setelah pergantian pabrik. Diamati bahwa profil ketahanan fouling setelah pembersihan mekanis dan peleburan panas memiliki tren yang berbeda. Perbedaan dalam tren *fouling* terutama karena status penukar panas lainnya



**Gambar 4. 1** profil *resistensi fouling* heat exchanger 01

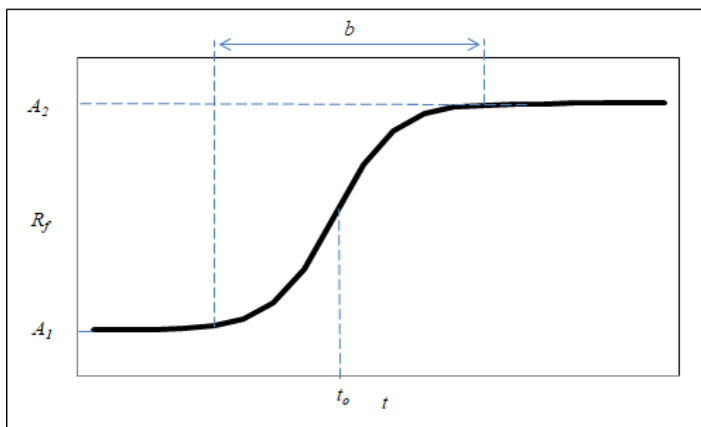


**Gambar 4. 2** profil *resistensi fouling* heat exchanger 02

#### 4.2 Hasil Pemodelan *fouling resistance* pada *heat exchanger networks*

Pemodelan *resistance fouling* pada *heat exchanger* 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* ( $\Delta p_s$ ) dan di sisi *tube* ( $\Delta p_t$ ), *fouling resistance* di sisi *shell* ( $R_{fs}$ ) dan di sisi *tube* ( $R_{ft}$ ). Perhitungan pemodelan *heat exchanger* dan *fouling resistance* menggunakan persamaan pada bab3 yang akan diperoleh hasil A1.

Fungsi Boltzmann-sigmoidal memiliki empat parameter dengan signifikansi fisik: A1, asymptote horizontal kiri, adalah nilai awal; A2, asimtot horisontal kanan, adalah nilai akhir;  $t_0$  adalah pusat atau titik infleksi; dan  $b$  adalah lebarnya. Fungsi ini dapat memodelkan karakteristik *fouling* dengan mengubah nilai dari empat parameter. Parameter disesuaikan dengan kurva fitting sehingga penyimpangan antara data *fouling* dan nilai prediksi diminimalkan dengan kriteria konvergensi 0,0001 selama 100 iterasi. Kriteria diminimalkan dengan menyesuaikan nilai deviasi dari variabel pencarian menggunakan algoritma Newton.



**Gambar 4. 3** grafik Boltzmann-sigmoidal

**Tabel 4. 2** *fouling model* dan hasil  $R^2$ 

Heat Exchanger No.	Model Parameters				$R^2$
	$A_1$	$b$	$A_2$	$t_o$	
E-01	-1.26E-03	643	6.52E-03	1.05E+03	0.908
E-02	-5.00E-04	23	9.41E-03	6.63E+01	0.980
E-03	-6.00E-04	19	9.80E-03	5.06E+01	0.960
E-04	-5.00E-04	37	1.04E-02	1.12E+02	0.965
E-05	-1.20E-03	36	1.25E-02	8.58E+01	0.982
E-06	-9.00E-04	54	7.60E-03	1.12E+02	0.969
E-07	-3.00E-05	23	4.14E-03	1.13E+02	0.899
E-08	-1.00E-04	42	8.94E-03	1.66E+02	0.981
E-09	-9.00E-04	79	7.53E-03	1.64E+02	0.979
E-10	-8.00E-05	40	2.69E-03	1.43E+02	0.993
E-11	-1.30E-03	40	1.02E-02	8.08E+01	0.928

sigmoidal Boltzmann mendekati ketiga jenis model empiris yang digunakan sebelumnya, yaitu: linier, laju penurunan dan asimptotik dengan pilihan parameter yang tepat. Sebagai contoh, nilai yang sangat rendah untuk menunjukkan bahwa tidak ada atau periode induksi rendah, nilai besar dari  $b$  dan  $A_2$  menunjukkan jenis model pengotoran linier; nilai moderat dari  $b$  dan  $A_2$  menunjukkan tipe model pengotoran asimptotik.

oleh karena itu Fungsi Boltzmann-sigmoidal, dipilih dalam penelitian ini untuk memodelkan perilaku busuk di semua penukar panas. Parameter model diperoleh melalui teknik regresi non-linear. Gambar 4.13 - 4.24 (lampiran B) menunjukkan data fouling tipikal dan prediksi model fouling yang sesuai. Parameter model dirangkum dalam Tabel 4.2 koefisien regresi,  $R^2$ .

Diamati bahwa nilai  $R^2$  berada di kisaran 0,91 hingga 0,99. Nilai  $R^2$  yang tinggi menunjukkan bahwa jenis model yang dipilih cukup untuk mengkarakterisasi fouling dan mereka dapat digunakan dengan aman untuk memprediksi resistensi *fouling* selama optimasi *cleaning schedule*.

### **4.3 Cleaning Schedule Cost Menggunakan Hot Melting**

Mengingat waktu operasi sejak pembersihan terakhir, resistensi fouling yang dihitung oleh masing-masing model fouling digunakan untuk memperkirakan koefisien perpindahan panas keseluruhan untuk setiap penukar panas. Dengan nilai estimasi koefisien perpindahan panas keseluruhan, simulasi steady state dari semua penukar panas dilakukan oleh solusi simultan dari persamaan model dan jumlah panas yang ditransfer di setiap penukar panas diprediksi. Dengan demikian, kehilangan dalam transfer panas dan nilai ekonomi yang sesuai ditentukan untuk setiap penukar panas. Biaya energi, biaya pembersihan, dan biaya listrik diperoleh dari manajemen pabrik yang diteliti.

Biaya pembersihan ( $C_{cl}$ ) untuk setiap penukar panas dirangkum dalam Tabel 4.3. Ini bervariasi tergantung pada ukuran penukar panas. Durasi setiap pembersihan untuk penukar panas diasumsikan 5 hari dan setiap penukar panas memiliki

sistem bypass independen. Biaya listrik yang digunakan untuk menghitung daya pompa tambahan diambil sebagai RM 0,233 per kWh, sedangkan cleaning saat memakai heat exchanger tidak memakan biaya.

**Tabel 4. 3** Cleaning Cost Heat Exchanger

<b>Heat exchanger</b>	<b>Cleaning cost (RM)</b>	<b>Menggunakan hot melting</b>
E-01	100,000	Tidak ada hot melting
E-02	96,000	0
E-03	107,000	0
E-04	152,000	0
E-05	150,000	Tidak ada hot melting
E-06	50,000	Tidak ada hot melting
E-07	50,000	Tidak ada hot melting
E-08	208,000	0
E-09	59,000	Tidak ada hot melting
E-10	48,000	Tidak ada hot melting
E-11	183,000	Tidak ada hot melting

#### **4.4 Hasil Optimisasi Cleaning Schedule Menggunakan Hot Melting**

Optimisasi adalah proses untuk memperoleh nilai yang optimal sesuai dengan fungsi tujuan. Pada optimisasi cleaning schedule yang memanfaatkan fenomena hot melting yang terjadi pada heat exchanger network. Heat exchanger network merupakan kumpulan dari beberapa heat exchanger yang saling berintegrasi. Pada heat exchanger network ini terdiri dari 11 heat exchanger yang saling berintegrasi, berikut dapat dilihat desain dan susunan dari heat exchanger network.

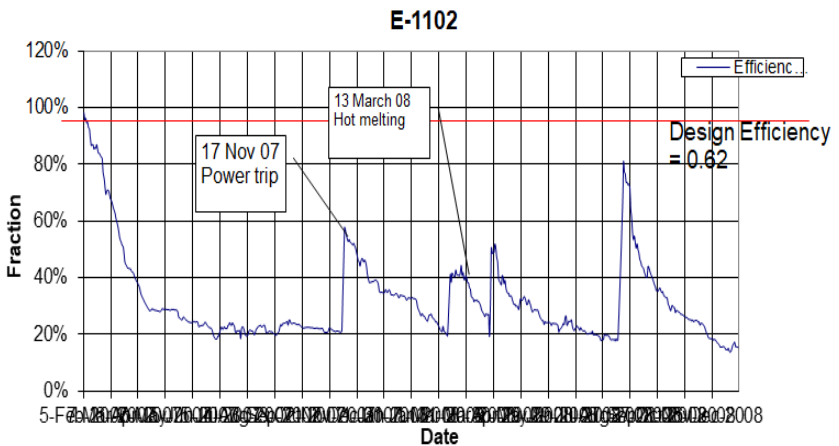
Pada gambar plan (lampiran c) terdapat 11 heat exchanger yang saling berintegrasi dan mempunyai fluida berbeda yang dapat menyebabkan fouling di dalam heat exchanger tersebut. Dalam kasus ini fenomena hot melting tidak terjadi pada semua heat exchanger tersebut, fenomena hot melting hanya didapati pada heat exchanger no.2,3,4 dan 8 hal ini disebabkan karena fluida pada heat exchanger yang berbeda dan temperature yang terjadi pada heat exchanger. Optimisasi menggunakan fenomena hot melting ini mempunyai keunggulan yaitu cleaning dilakukan tanpa penambahan peralatan khusus, tidak perlu melepas dan memasang kembali bundle heat exchanger serta tidak memerlukan waktu yang lama (1 hari).

Pada optimisasi menggunakan fenomena hot melting pada heat exchanger network ini tidak dapat mengembalikan efisiensi dari performansi heat exchanger ke keadaan 100% dikarenakan pada fenomena hot melting hanya dapat membersihkan fouling berupa wax (lilin) dan sisa yang tidak dapat dibersihkan berupa coke.

Pada optimisasi menggunakan fenomena hot melting pada heat exchanger network ini tidak dapat mengembalikan efisiensi dari performansi heat exchanger ke keadaan 100% dikarenakan pada fenomena hot melting hanya dapat membersihkan fouling

berupa wax (lilin) dan sisa yang tidak dapat dibersihkan berupa coke.

Pada heat exchanger no.2 didapati fluida berupa karosene atau parafin pada heat exchanger ini terjadi fouling dengan jenis solidification dan fouling pada heat exchanger berupa wax (lilin) oleh karena itu pada heat exchanger no.2 ditemukan fenomena hot melting pada tanggal 13 maret 2008. Dapat diamati pada gambar 4.14 efisiensi setelah optimisasi heat exchanger no.2 menggunakan hot melting dengan data yang diambil dari tanggal 5 februari 2007 sampai 23 januari 2009 didapat kan efisiensi sebesar 44% dengan design efficiency sebesar 62%.

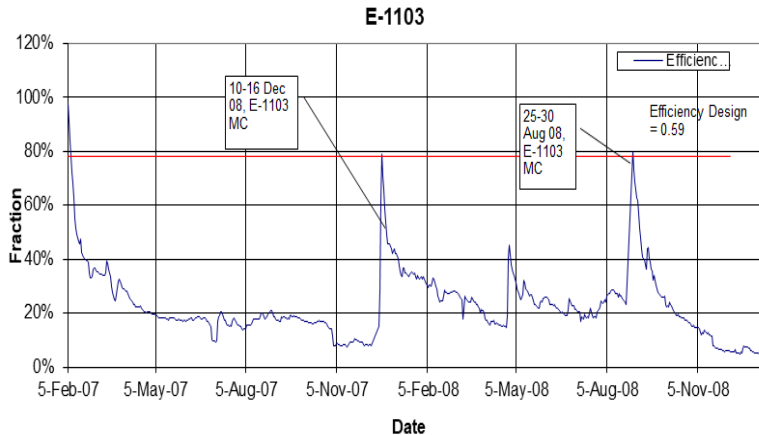


**Gambar 4. 4** hasil grafik efisiensi heat exchanger no.2

Pada heat exchanger no.3 didapati fluida berupa light kero pada heat exchanger ini terjadi fouling dengan jenis solidification dan fouling pada heat exchanger berupa wax (lilin) oleh karena itu pada heat exchanger no.2 ditemukan fenomena hot melting pada tanggal 13 desember 2008. Dapat diamati pada

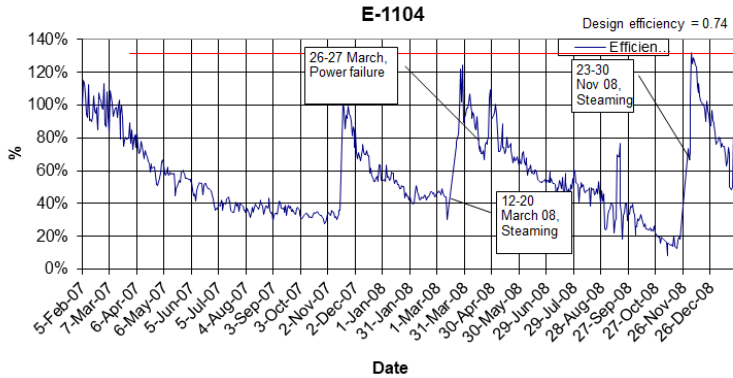


gambar 4.15 efisiensi setelah optimisasi heat exchanger no.3 menggunakan hot melting dengan data yang diambil dari tanggal 5 februari 2007 sampai 23 januari 2009 didapat kan efisiensi sebesar 29% dengan design efficiency sebesar 59%.



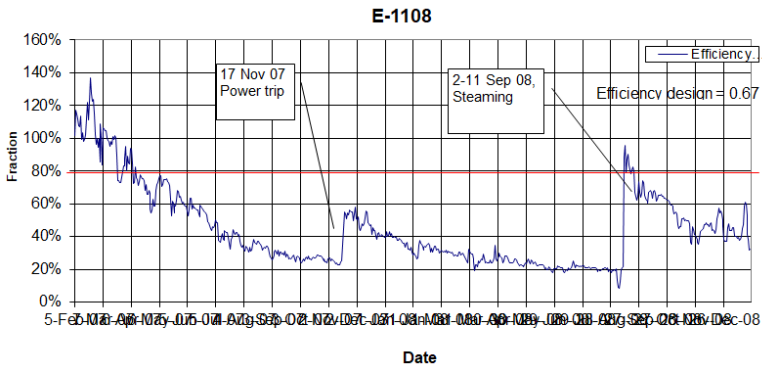
**Gambar 4. 5** hasil grafik efisiensi heat exchanger no.3

Pada heat exchanger no.4 didapati fluida berupa LSWR (Light sulfur wax residu), pada heat exchanger ini terjadi fouling dengan jenis solidification dan fouling pada heat exchanger berupa wax (lilin) oleh karena itu pada heat exchanger no.4 ditemukan fenomena hot melting. Dapat diamati pada gambar 4.16 efisiensi setelah optimisasi heat exchanger no.4 menggunakan hot melting dengan data yang diambil dari tanggal 5 februari 2007 sampai 23 januari 2009 didapat kan efisiensi sebesar 41.8% dengan design efficiency sebesar 74%.



**Gambar 4. 6** hasil grafik efisiensi heat exchanger no.4

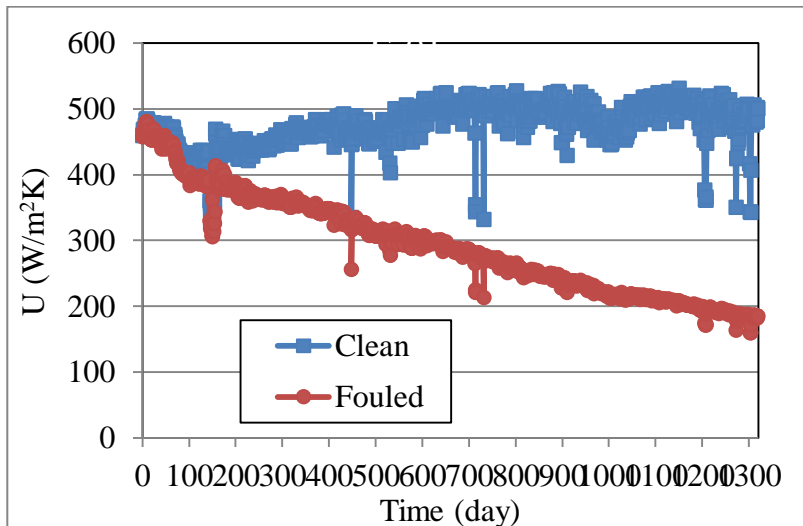
Pada heat exchanger no.8 didapati fluida berupa LSWR (Light sulfur wax residu), pada heat exchanger ini terjadi fouling dengan jenis solidification dan fouling pada heat exchanger berupa wax (lilin) oleh karena itu pada heat exchanger no.8 ditemukan fenomena hot melting. Dapat diamati pada gambar 4.17 efisiensi setelah optimisasi heat exchanger no.8 menggunakan hot melting dengan data yang diambil dari tanggal 5 februari 2007 sampai 23 januari 2009 didapat kan efisiensi sebesar 37,8% dengan design efficiency sebesar 67%.



**Gambar 4. 7** hasil grafik efisiensi heat exchanger no.8

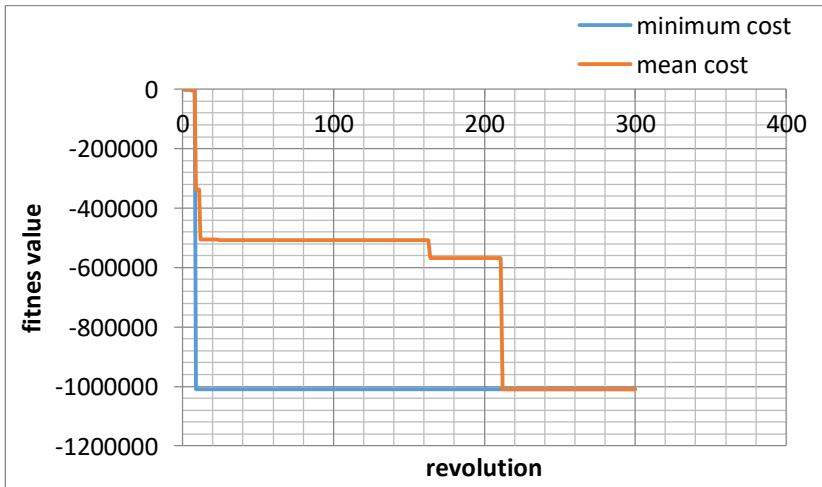
Fenomena hot melting yang terjadi pada ke tempat heat exchanger di ketahui terjadi pada keadaan power trip dapat membersihkan fouling yang berupa wax (lilin) sebesar 38,15% yang dapat dilakukan dengan waktu lebih singkat dibandingkan dengan mekanikal cleaning, mekanikal cleaning dapat memakan waktu 5 hari sedangkan dengan memanfaatkan fenomena hot melting menghabiskan waktu selama 1 hari.

Jumlah panas yang ditransfer oleh *heat exchanger* yang diberikan dalam kondisi bersih dan kotor dan selanjutnya hilangnya pemulihan panas karena *fouling* perlu diperkirakan. Dari status pengotoran, penurunan tekanan tambahan juga perlu dihitung. Dari kehilangan pemulihan panas yang dihitung dan penurunan tekanan tambahan, nilai fungsi biaya dari masalah optimisasi harus ditentukan untuk setiap skenario jadwal pembersihan.



Gambar 4. 8 Overall-Heat-Transfer Saat Pembersihan Dan Fouled Kondisi

Biaya rata-rata dan biaya minimum bertemu pada satu titik dan memiliki nilai yang sama. Kondisi yang optimal adalah sebuah empire yang memiliki imperialis terkuat. Hasil optimasi jadwal pembersihan HEN dengan menggunakan 40 koloni, 3 imperialis dan 300 dekade adalah imperialis terkuat yang ditunjukkan pada Gambar. 2. Imperialis terkuat memiliki nilai kesesuaian sekitar 0,947. Gambar. 2 menunjukkan nilai fitness minimum Imperialis terkuat memiliki 11 nilai posisi imperialis di mana imperialis memiliki 11 variabel acak memiliki kisaran 1 hingga 44. Imperialis terkuat memiliki 11 nilai posisi imperialis di mana imperialis memiliki 11 variabel acak memiliki kisaran 1 hingga 44. 11 nilai posisi imperialis adalah 11 jadwal pembersihan penukar panas. Tabel 4.10 menunjukkan jadwal pembersihan penukar panas dan jadwal pembersihan interval selama 44 bulan. Interval Cleaning schedule dihasilkan dari 44 bulan dibagi dengan jadwal pembersihan interval untuk setiap penukar panas di HEN.



Gambar 4. 9 Minimum cost and mean cost

**Tabel 4. 4** Cleaning Interval pada heat exchanger network

Heat exchanger number	Cleaning interval (months)
E-01	9
E-02	2
E-03	1
E-04	4
E-05	2
E-06	4
E-07	49
E-08	5
E-09	5
E-10	4
E-11	2

Setelah dilakukan optimisasi cleaning schedule didapatkan hasil optimisasi didapatkan nilai saving rekovery energy panas, pada heat exchanger network yang di dapat dapat dilihat pada table 4.5 berikut ini.

**Tabel 4. 5** Hasil Optimisasi Heat Exchanger Network Untuk 44 Bulan

variabel	Harga (USD)
Energy rekoveri	1.66E+07
Besar energy saat kondisi bersih	2.13E+07
Total saving energi	1.69E+07
Cleaning Cost menggunakan hot melting	0.00E+00
Biaya pemompaan saat belum cleaning	5.46E+05
Biaya pemompaan saat kondisi kotor	5.46E+05
total biaya pemopaan	3.29E+05
Biaya pemompaan saat bersih	2.17E+05

Obyektif function dari optimisasi cleaning cheduling adalah energy panas yang di rokeveri yang didapat dari nilai (energi rekoveri saat bersih dikurangi dengan energi rekoveri), nilai total energy rekoveri adalah (energy rekoveri dikurangi dengan biaya total pemompaan cleaning) kemudian nilai total biaya pemompaan didapatkan dari (biaya pemompaan saat belum cleaning dikurangi dengan nilai biaya pemompaan saat bersih), dan didapatkan nilai total saving energy sebesar \$1,69 juta.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari hasil tugas akhir mengenai optimisasi performa dari heat exchanger network menggunakan hot melting:

- Cleaning schedule menggunakan fenomena hot melting mempunyai banyak kelebihan yaitu cleaning dilakukan tanpa penambahan peralatan khusus, tidak perlu melepas dan memasang kembali bundle heat exchanger serta tidak memerlukan waktu yang lama, hot melting terdapat pada heat exchanger no.2, 3, 4, dan 8 fenomena hot melting terjadi pada saat heat exchanger mengalami keadaan power trip.
- Dari hasil optimisasi menggunakan fenomena hot melting didapatkan hasil bahwa setiap heat exchanger yang didapati mengalami fenomena hot melting mengalami kenaikan efisiensi untuk heat exchanger no.2 mengalami kenaikan sebesar 44% dengan desain efisiensi 62%, heat exchanger no.3 29% dengan desain efisiensi 59%, heat exchanger no.4 41,8% dengan desain efisiensi 74%, dan heat exchanger no.8 37,8% dengan efisiensi 67 % rata kenaikan efisiensi dari ke empat heat exchanger yang terdapat fenomena hot melting adalah sebesar 38,15 %.
- Dari hasil optimisasi cleaning scheduling menggunakan hot melting mendapatkan nilai saving energi sebesar \$1,69 juta.

## **5.2 Saran**

Hal yang dapat penulis sarankan dalam penelitian selanjutnya adalah:

- Menggabungkan cleaning schedule dengan hot melting dan menggunakan mekanikal cleaning
- Lebih mengoptimalkan lagi fenomena hot melting pada heat exchanger networks agar dapat membersihkan fouling hingga mencapai kondisi performa heat exchanger mendekati 100%



## DAFTAR PUSTAKA

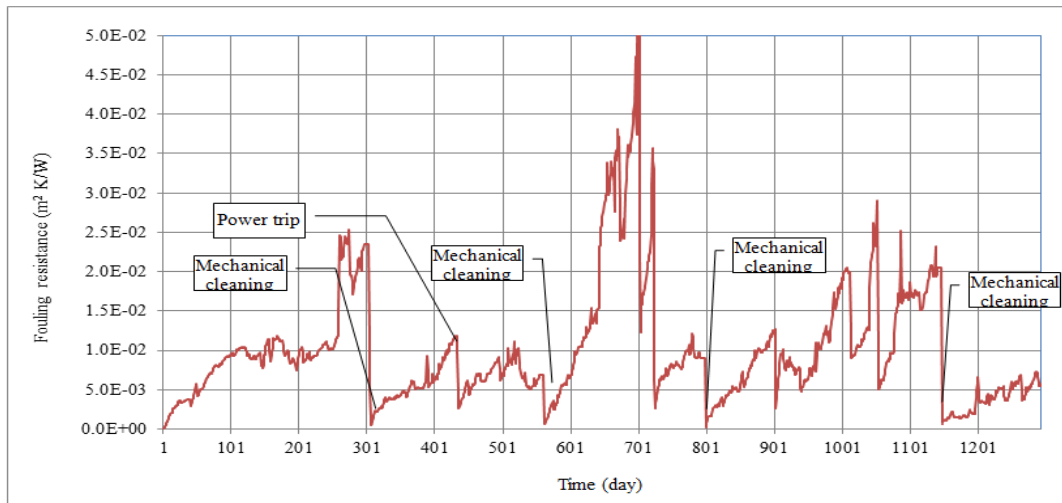
- [1] *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions.* paris, 2007.
- [2] Mostafa M. Awad, *Heat Transfer - Theoretical Analysis, Experimental Investigations*, Prof. Aziz Belmiloudi, Ed. Egypt : In Tech, 2011.
- [3] R.Smith, *chemical process design and integration.* New York: wiley, 2005.
- [4] J. Rehman Khan and S. M. Zubair, "Heat and Mass Transfer," in "A risk based performance evaluation of plate-and-frame heat exchangers"., 2003, ch. 39, pp. 327-336.
- [5] A. F. A. Hoadley, and T. E. S. Dyson. A. L. Querzoli, "Korean Journal of Chemical Engineering," in "Identification of heat integration retrofit opportunities for crude distillation and residue cracking units.", 2003, ch. 20, pp. 635-641.
- [6] James G. Speight. PhD. DSc, *Fouling in Refeneries.*: elsevier science, 2015.
- [7] Usman, Ur, "CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY," "Heat Transfer Optimization of Shell-and-Tube Heat Exchanger through CFD Studies, 2011.
- [8] M. Thirumarimurugan, "American Journal of Applied Sciences," *Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger Using Miscible System*, 2008.

- [9] D. Q. Kern, "Auckland: Mc Grow-Hill International Book Company," *Process Heat Transfe*, 1998.
- [10] Renanto\*and Ali Altway Sintha Soraya Santi, "International Journal of ChemTech Research," *Design of Heat Exchanger Networks in Heat Integration of CDU and HVU using a Pinch Design Method*, vol. Vol.10No.6, pp. pp63-77, 2017.
- [11] Hassan Al-Haj Ibrahim, "Fouling in Heat Exchangers," no. INTECH, pp. pp. 56-57, , 2012.
- [12] L. G. Papageorgiou, and S. Macchietto, M. C. Georgiadis, "Optimal cleaning policies in heat exchanger networks under rapid fouling," *IND ENG CHEM RES* , 2000.
- [13] A. V. Heins, W. R. Paterson, L. Spinelli, and D. I. Wilson E. M. Ishiyama, "Scheduling cleaning in a crude oil preheat train subject to fouling: Incorporating desalter control," in *Applied Thermal Engineering.*, 2010, ch. vol. 30, pp. pp. 1852-1862.
- [14] S. T. Kolaczkowski, and S. A. Hout B. D. Crittenden, "Modelling hydrocarbon fouling," in *Chemical Engineering Research and Design.*, 1987, ch. vol. 65, pp. pp. 171-179.
- [15] Epstein, "A model of the initial chemical reaction fouling rate for flow within a heated tube and its verification," in *heat transfer*. Brighton, 1994, pp. pp. 225 – 229.
- [16] S. Sanaye and B. Niroomand, "Simulation of heat exchanger network (HEN) and planning the optimum cleaning schedule," in *nergy Conversion and Management.*, 2007, ch. vol. 48, pp. pp. 1450-1461.

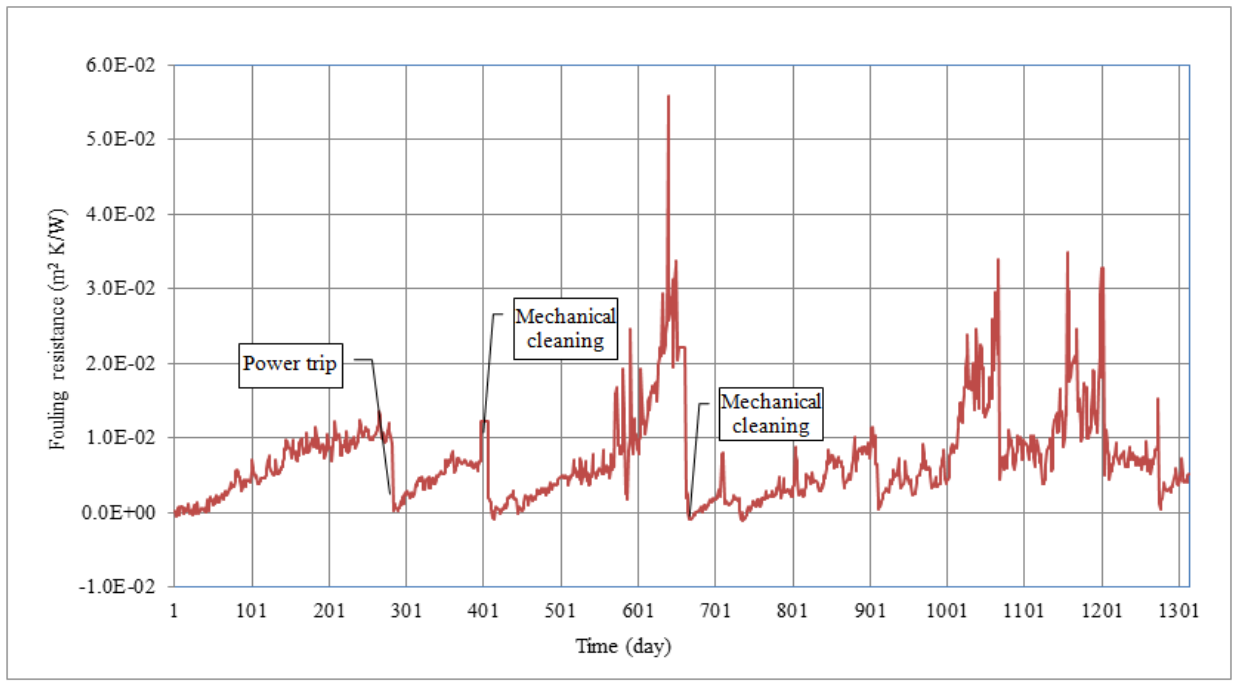
- [17] V. S. Vassiliadis, and D. I. Wilson, F. Smaili, "Mitigation of fouling in refinery heat exchanger networks by optimal management of cleaning," in *Energy & Fuels.*, 2001, ch. vol. 15, pp. pp. 1038-1056.
- [18] Ibrahim, Hassan Al-Haj, "Fouling in Heat Exchangers," *INTECH*, pp. 56-57, 2012.

## LAMPIRAN A

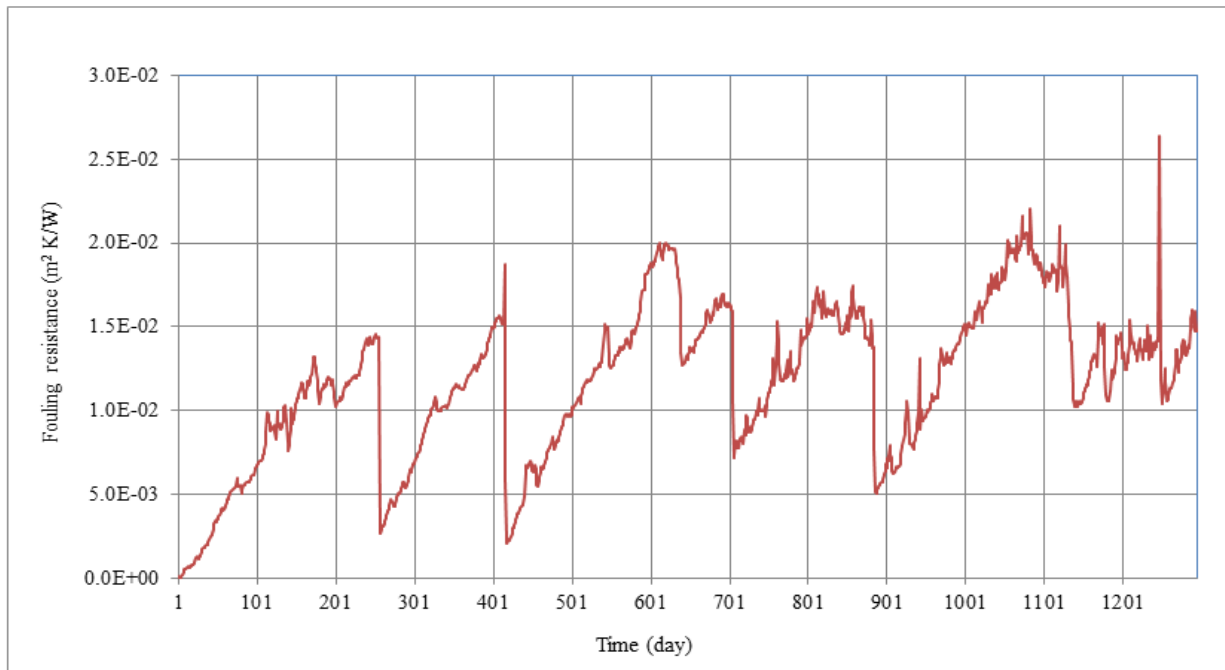
### grafik profil heat exchanger 03-011



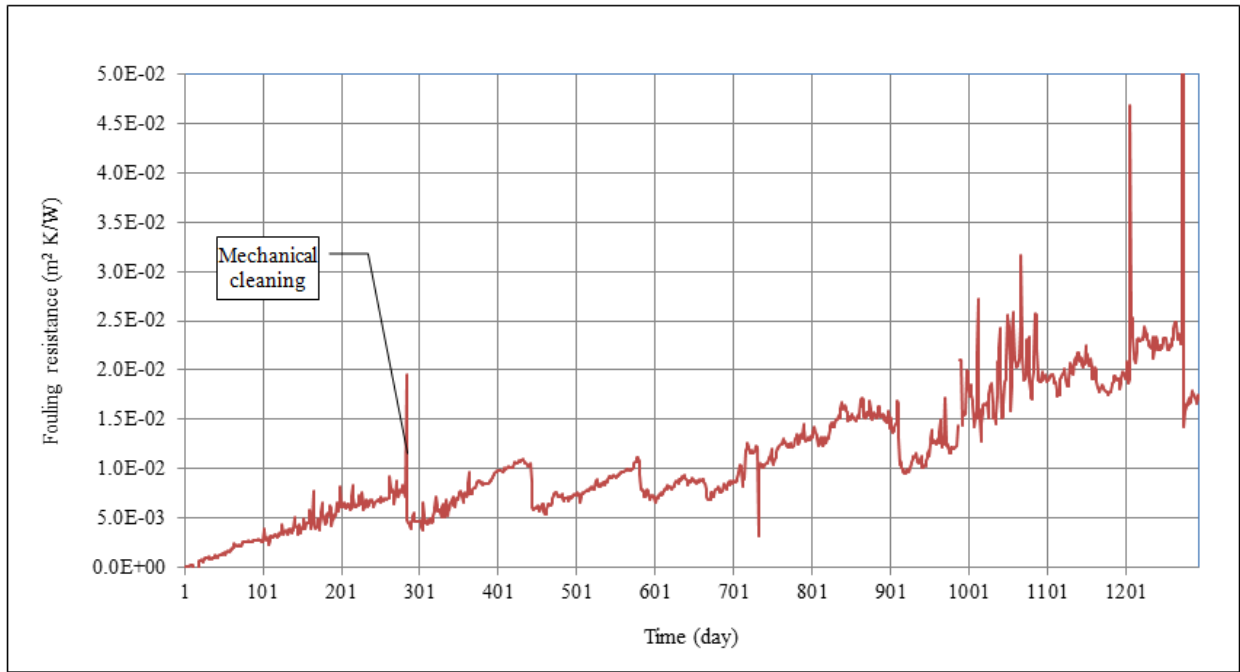
**Gambar 4.3** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 03



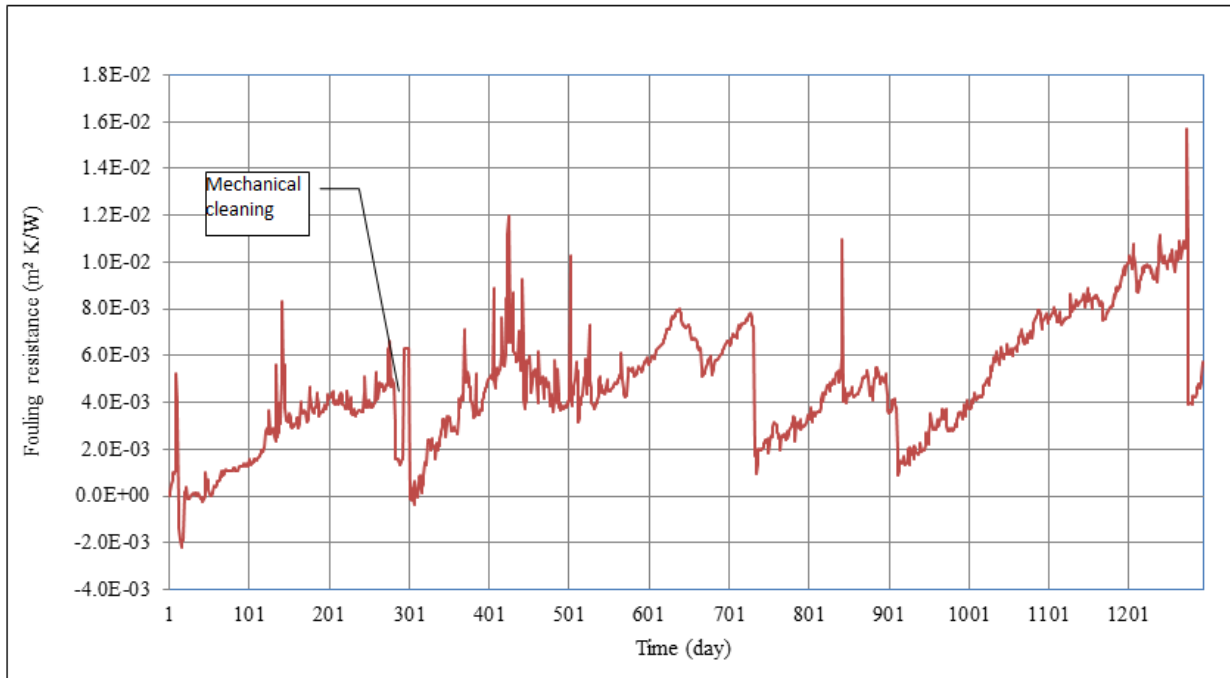
**Gambar 4.4** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 04



**Gambar 4.5** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 05

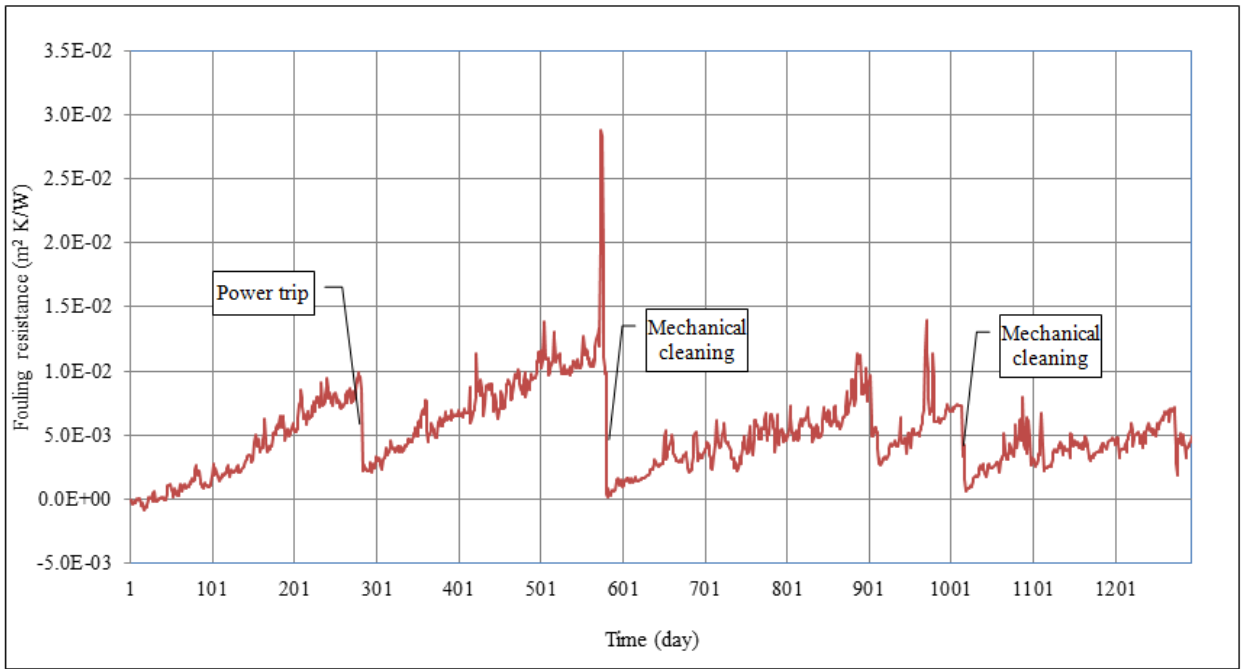


**Gambar 4.6** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 06

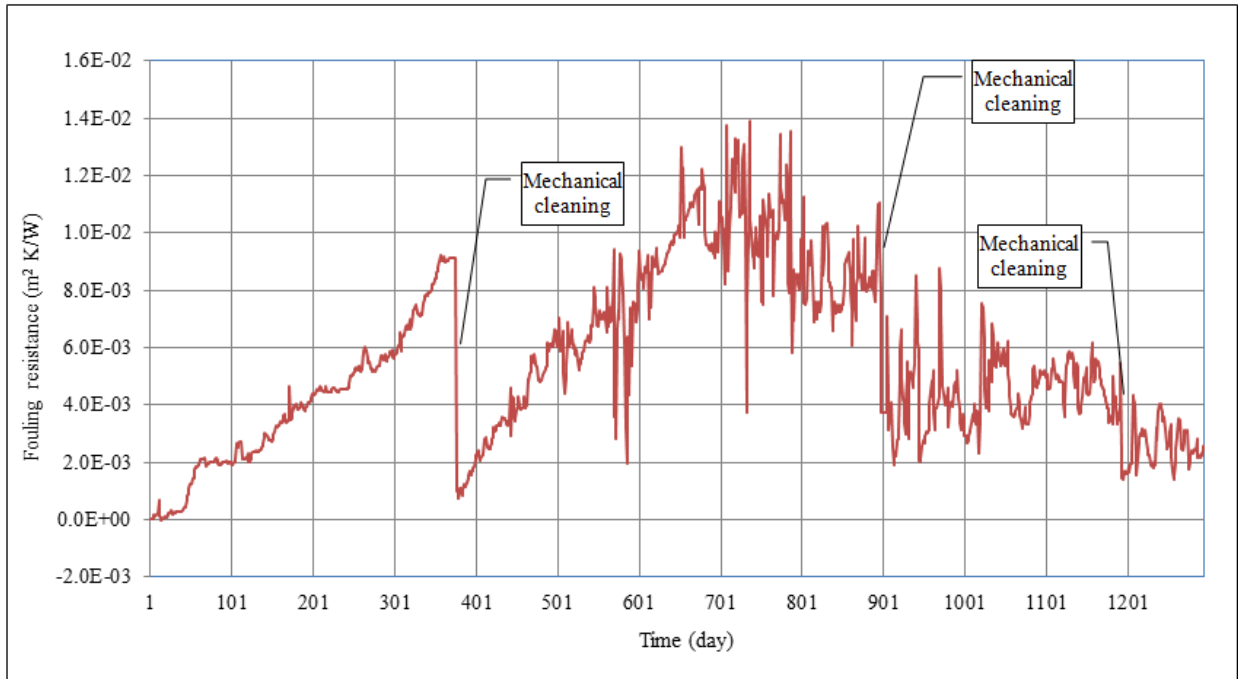


**Gambar 4.7** Profil Fouling Resistansi Heat Exchanger 07

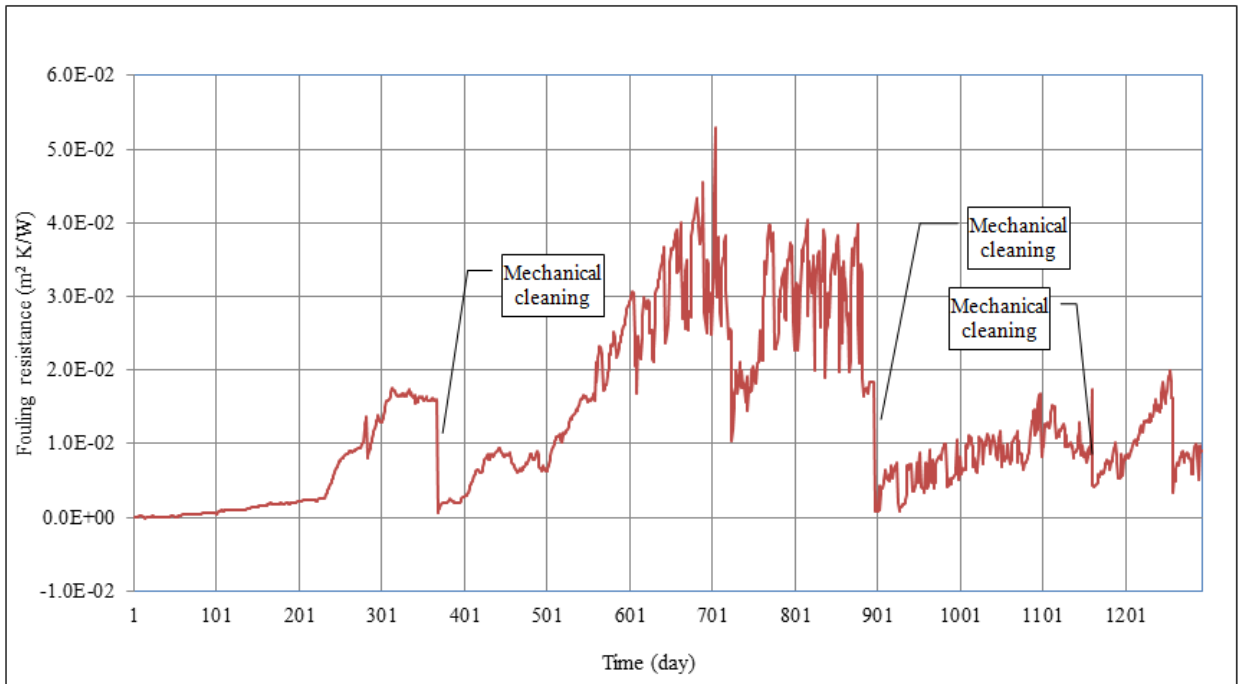




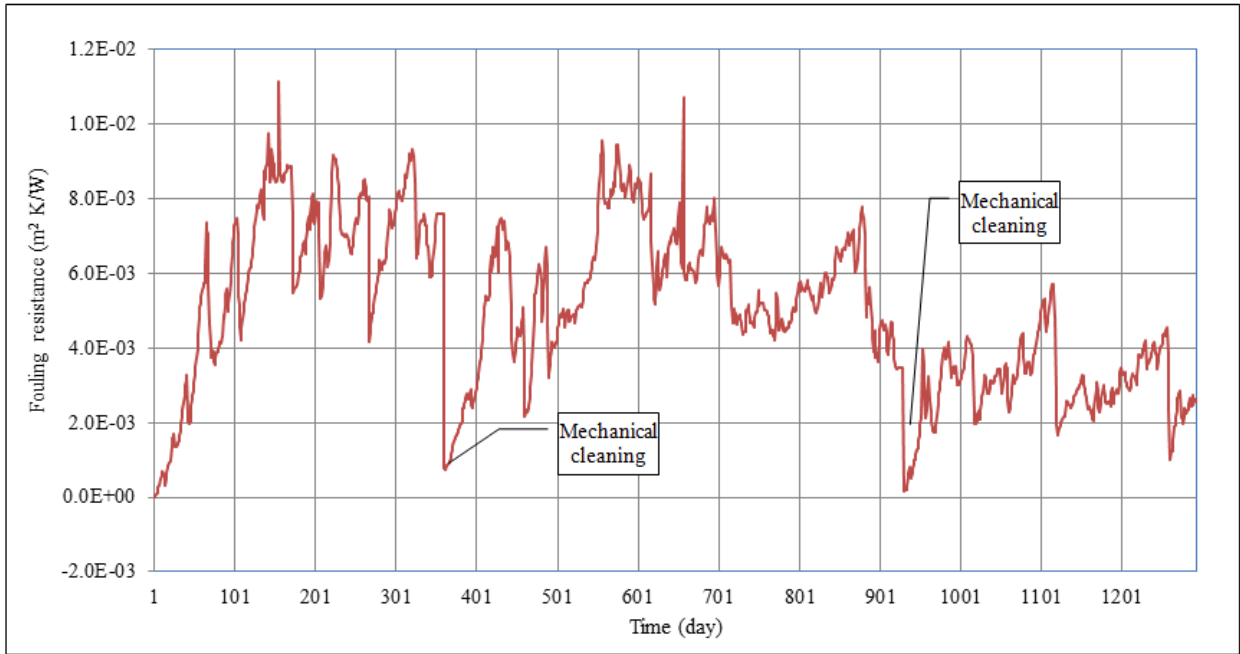
**Gambar 4.8** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 08



**Gambar 4.9** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 09



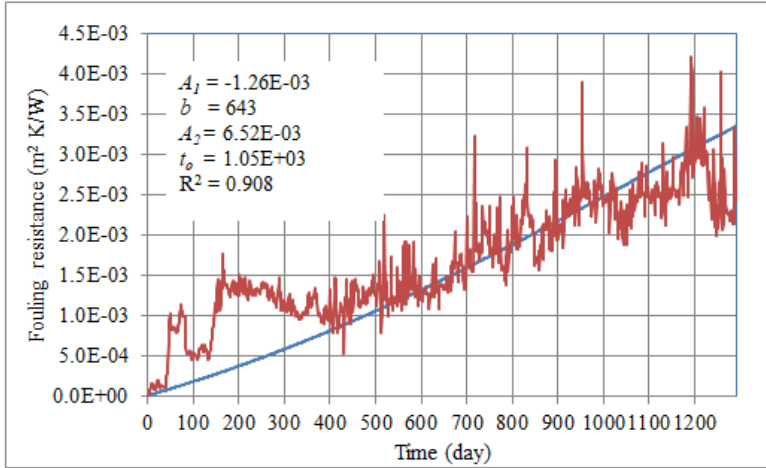
**Gambar 4.10** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 10



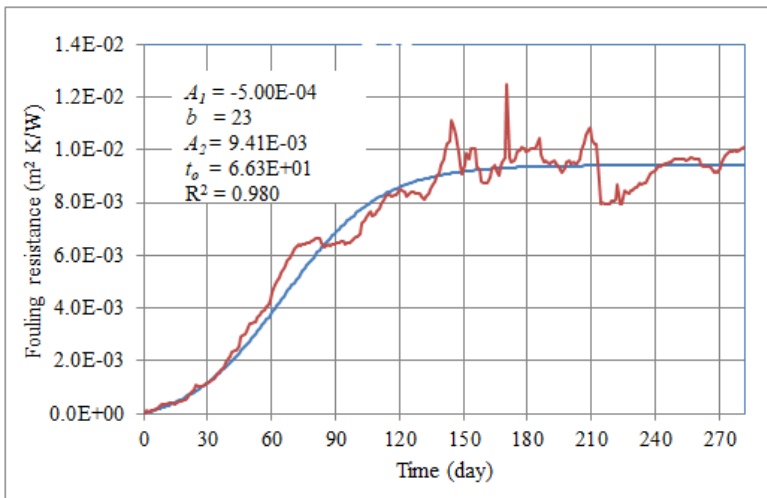
**Gambar 4.11** Profil Fouling Resistansi Heat Echanger 11

## LAMPIRAN B

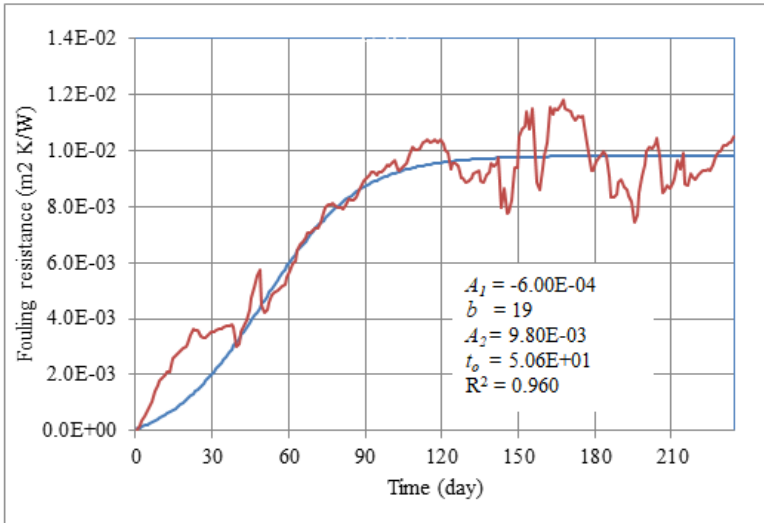
### Pemodelan *Resistance Fouling* Heat Exchanger



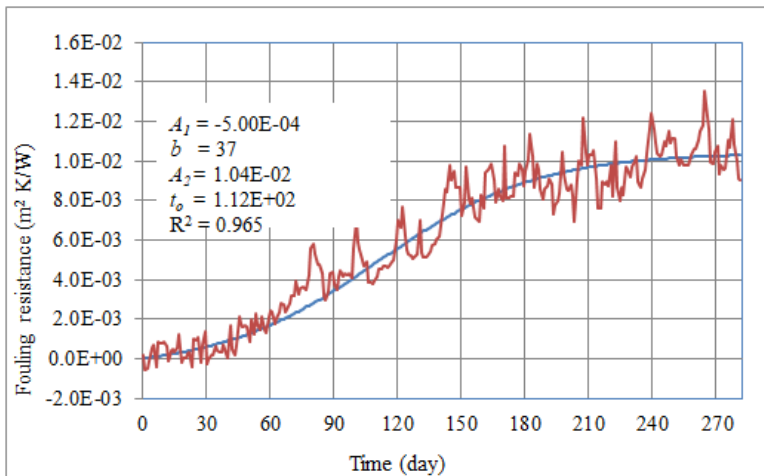
**Gambar b.1** Pemodelan *Resistance Fouling* Heat Exchanger 01



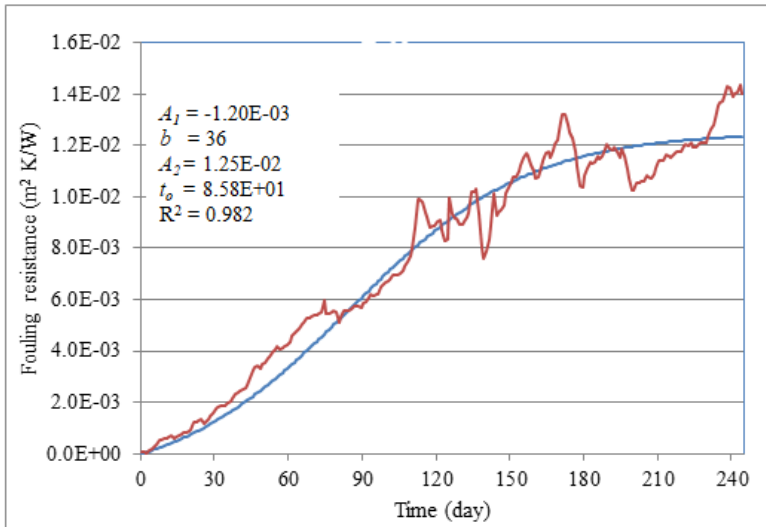
**Gambar b.2** Pemodelan *Resistance Fouling* Heat Exchanger 02



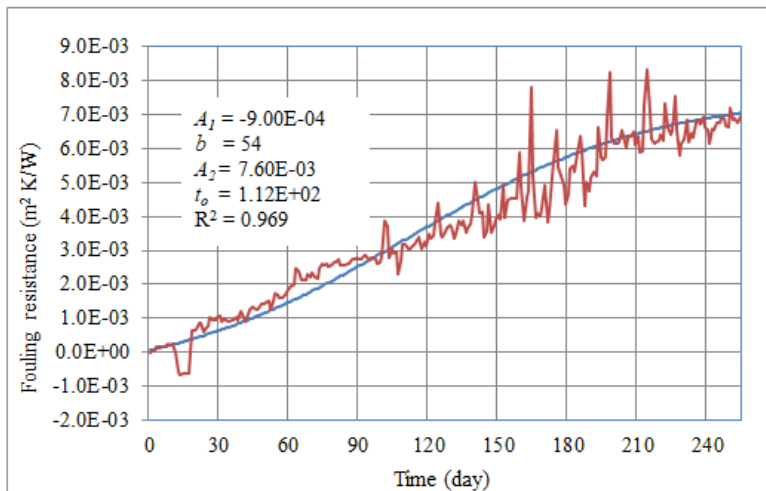
**Gambar b.3** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 03*



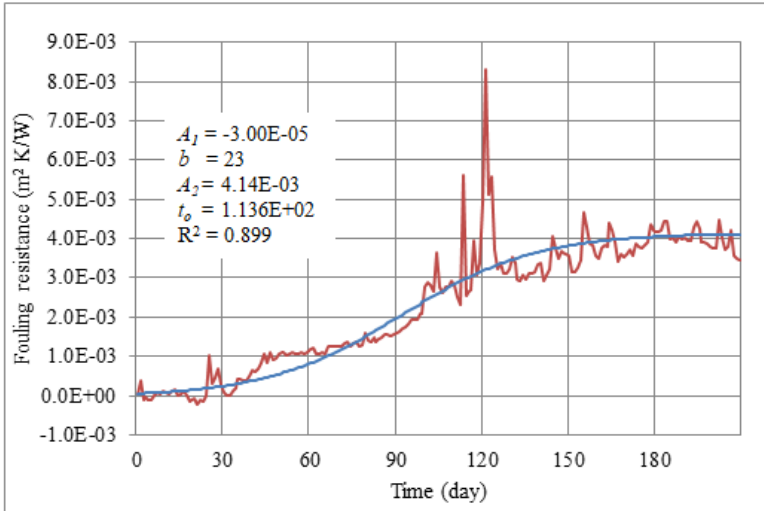
**Gambar b.4** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 04*



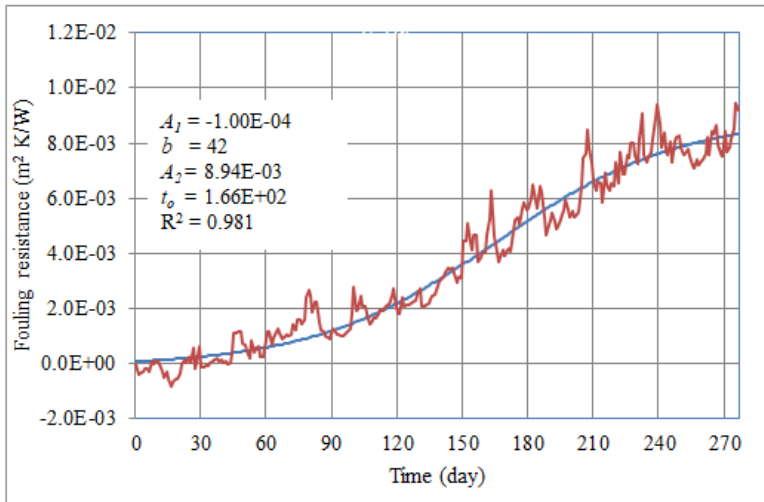
**Gambar b.5** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 05*



**Gambar b.6** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 06*

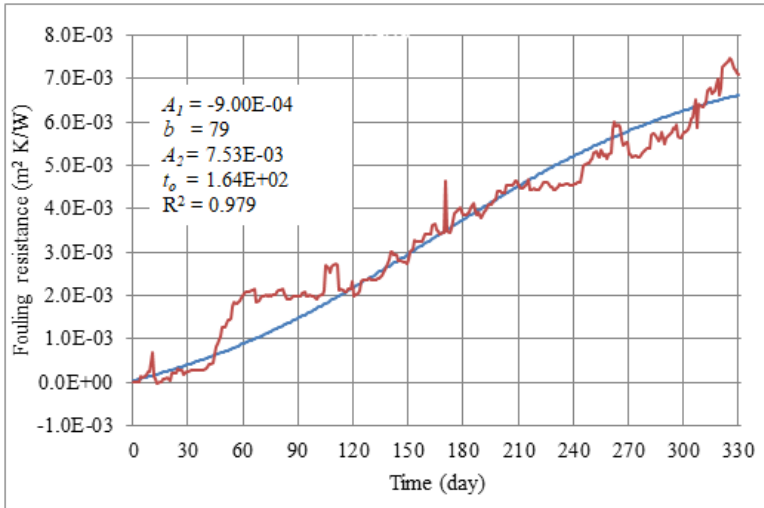


**Gambar b.7** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 07*

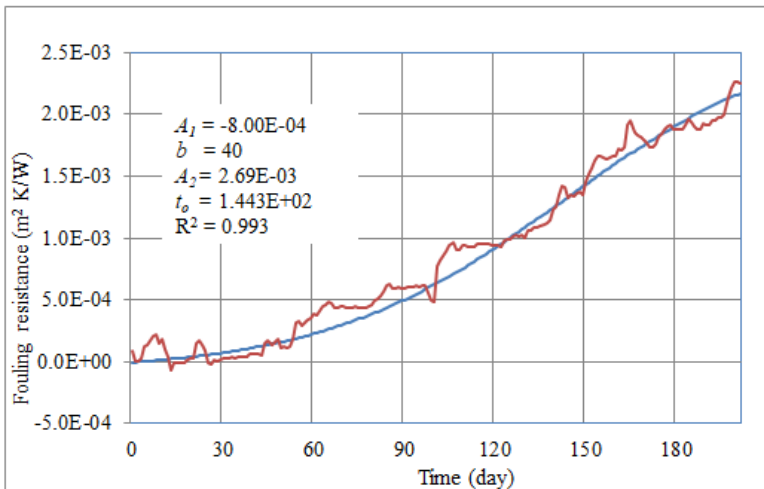


**Gambar b.8** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 08*

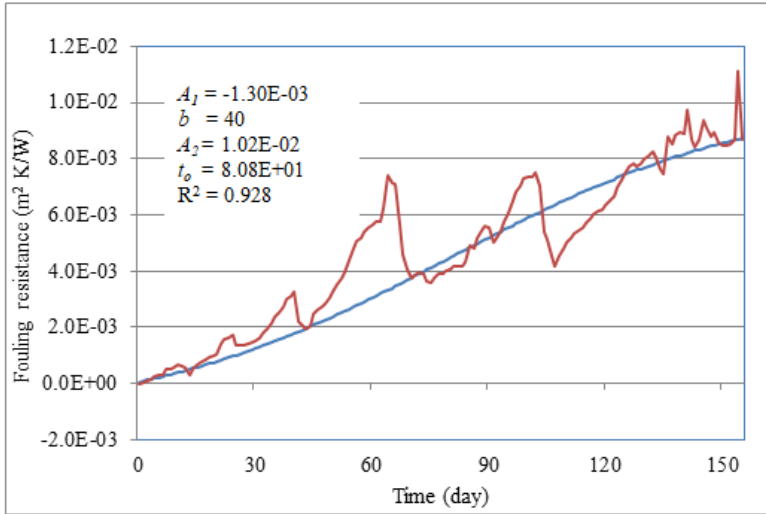




**Gambar b.9** Pemodelan *Resistance Fouling Heat Exchanger 09*



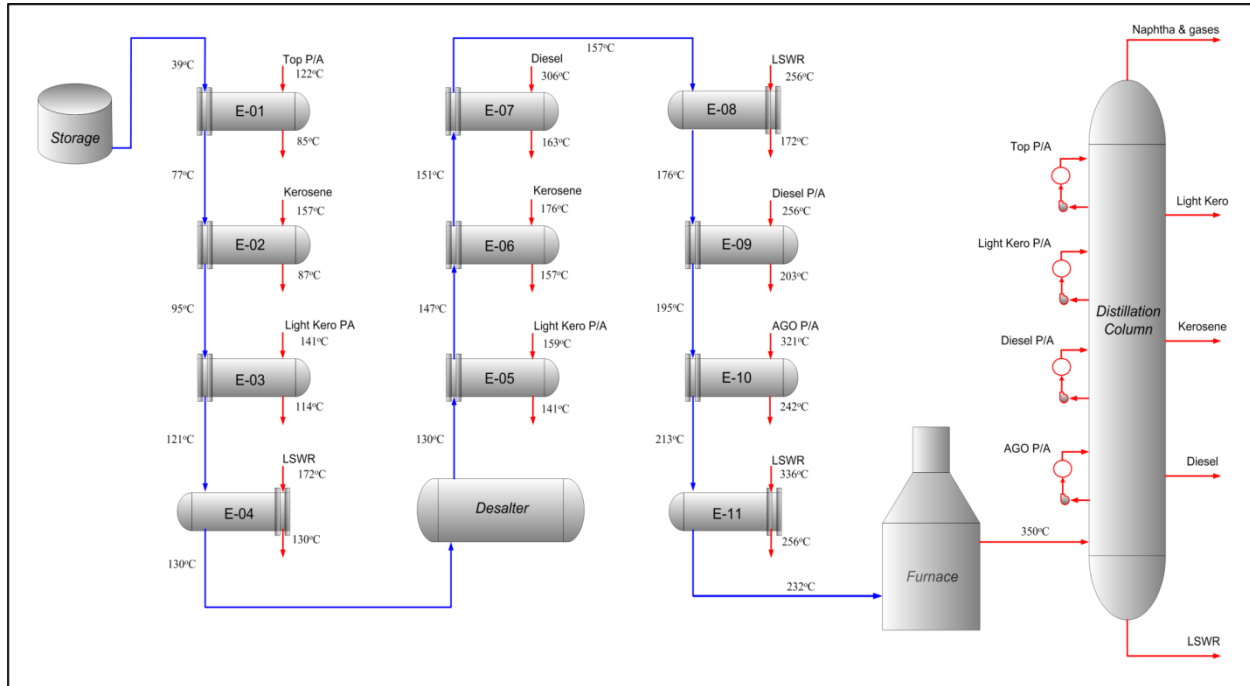
**Gambar b.10** Pemodelan *Resistance Fouling Heat Exchanger 10*



**Gambar b.11** *Pemodelan Resistance Fouling Heat Exchanger 11*

## LAMPIRAN C

### Gambar Plan 11 Heat Exchanger





## BIODATA PENULIS



Nama Lengkap penulis diams Gerry ainul wafa' yang dilahirkan di Kota Mojokerto pada tanggal 12 juni 1995 dari Ayah bernama junadi dan Ibu bernama Nurul Aini. Saat ini penulis tinggal di Jl.Jayawardhana gatul gang 3 no 10 kecamatan Puri desa Banjaragung kota Mojokerto Pada tahun 2008, penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SDN Kranggan 3 Mojokerto. Kemudian pada tahun 2011 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 1 Mojokerto. Tahun 2014 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 puri Mojokerto dan melanjutkan studi di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi ITS lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 melanjutkan ke Departemen Teknik Fisika FTI-ITS, penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Cleaning Scheduling Optimisasi Pada Heat Exchanger Network dengan Menggunakan Hot Melting”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir maka dapat menghubungi penulis melalui email [gerryainul@gmail.com](mailto:gerryainul@gmail.com)



