

**ANALISIS PERFORMA *CYCLE GAS COOLER E-34302* KONDISI *EXISTING*
DAN *NEW* PADA TRAIN 3 POLYPROPYLENE PLANT
PT CHANDRA ASRI PETROCHEMICAL**



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2021

LAPORAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERFORMA *CYCLE GAS COOLER E-34302* KONDISI *EXISTING*
DAN *NEW* PADA TRAIN 3 POLYPROPYLENE PLANT
PT CHANDRA ASRI PETROCHEMICAL**



Disusun oleh

Nama : Ni'matur Rochmah
NIM : 41318120059
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
JANUARI 2021

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERFORMA *CYCLE GAS COOLER E-34302* KONDISI *EXISTING*
DAN *NEW* PADA TRAIN 3 POLYPROPYLENE PLANT
PT CHANDRA ASRI PETROCHEMICAL



Disusun oleh

Nama : Ni'matur Rochmah
NIM : 41318120059
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing
Pada tanggal Februari, 2021

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Koordinator Tugas Akhir



Ir. Yuriadi Kusuma, M.Sc.

NIP 192670082



Alief Avicenna Luthfie S.T., M.Eng

NIP 216910097

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Ni'matur Rochmah
NIM : 41318120059
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Analisis Performa *Cycle Gas Cooler E-34302* Kondisi *Existing* dan *New* pada Train 3 Polypropylene Plant PT Chandra Asri Petrochemical

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari Penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, Januari 2021



Ni'matur Rochmah

PENGHARGAAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan atas berkat dan rahmat-Nya yang telah memberikan kesempatan, pengetahuan, pengalaman, kekuatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir ini yang berjudul **“ANALISIS PERFORMA CYCLE GAS COOLER E-34302 KONDISI EXISTING DAN NEW PADA TRAIN 3 POLYPROPYLENE PLANT PT CHANDRA ASRI PETROCHEMICAL”** sebagai persyaratan dalam mencapai gelar Sarjana Strata satu (S1) Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana.

Dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah mendapat banyak bimbingan dan arahan dari berbagai pihak, baik berupa materil, spiritual dan informasi. Oleh karena itu, sudah selayaknya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Nanang Ruhyat, M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin
2. Bapak Alief Avicenna Luthfie, ST, M.Eng. selaku Koordinator Tugas Akhir
3. Bapak Ir. Yuriadi Kusuma, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Bapak/Ibu dosen jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu.
5. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang terus memberi semangat, dukungan moril, dan doa sehingga laporan ini bisa diselesaikan.
6. Rekan kerja yang telah memberikan *support* dalam pengetahuan dan data.
7. Teman-teman jurusan teknik mesin.
8. Seluruh civitas Universitas Mercubuana khususnya Jurusan Teknik Mesin.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Akhir kata Penulis berharap semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Jakarta, Januari 2021

Penulis

ABSTRAK

Polypropylene plant train 3 PT Chandra Astri Petrochemical adalah *plant* yang memproduksi *impact copolymer product* (ICP) pada reaktor 3B. Proses produksi berawal dari reaksi kimia di dalam reaktor. *Cycle gas cooler* E-343012 adalah *equipment* yang berperan penting dalam keberhasilan proses polimerisasi pada reaktor 3B (C-334301). Polimerisasi berlangsung *close loop* menghasilkan gas sisa yang memerlukan pendinginan sebelum masuk kembali kedalam reaktor. Proses perpindahan panas dilakukan di dalam *cycle gas cooler*, *heat exchanger* berkonstruksi *shell and tube* satu laluan. *Cycle gas* disirkulasikan dalam *tube* sedangkan *cycle water* disirkulasikan *counter current* dalam *shell*. Set point yang dituju adalah T_{ho} yang memenuhi kriteria rekomendasi desain, yaitu maksimal 55 °C. Pada tahun 2019 dilakukan instalasi *new cycle gas cooler* E-34302 dengan modifikasi dan improvisasi desain namun belum dilakukan analisis performa *cooler* baru dibandingkan *existing*. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai U , R_f , dan *effectiveness*. Dari analisis didapatkan *effectiveness cooler* baru lebih baik dari *cooler existing*, nilai tertinggi 87% dan terendah 65% dalam keadaan normal *running*. Sedangkan *cooler existing* nilai tertinggi 76% dan terendah 43%. Hubungan antara *flow rate* dengan *effectiveness* berbanding terbalik, semakin kecil *flow rate cycle gas* yang disirkulasikan kedalam *cooler* maka *effectiveness* semakin meningkat.

Kata kunci: perpindahan panas, *cooler*, koefisien perpindahan panas, *fouling factor*, *effectiveness*.



*PERFORMANCE ANALYSIS OF EXISTING AND NEW CYCLE GAS COOLER
E-34302 AT 3RD TRAIN POLYPROPYLENE PLANT PT CHANDRA ASRI
PETROCHEMICAL*

ABSTRACT

Polypropylene plant 3rd train of PT Chandra Asri Petrochemical is a plant that produces impact copolymer products from reactor 3B. The production process begins with a chemical reaction in the reactor 3B (C-34301). The cycle gas cooler E-34302 is an equipment with critical role in the polymerization process. Polymerization is close loop cycle and produce a cycle gas that need to be cooled before re-entering reaktor. The process of heat transfer is carried out by cycle gas cooler, a single pass shell and tube heat exchanger. Cycle gas is circulated in the tube side, then cycle water is circulated by counter current flow in the shell side. The set point is meet the design recommendation of T_{ho} 55 °C. In 2019, a new cycle gas cooler E-34302 was installed with design modifications and improvement but there is no performances comparison analysis of the two equipment. The analysis was performed by calculating U value, fouling factor, and effectiveness. The analysis found that effectiveness of new cooler is higher than the existing. The highest value of new cooler is 87% and the lowest is 65%. The highest effectiveness of existing cooler is 76% and the lowest is 43%. The correlation between flow rate and effectiveness is that fewer of cycle gas circulated into cooler than we had the higher effectiveness from heat transfer process.

Keywords: *heat transfer, cooler, heat transfer coefficient, fouling factor, effectiveness.*

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 PERPINDAHAN PANAS (<i>HEAT TRANSFER</i>)	6
2.2 <i>HEAT EXCHANGER</i>	7
2.2.1 <i>Heat Exchanger</i> Berdasarkan Konfigurasi Aliran	8
2.2.2 <i>Heat Exchanger</i> Berdasarkan Konstruksinya	9
2.2.3 <i>Heat Exchanger</i> Berdasarkan <i>Flow Arrangement</i>	11
2.2.4 <i>Heat Exchanger</i> berdasarkan Fungsinya dalam Perindustrian.	11
2.3 <i>SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER</i>	12
2.3.1 Komponen <i>Heat exchanger Shell and tube</i>	14
2.3.2 Standarisasi pada <i>Heat exchanger Shell and tube</i>	16
2.3.3 Tipe Susunan dan Jumlah <i>Tube</i> pada <i>Shell</i>	21
2.3.4 Faktor Pengotor (<i>Fouling Factor</i>)	22
2.4 PROSES PRODUKSI PADA <i>POLYPROPYLENE PLANT</i>	23
2.4.1 Tangki Penyimpanan Bahan Baku	23
2.4.2 Pemurnian Bahan Baku (<i>Raw material Purification</i>)	24

2.4.3	Reaksi Polimerisasi <i>Propylene</i> menjadi <i>Polypropylene</i>	24
2.4.5	Sistem Pengeluaran Produk (<i>Product Discharge System</i>)	25
2.4.6	Sistem Pemurnian Produk (<i>Resin Degassing System</i>)	26
2.4.7	<i>Vent Recovery System</i>	27
2.4.8	Sistem Pembuatan Pelet (<i>Pelletizing System</i>)	27
2.5	UNIT PENDINGINAN GAS REAKTOR (<i>CYCLE GAS SYSTEM</i>)	28
2.6	<i>CYCLE GAS COOLER E-34302</i>	29
2.6.1	Modifikasi Desain <i>Cooler</i>	30
2.6.2	<i>Tube Side</i>	31
2.6.3	<i>Shell Side</i>	33
2.7	PARAMETER PERHITUNGAN PERFORMA <i>HEAT EXCHANGER</i>	34
2.7.1	Perhitungan Laju Perpindahan Panas	34
2.7.2	Perhitungan Selisih Suhu Rata-Rata Logaritmik ($\Delta LMTD$)	36
2.7.3	Faktor Koreksi LMTD	38
2.7.4	Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan	41
2.7.5	Perhitungan Luas Bidang Perpindahan Panas	43
2.7.6	Perhitungan Faktor Pengotor (<i>Fouling factor</i>)	43
2.7.7	Perhitungan <i>Effectiveness Heat Exchanger</i>	44
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1	DIAGRAM ALIR	46
3.1.1	Diagram Alir Tugas Akhir	46
3.1.2	Diagram Alir Pengambilan Data	51
3.1.3	Diagram Alir Pengolahan Data	52
3.2	ALAT DAN BAHAN	54
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1	KARAKTERISITIK FLUIDA YANG DIGUNAKAN	55
4.1.1	Fluida Panas (<i>Cycle gas</i>)	55
4.1.2	Fluida Dingin (<i>Cycle water</i>)	56
4.2	HASIL PERHITUNGAN	56
4.2.1	Hasil Perhitungan <i>Cooler Existing</i>	56
4.2.2	Hasil Perhitungan <i>Cooler Baru</i>	58
4.3	PEMBAHASAN	60
4.3.1	Analisis <i>Flow Rate</i> dan Temperatur Fluida Servis	60

4.3.2 Pengaruh Flow Rate terhadap Fouling Factor dan Effectiveness	62
4.3.3 Perbandingan Performa <i>Cooler</i> Baru dan <i>Existing</i>	65
BAB V PENUTUP	70
5.1 KESIMPULAN	70
5.2 SARAN	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	74
Lampiran 1. GA Drawing <i>Cooler</i> Existing	74
Lampiran 2. GA Drawing <i>Cooler</i> Baru	75
Lampiran 3. Contoh Properties dari website Ethermo	76
Lampiran 4. Perhitungan <i>Equipment</i> Baru	77
Lampiran 5. Perhitungan <i>Equipment</i> Existing	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perpindahan Panas Konduksi, Konveksi, dan Radiasi	7
Gambar 2.2 <i>Concentric Tube: a) Parallel Flow b) Counter flow</i>	8
Gambar 2.3 <i>Cross flow a) Both fluid unmixed. b) One Fluid Mixed and the other Unmixed</i>	9
Gambar 2.4 <i>Heat Exchanger Tipe With One Shell Pass and One Tube Pass</i>	9
Gambar 2.5 <i>Plate Heat Exchanger</i>	10
Gambar 2.6 <i>Compact Heat Exchanger</i>	11
Gambar 2.8 Konstruksi pada HE Tipe <i>Shell and tube</i>	14
Gambar 2.9 <i>Nomenclature Shell and Tube Heat Exchanger</i>	17
Gambar 2.10 <i>Heat Exchanger Tipe Fixed Tube</i>	18
Gambar 2.11 <i>Heat Exchanger U Tube</i>	19
Gambar 2.12 <i>Heat Exchanger Tipe Floating Head</i>	20
Gambar 2.13 Tipe dari <i>Tube Pitch</i>	21
Gambar 2.15 Proses Reaksi Polimerisasi	24
Gambar 2.16 <i>Flow Diagram Product Discharge System</i>	26
Gambar 2.17 <i>Flow Diagram pada Cycle Gas System</i>	28
Gambar 2.18 <i>Equipment Cycle Gas Cooler E-34302</i>	29
Gambar 2.19 <i>Cycle Gas Cooler E-34302 Kondisi Terinstal</i>	30
Gambar 2.20 <i>Existing Cycle Gas Cooler Datasheet</i>	30
Gambar 2.21 <i>New Cycle Cooler Datasheet</i>	31
Gambar 2.22. a) <i>Inlet Tube</i> b) <i>Outlet Tube</i>	31
Gambar 2.23 <i>Tube Bundle Existing Cooler & New Cooler</i>	32
Gambar 2.24 Pola <i>Tringular Pitch Tube</i>	32
Gambar 2.25 Penampang Penyusunan <i>Tube Cooler</i> Baru.	33
Gambar 2.26 Energy balance pada <i>heat exchanger</i>	35
Gambar 2.27 Distribusi Temperatur pada Aliran Paralel	36
Gambar 2.28 Distribusi Temperatur pada HE Tipe <i>Couterflow</i>	37
Gambar 2.29 Distribusi Temperatur Kondisi:	38
Gambar 2.30 <i>Correction Factor</i> HE 1 Lalan <i>Shell</i> dan Kelipatan 2 Lalan <i>Tube</i>	39
Gambar 2.31 Faktor Koreksi HE 2 Lalan <i>Shell</i> dan Kelipatan 2 Lalan <i>Tube</i>	40
Gambar 2.32 <i>Correction factor</i> HE <i>Cross Flow</i> dan <i>Both Fluid Unmixed</i>	40

Gambar 2.33 Faktor Koreksi HE <i>Cross Flow</i> dan Kedua Fluida tidak Bercampur.	41
Gambar 2.34 Nilai <i>Effectiveness Heat exchanger Counter flow</i>	45
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	46
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Pengambilan Data	51
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan dan Analisis Data.	53
Gambar 4.1 Perbandingan <i>Flow Rate</i> Fluida Servis	61
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Temperatur Fluida Servis	61
Gambar 4.3 Grafik Mass Flow Rate terhadap <i>Fouling Factor Existing Cooler</i>	62
Gambar 4.4 Grafik Mass Flow Rate terhadap <i>Fouling Factor Cooler Baru</i>	63
Gambar 4.6 Grafik CG <i>Flowrate</i> terhadap <i>Effectiveness Cooler Baru</i> .	64
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas	65
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Laju Perpindahan Panas Rerata	65
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai U	66
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Nilai U Rerata	66
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan <i>Fouling factor</i>	67
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan <i>Fouling Factor Rerata</i>	67
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan <i>Effectiveness</i>	68
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan <i>Effectiveness Rerata</i> .	68
Gambar 6.1 Komposisi Gas pada <i>Cycle Gas</i>	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Desain <i>Cooler Existing</i> dan Baru	2
Tabel 2.1 <i>Nomenclature</i> Bagian <i>Heat Exchanger</i> Berdasar <i>TEMA 2017</i>	20
Tabel 3.1 Data Operasi <i>Cycle Gas</i> Bulan Januari 2019	47
Tabel 3.2 Data Operasi <i>Cycle Water</i> Januari 2019	48
Tabel 3.3 Desain <i>Cooler E-34302</i> Baru	48
Tabel 3.4 Desain <i>Cooler 34302 Existing</i>	49
Tabel 3.5 Properties Data <i>Cycle Gas</i> dan <i>Cycle Water</i>	52
Tabel 3.6 [Lanjutan tabel 3.5] Komposisi Penyusun <i>Cycle Gas</i>	52
Tabel 4.1 Data Operasi <i>Cycle gas</i> .	55
Tabel 4.2 Data Operasi <i>Cycle Water</i>	56
Tabel 4.3 Perhitungan Performa Pada <i>Cooler Existing</i>	56
Tabel 4.4 Perhitungan Performa Pada <i>Cooler Baru</i>	58
Tabel 4.5 Data Operasi <i>Cooler Baru</i> di Titik Tertentu	69
Tabel 6.1 Data Operasi <i>Tube</i>	77
Tabel 6.2 Komposisi <i>Cycle gas</i> pada saat tanggal 24 Januari 2020	78
Tabel 6.3 Nilai Properties Gas pada saat tanggal 24 Januari 2020	78
Tabel 6.4 Temperatur Masuk dan Keluar Fluida pada <i>Equipment Baru</i>	81
Tabel 6.5 Properties untuk perhitungan koefisien perpindahan panas (U)	82
Tabel 6.6 Properties untuk perhitungan koefisien konveksi (h_i dan h_o)	84
Tabel 6.7 Data Operasi <i>Tube</i>	89
Tabel 6.8 Komposisi Campuran Gas pada saat tanggal 14 April 2019	90
Tabel 6.9 Properties tiap Gas pada saat tanggal 14 April 2019	90
Tabel 6.10 Temperatur Masuk dan Keluar Fluida pada <i>Equipment Existing</i>	93
Tabel 6.11 Properties untuk perhitungan koefisien perpindahan panas (U)	94
Tabel 6.12 Properties untuk perhitungan koefisien konveksi (h_i dan h_o)	96

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
q	Laju perpindahan panas	[kJ/s]
\dot{m}	Laju aliran massa fluida	[kg/s]
C_p	Panas spesifik	[J/kg.K]
ΔT	Selisih temperatur	[°C] atau [K]
q_{in}	Panas yang masuk sistem	[kJ/s]
q_{out}	Panas yang keluar sistem	[kJ/s]
T_{fc}	Temperatur rata-rata fluida dingin	[K]
$T_{c.in}$	Temperatur masuk fluida dingin	[K]
$T_{c.out}$	Temperatur keluar fluida dingin	[K]
T_{fh}	Temperatur rata-rata fluida panas	[K]
$T_{h.in}$	Temperatur masuk fluida panas	[K]
$T_{h.out}$	Temperatur keluar fluida panas	[K]
\dot{m}_h	Laju aliran massa fluida panas	[kg/s]
$C_{p.h}$	Panas spesifik fluida panas	[J/kg.K]
\dot{m}_c	Laju aliran massa fluida dingin	[kg/s]
$C_{p.c}$	Panas spesifik fluida dingin	[J/kg.K]
ΔT_1	Distribusi Temperatur sisi inlet	[K]
ΔT_2	Distribusi Temperatur sisi outlet	[K]
$T_{h.1}$	Temperatur masuk fluida panas	[K]
$T_{c.1}$	Temperatur masuk fluida dingin	[K]
$T_{h.2}$	Temperatur keluar fluida panas	[K]
$T_{c.2}$	Temperatur keluar fluida dingin	[K]
T_1	Temperatur masuk sisi <i>shell</i>	[K]
T_2	Temperatur keluar sisi <i>shell</i>	[K]
t_1	Temperatur masuk sisi <i>tube</i>	[K]
t_2	Temperatur keluar sisi <i>tube</i>	[K]
U_o	Koefisien perpindahan panas keseluruhan	[W/m ² .K]
h_i	Koefisien konveksi sisi <i>tube</i>	[W/m ² .K]

Simbol	Keterangan	Satuan
h_o	Koefisien konveksi sisi <i>shell</i>	[W/m ² .K]
A_i	Temperatur masuk fluida dingin	[K]
A_o	Temperatur keluar fluida panas	[K]
D_o	Diameter luar <i>tube</i>	[m]
D_i	Diameter dalam <i>tube</i>	[m]
k	Konduktifitas Thermal	[W/m.K]
L	Panjang <i>tube</i>	[m]
Re	Bilangan Reynold	[-]
V	Kecepatan rata-rata pada <i>tube</i>	[m/s]
D_h	Diameter hidraulic	[m]
ν	Viskositas kinematik	[m ² /s]
Nu	Bilangan Nusselt	[-]
Pr	Bilangan Prandalt	[-]
A	Luas bidang perpindahan panas	[m ²]
n	jumlah <i>tube</i>	[ea]
d	diameter <i>tube</i>	[m]
l	panjang <i>tube</i>	[m]
Rf	Luas bidang perpindahan panas	[m ² K/W]
n	jumlah <i>tube</i>	[ea]

DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	KETERANGAN
<i>PP</i>	<i>Polypropylene</i>
<i>ICP</i>	<i>Impact copolymer</i>
<i>CG</i>	<i>Cycle gas</i>
<i>CW</i>	<i>Cycle water</i>
<i>CWS</i>	<i>Cycle water System</i>
<i>CWR</i>	<i>Cycle water Return</i>
<i>CGS</i>	<i>Cycle gas System</i>
<i>CGC</i>	<i>Cycle gas cooler</i>
<i>BOG</i>	<i>Boil of gas</i>
<i>MAP</i>	Metil Asetilena Propadiena
<i>SCA</i>	<i>Selectivity Control Agent</i>
<i>PDS</i>	<i>Product Discharge System</i>
<i>HE</i>	<i>Heat exchanger</i>
<i>TEMA</i>	<i>Tubular Exchanger Manufactures Association</i>
<i>R_f</i>	<i>Fouling factor</i>
<i>LMTD</i>	<i>Log Mean Temperature DIfference</i>
<i>NTU</i>	<i>Number of Transfer Unit</i>
<i>Re</i>	<i>Reynold Number</i>
<i>Nu</i>	<i>Nusselt Number</i>
<i>Pr</i>	<i>Prandalt Number</i>