

SKRIPSI

PENGARUH *BAFFLE CUT* TERHADAP *HEAT TRANSFER*, *PRESSURE DROP*, DAN TEGANGAN PADA *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER*

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

AHMAD RESTIAN ADI NUGROHO

20160130174

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2020**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : **Ahmad Restian Adi Nugroho**

Nomor Mahasiswa : **20160130174**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul “Pengaruh *Baffle Cut* Terhadap *Heat Transfer*, *Pressure Drop*, dan Tegangan Pada *Shell and Tube Heat Exchanger*” adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya di bagian naskah dan daftar pustaka tugas akhir ini. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 6 Oktober 2020



Ahmad Restian Adi Nugroho

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Hanya kepada Engkaulah kami menyembah dan hanya kepada Engkaulah kami memohon pertolongan”

-Q.S. Al-Fatihah 1: Ayat 5-

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”

- Q.S. Al-Insyirah 94: Ayat 6-8 -

“Barangsiapa yang menyibukkan dirinya dengan bersandar kepada Allah, maka Allah akan mencukupi kebutuhannya”

-Ibnu Qoyyim-

“Jadilah yang terbaik dimanapun berada. Berikan yang terbaik yang bisa kamu berikan”

-Prof. Dr. Ing. H. BJ Habibie-

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wa rahmatullahi Wabarakatu.

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “**Pengaruh *Baffle Cut* Terhadap *Heat Transfer, Pressure Drop, dan Tegangan Pada Shell and Tube Heat Exchanger***” dapat terlaksana dengan baik.

Tugas akhir ini berisi tentang hasil perancangan *shell and tube heat exchanger* yang digunakan pada proses produksi oksigen serta pemvariasian *baffle cut* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *heat transfer, pressure drop, dan tegangan* pada *shell and tube heat exchanger*, semua parameter data dari data *sheet* digunakan sebagai *input* dalam perancangan dan perhitungan teoritis.

Penyusun menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini jauh dari kata sempurna mengingat keterbatasan referensi dan waktu yang tersedia pada proses penyusunannya. Oleh karena itu sangat diharapkan masukan, kritik serta saran yang membangun selama penyusunan berlangsung. Untuk itu penyusun mengharapkan timbal balik dari berbagai pihak demi penyempurnaan tugas akhir ini di masa-masa yang akan datang. Harapan penyusun semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam memahami perhitungan manual dan simulasi tentang perancangan *heat exchanger*.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 6 Oktober 2020

Penyusun,

(Ahmad Restian Adi Nugroho)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori	10
2.2.1. <i>Baffle</i>	14
2.2.2. Teori Kegagalan Material	16
2.2.3. Beban-Beban yang Bekerja pada <i>Heat Exchanger</i>	17
2.2.4. Tegangan Maksimum yang Diperbolehkan.....	18
2.2.5. Laju Aliran Massa	18
2.2.6. Laju Perpindahan Kalor	18
2.2.7. Rata-Rata Logaritmik Perbedaan Suhu (LMTD)	19

2.2.8. Jumlah <i>Tube</i>	19
2.2.9. Bundle Diameter	20
2.2.10. Diameter <i>Shell</i>	21
2.2.11. Ketebalan <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	22
2.2.12. Ketebalan <i>Head</i>	22
2.2.13. Dimensi <i>Flange</i>	23
2.2.14. Desain <i>Saddle</i>	26
2.2.15. Efektivitas <i>Heat Exchanger</i> ($\epsilon - NTU$)	31
2.2.16. <i>Pressure Drop</i>	31
2.2.17. <i>Velocity Inlet Shell</i>	34
2.2.18. Analisis Tegangan	34
2.2.19. <i>Safety Factor</i>	37
2.2.20. <i>Overdesign</i>	37
2.2.21. Perpindahan Kalor <i>Heat exchanger</i>	37
2.3. <i>Software Inventor 2020</i>	38
2.3.1. Tampilan Awal Autodesk <i>Software</i>	39
2.3.2. Alur Pengerjaan Autodesk <i>Inventor</i>	39
2.4. <i>SimScale</i>	41
2.4.1. Tampilan Awal <i>Platform</i>	41
2.4.2. Tampilan <i>Workbench</i>	41
2.4.3. Tampilan <i>Post-Processing</i>	42
BAB III METODE PENELITIAN.....	43
3.1. Tahapan Penelitian	43
3.2. Alat Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Pengaruh <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Heat Transfer</i>	64
4.2. Pengaruh <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Pressure Drop</i>	70
4.3. Pengaruh <i>Baffle Cut</i> terhadap Tegangan	80
BAB V PENUTUP	136
5.1. Kesimpulan.....	136
5.2. Saran	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. <i>Heat exchanger</i> (Brogan, 2011)	1
Gambar 2.1. (a) Perbandingan <i>baffle cut</i> terhadap <i>pressure drop</i> (b) Perbandingan <i>baffle cut</i> terhadap <i>heat transfer coefficient</i> (Afsar dan Inam, 2018)	6
Gambar 2.2. Aliran bolak-balik (Miller, 2018)	10
Gambar 2.3. Aliran searah (Miller, 2018)	11
Gambar 2.4. <i>Shell and tube heat exchanger</i> . (a) Komponen dan (b) <i>Heat exchanger</i> (Thulukkanam, 2011)	12
Gambar 2.5. Tipe <i>shell and tube heat exchanger</i> berdasarkan TEMA (TEMA, 2007)	13
Gambar 2.6. <i>Shell and tube heat exchanger</i> tipe AES (TEMA, 2007)	14
Gambar 2.7. Aliran sisi <i>shell</i> yang disebabkan oleh <i>baffle cut</i> (Thulukkanam, 2013)	15
Gambar 2.8. <i>Baffle cut</i> (Thulukkanam, 2013)	15
Gambar 2.9. <i>Shell-bundle clearance</i> (Sinnot, 2005)	21
Gambar 2.10. Dimensi <i>ellipsoidal head</i> (Megyesy, 1997)	23
Gambar 2.11. Lambang dimensi <i>saddle</i> (Megyesy, 1997)	29
Gambar 2.12. <i>Shell side friction factors, segmental baffle</i> (Kern, 1950)	33
Gambar 2.13. <i>Longitudinal stress</i> (Khurmi & Gupta, 2005)	35
Gambar 2.14. <i>Hoop stress</i> (Khurmi & Gupta, 2005)	36
Gambar 2.15. Tampilan Awal <i>Software</i>	39
Gambar 2.16. Lembar kerja 2D	39
Gambar 2.17. Lembar Kerja <i>Part</i>	40
Gambar 2.18. Lembar Kerja <i>Assembly</i>	40
Gambar 2.19. Tampilan Awal <i>Software</i>	41
Gambar 2.20. Tampilan <i>Workbench</i>	42
Gambar 2.21. Tampilan <i>Post Processing</i>	42
Gambar 3.1. Diagram Alir	43
Gambar 3.2. Diagram Alir (lanjutan)	44

Gambar 4.1. <i>Shell side friction factors, segmental baffle</i> (Kern, 1950)	59
Gambar 4.2. <i>Shell and tube heat exchanger</i>	64
Gambar 4.3. Variasi <i>baffle cut</i> :(a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	64
Gambar 4.4. Geometri <i>heat exchanger</i>	65
Gambar 4.5. <i>Heat transfer</i> hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	66
Gambar 4.6. Hubungan <i>Baffle cut</i> terhadap ε - <i>NTU</i>	68
Gambar 4.7. Fluida <i>Shell</i>	70
Gambar 4.8. Fluida <i>Shell</i>	71
Gambar 4.9. Fluida <i>Tube</i>	71
Gambar 4.10. Fluida <i>Tube</i>	71
Gambar 4.11. <i>Pressure shell</i> hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	73
Gambar 4.12. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Pressure drop Shell</i>	74
Gambar 4.13. <i>Velocity shell</i> hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	77
Gambar 4.14. Hubungan <i>baffle Cut</i> terhadap <i>velocity inlet shell</i>	78
Gambar 4.15. <i>Pressure tube</i>	79
Gambar 4.16. <i>Shell and tube heat exchanger</i>	81
Gambar 4.17. Kontur tegangan hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	83
Gambar 4.18. Kontur <i>All displacement</i> hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	85
Gambar 4.19. Kontur <i>displacement</i> arah sumbu X hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	86

Gambar 4.20. Kontur <i>displacement</i> arah sumbu Y hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	88
Gambar 4.21. Kontur <i>displacement</i> arah sumbu Z hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	90
Gambar 4.22. Titik validasi hasil simulasi SimScale pada variasi <i>baffle cut</i> : (a) 17,5%, (b) 20%, (c) 22,5%, (d) 25%, (e) 27,5%, (f) 30% dan (g) 32,5%	91
Gambar 4.23. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap Tegangan Maksimal	97
Gambar 4.24. Hubungan <i>Baffle cut</i> terhadap <i>All Displacement</i> maksimal	98
Gambar 4.25. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu X	99
Gambar 4.26. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Y	100
Gambar 4.27. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Z	101
Gambar 4.28. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap Tegangan Rata-Rata	108
Gambar 4.29. Hubungan <i>Baffle cut</i> terhadap <i>All displacement</i> rata-rata	109
Gambar 4.30. Hubungan <i>Baffle cut</i> terhadap <i>Displacement</i> Rata-Rata sumbu X	110
Gambar 4.31. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Y	111
Gambar 4.32. Hubungan <i>Baffle Cut</i> terhadap <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Z	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hasil perbandingan pengaruh <i>baffle cut</i> terhadap <i>pressure drop</i>	5
Tabel 2.2. Rangkuman Penelitian Sebelumnya	7
Tabel 2.3. Produksi oksigen menggunakan sistem VPSA (Dorris dkk, 2016).....	18
Tabel 2.4. Konstanta yang digunakan pada persamaan (2.15). (Sinnott, 2005)	21
Tabel 2.5. <i>Rating</i> tekanan-suhu untuk material 18Cr-8Ni.....	24
Tabel 2.6. Dimensi <i>flange rating class #150</i> (ASME, 2009)	25
Tabel 2.7. Dimensi <i>saddle</i> (Megyesy, 1997)	30
Tabel 4.1. Data spesifikasi <i>heat exchanger</i>	62
Tabel 4.2. <i>Temperature inlet tube</i>	66
Tabel 4.3. <i>Temperature outlet tube</i>	66
Tabel 4.4. <i>Temperature inlet shell</i>	67
Tabel 4.5. Validasi Efektivitas <i>Heat Exchanger</i> dalam Menukar Kalor	67
Tabel 4.6. Persentase Penurunan Efektivitas <i>Heat exchanger</i> dalam Menukar Kalor	69
Tabel 4.7. <i>Pressure inlet shell</i>	73
Tabel 4.8. <i>Pressure outlet shell</i>	73
Tabel 4.9. Validasi <i>pressure drop shell</i>	74
Tabel 4.10. Persentase Penurunan <i>Pressure drop shell</i>	75
Tabel 4.11. Validasi <i>Velocity Inlet</i>	77
Tabel 4.12. <i>Pressure inlet tube</i>	79
Tabel 4.13. <i>Pressure outlet tube</i>	79
Tabel 4.14. Validasi <i>pressure drop tube</i>	80
Tabel 4.15. Perbandingan Tegangan	91
Tabel 4.16. Tegangan Maksimal	92
Tabel 4.17. <i>All Displacement</i> Maksimal.....	93
Tabel 4.18. <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu X.....	94
Tabel 4.19. <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Y	95
Tabel 4.20. <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Z	96

Tabel 4.21. Persentase Kenaikan Tegangan Maksimal Komponen <i>Tube</i>	102
Tabel 4.22. Tegangan Rata-Rata	103
Tabel 4.23. <i>All Displacement</i> Rata-Rata.....	104
Tabel 4.24. <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu X.....	105
Tabel 4.25. <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Y	106
Tabel 4.26. <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Z	107
Tabel 4.27. Persentase Peningkatan Tegangan Rata-Rata Komponen <i>Tube</i>	113
Tabel 4.28. Persentase Perubahan Tegangan Maksimal.....	114
Tabel 4.29. Persentase Perubahan <i>All Displacement</i> Maksimal.....	115
Tabel 4.30. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu X	116
Tabel 4.31. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Y	117
Tabel 4.32. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Z.....	118
Tabel 4.33. Persentase Perubahan Tegangan Rata-Rata.....	119
Tabel 4.34. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Keseluruhan	120
Tabel 4.35. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu X	121
Tabel 4.36. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Y	122
Tabel 4.37. Persentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Z.....	123
Tabel 4.38. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 17,5% terhadap Tegangan Izin	124
Tabel 4.39. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 20% terhadap Tegangan Izin	125
Tabel 4.40. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 22,5% terhadap Tegangan Izin	127
Tabel 4.41. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 25% terhadap Tegangan Izin	128
Tabel 4.42. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 27,5% terhadap Tegangan Izin	130
Tabel 4.43. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 30% terhadap Tegangan Izin	131
Tabel 4.44. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi <i>Baffle Cut</i> 32,5% terhadap Tegangan Izin	133
Tabel 4.45. Tingkat Overdesign Komponen <i>Heat Exchanger</i>	134

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CFD	: <i>Computational Fluid Dynamics</i>
TEMA	: <i>Tubulur Exchanger Manufacturer Association</i>
ASME	: <i>American Society of Mechanical Engineer</i>
SS	: Stainless Steel
T_d	: Suhu desain ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	: Suhu operasi ($^{\circ}\text{C}$)
Q	: Laju perpindahan kalor (W)
C_p	: <i>Specific heat</i> (kJ/kg.K)
ΔT	: Perbedaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)
T_1	: Suhu fluida masuk sisi <i>tube</i> ($^{\circ}\text{C}$)
T_2	: Suhu fluida keluar sisi <i>tube</i> ($^{\circ}\text{C}$)
t_1	: Suhu fluida masuk sisi <i>shell</i> ($^{\circ}\text{C}$)
t_2	: Suhu fluida keluar sisi <i>shell</i> ($^{\circ}\text{C}$)
LMTD	: Rata-rata logaritmik perbedaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)
N_t	: Jumlah <i>tube</i>
A_o	: Asumsi luas perpindahan kalor (m^2)
A_t	: Luas permukaan <i>tube</i> (m^2)
A_n	: Luas permukaan <i>nozzle</i> (m^2)
U_o	: Asumsi overall <i>heat transfer coefficient</i> ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
d_o	: Diameter luar <i>tube</i> (m)
l_t	: Panjang <i>tube</i> (m)
t	: Ketebalan dinding (m)
P	: Tekanan design (psi)
S	: Nilai tegangan dari material (psi)
E	: Efisiensi sambungan
D_i	: Diameter dalam <i>shell</i> (m)
L_s	: Panjang <i>shell</i> (m)
ρ_{fluida}	: Massa jenis fluida (kg/m^3)
$\rho_{material}$: Massa jenis material (kg/m^3)
Δp_s	: <i>Pressure drop</i> sisi <i>shell</i> (kPa)
f	: Faktor gesek
Re_s	: Angka Reynold
D_e	: Diameter ekuivalen untuk <i>triangular pitch</i> (m)
μ_s	: Viskositas dinamis fluida di sisi <i>shell</i> ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)
G_s	: Kecepatan rata-rata terhadap <i>cross area</i> ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)
P_T	: <i>Tube pitch</i> (m)
D_s	: <i>Shell</i> diameter (m)
C	: <i>Clearance</i> antara <i>tube</i>
B	: Jarak <i>baffle</i> (m)
ε	: Efektivitas <i>heat exchanger</i> dalam menukar kalor
m_{tube}	: Laju aliran massa sisi <i>tube</i> (kg/s)
m_{shell}	: Laju aliran massa sisi <i>shell</i> (kg/s)

C_{tube}	: Kalor jenis fluida <i>tube</i> (W/K)
C_{shell}	: Kalor jenis fluida <i>shell</i> (W/K)
σ_H	: <i>Hoop stress</i> (MPa)
P	: <i>Internal Pressure</i> (MPa)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : <i>Basic Allowable Stress</i>	141
Lampiran 2 : Asumsi Overall <i>Heat transfer Coefficient</i>	142
Lampiran 3 : Drawing <i>Heat exchanger Shell and Tube</i>	143
Lampiran 4 : Simulasi <i>Heat transfer</i>	153
Lampiran 5 : Simulasi <i>Pressure drop</i>	159
Lampiran 6 : Simulasi <i>Stress Analysis</i>	164