

SKRIPSI

**PENGARUH ROTASI *TRIANGULAR TUBE ARRANGEMENT*
TERHADAP *HEAT TRANSFER, PRESSURE DROP, DAN TEGANGAN*
PADA *SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER***

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

MUHAMAD NAUFAL FIKRI

20160130192

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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : **Muhamad Naufal Fikri**
Nomor Mahasiswa : **20160130159**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu ataupun disebutkan sumbernya dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 29 September 2020



Muhamad Naufal Fikri

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

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

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

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wa rahmatullahi Wabarakatu.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga kita selalu diberikan kesehatan sampai saat ini. Shalawat dan salam kita curahkan kepada rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga Islamiyah. *Alhamdulillahillobbil 'alamin* saya dapat menyelesaikan **Tugas Akhir : Pengaruh Rotasi *Triangular Tube Arrangement* terhadap *Heat Transfer, Pressure drop*, dan Tegangan pada *Shell and Tube Heat Exchanger*.**

Tugas akhir ini berisi tentang perancangan *heat exchanger* yang terdapat pada penelitian *High-Purity Oxygen Production Using Mixed Ionic-Electronic Conducting Sorbents* dengan pengvariasian rotasi *triangular tube arrangement*. *Datasheet* yang digunakan dalam perancangan didapatkan dari hasil perancangan menggunakan TEMA dan ASME Section VIII div. II.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari bentuk sempurna, dikarenakan keterbatasan referensi dan waktu yang tersedia untuk penyusunannya. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran guna membangun Tugas Akhir yang lebih baik di masa yang akan datang.

Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan digunakan untuk referensi bagi untuk penelitian selanjutnya. Atas perhatiannya saya mengucapkan terimakasih.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 29 September 2020

Penyusun,

(Muhamad Naufal Fikri)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
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.....	11
2.2.1. <i>Tube</i>	14
2.2.2. Teori Kegagalan Material.....	15
2.2.3. Beban-Beban yang Bekerja pada <i>Heat Exchanger</i>	17
2.2.4. Tegangan Maksimum yang Diperbolehkan.....	17
2.2.5. Laju Aliran Massa.....	18
2.2.6. Laju Perpindahan Kalor	18
2.2.7. Rata-Rata Logaritmik Perbedaan Suhu (LMTD).....	18

2.2.8. Jumlah <i>Tube</i>	19
2.2.9. Bundle Diameter	20
2.2.10. Diameter <i>Shell</i>	20
2.2.11. Ketebalan <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	21
2.2.12. Ketebalan <i>Head</i>	22
2.2.13. Dimensi <i>Flange</i>	22
2.2.14. Desain <i>Saddle</i>	25
2.2.15. Efektivitas <i>Heat Exchanger</i> (ϵ - <i>NTU</i>)	29
2.2.16. <i>Pressure Drop</i>	30
2.2.17. <i>Velocity</i>	33
2.2.18. Analisis Tegangan.....	33
2.2.19. <i>Safety Factor</i>	35
2.2.20. <i>Overdesign</i>	36
2.2.21. Perpindahan Kalor <i>Heat exchanger</i>	36
2.3. <i>Software Inventor 2020</i>	37
2.3.1. Tampilan Awal <i>Software</i>	37
2.3.2. Alur Pengerjaan Autodesk Inventor.....	37
2.4. SimScale	39
2.4.1. Tampilan Awal <i>Platform</i>	39
2.4.2. Tampilan <i>Workbench</i>	41
2.4.3. Tampilan <i>Post-Processing</i>	41
BAB III METODE PENELITIAN.....	42
3.1. Tahapan Penelitian	42
3.2. Alat Penelitian	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
41. Pengaruh Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>Heat Transfer</i> .	62
42. Pengaruh Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>Pressure Drop</i>	70
43. Pengaruh Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap Tegangan.....	87
BAB V PENUTUP	145
5.1. Kesimpulan	145
5.2. Saran	145

DAFTAR PUSTAKA.....	146
LAMPIRAN.....	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. <i>Heat exchanger</i> (Kakaç et al., 2012).....	1
Gambar 2.1. Aliran searah (Miller, 2018).....	11
Gambar 2.2. Aliran bolak-balik (Miller, 2018).....	12
Gambar 2.3. <i>Shell and tube heat exchanger</i> (De et al., 2017)	12
Gambar 2.4. Tipe <i>shell and tube heat exchanger</i> berdasarkan TEMA (TEMA, 2007)	13
Gambar 2.5. <i>Shell and tube heat exchanger</i> tipe AES (TEMA, 2007)	14
Gambar 2.6. Pola penyusunan <i>tube</i> : (a) 30 ⁰ ; (b) 60 ⁰ ; (c) 90 ⁰ ; (d) 45 ⁰ ; (e) <i>square tube pitch</i> ; (f) <i>triangular tube pitch</i> . (Thulukkanam, 2013).....	15
Gambar 2.7. Konstanta yang digunakan pada persamaan 3.4. (Sinnot, 2005)	20
Gambar 2.8. <i>Shell-bundle clearance</i> (Sinnot, 2005).	21
Gambar 2.9. Dimensi <i>ellipsoidal head</i> (Megyesy, 1997)	22
Gambar 2.10. Lambang dimensi <i>saddle</i> (Megyesy, 1997)	28
Gambar 2.11. Faktor gesek sisi <i>shell</i> (Sinnot, 2005).....	32
Gambar 2.12. <i>Longitudinal stress</i> (Khurmi & Gupta, 2005).....	34
Gambar 2.13. <i>Hoop stress</i> (Khurmi & Gupta, 2005)	35
Gambar 2.14. Tampilan Awal <i>Software</i>	37
Gambar 2.15. <i>Create Project</i>	38
Gambar 2.16. <i>Create Part 2D dan 3D</i>	38
Gambar 2.17. <i>Assembly</i>	39
Gambar 2.18. <i>Drawing</i>	39
Gambar 2.19. Tampilan Awal <i>Software</i>	40
Gambar 2.20. Tampilan <i>Workbench</i>	41
Gambar 2.21. Tampilan <i>Post Processing</i>	41
Gambar 3.1. Diagram Alir	43
Gambar 3.2. Diagram Alir (lanjutan)	43
Gambar 4.1. <i>Friction factor</i> (Sinnot, 2005).....	57

Gambar 4.2. <i>Heat exchanger shell and tube</i>	62
Gambar 4.3. Geometri <i>heat exchanger</i>	64
Gambar 4.4. Variasi <i>heat transfer</i> hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi <i>triangular tube arrangement</i> : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	65
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap $\epsilon-NT$	68
Gambar 4.6. Inlet Fluida Pendingin	70
Gambar 4.7. Outlet Fluida Pendingin	71
Gambar 4.8. Inlet Fluida Panas	71
Gambar 4.9. Inlet Fluida Panas	71
Gambar 4.10. Variasi <i>pressure drop</i> fluida pendingin hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi <i>triangular tube arrangement</i> : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	84
Gambar 4.11. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>Pressure drop</i> fluida pendingin	77
Gambar 4.12. Variasi <i>velocity</i> fluida pendingin hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi <i>triangular tube arrangement</i> : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	79
Gambar 4.13. Variasi <i>pressure drop</i> fluida panas hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi <i>triangular tube arrangement</i> : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	84
Gambar 4.14. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>Pressure Drop</i> Fluida Panas	77
Gambar 4.15. <i>Shell and tube heat exchanger</i>	87
Gambar 4.16. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap Tegangan Maksimal	89
Gambar 4.17. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>All Displacement</i> Maksimal.....	91
Gambar 4.18. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu X	93
Gambar 4.19. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Y	95

Gambar 4.20. Grafik Hubungan Rotasi Triangular Tube Arrangement terhadap <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Z.....	97
Gambar 4.21. Grafik Hubungan Rotasi Triangular Tube Arrangement terhadap Tegangan Rata-Rata	99
Gambar 4.22. Grafik Hubungan Rotasi <i>Triangular Tube Arrangement</i> terhadap <i>All Displacement</i> Rata-Rata.....	101
Gambar 4.23. Grafik Hubungan Rotasi Triangular Tube Arrangement terhadap <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu X	103
Gambar 4.24. Grafik Hubungan Rotasi Triangular Tube Arrangement terhadap <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Y	105
Gambar 4.25. Grafik Hubungan Rotasi Triangular Tube Arrangement terhadap <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Z.....	107
Gambar 4.26. Kontur tegangan hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi triangular tube arrangement : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	110
Gambar 4.27. Kontur <i>displacement</i> arah sumbu X hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi triangular tube arrangement : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	114
Gambar 4.28. Kontur <i>displacement</i> arah sumbu Y hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi triangular tube arrangement : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	117
Gambar 4.29. Kontur <i>displacement</i> arah sumbu Z hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi triangular tube arrangement : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	119
Gambar 4.30. Titik validasi hasil simulasi SimScale pada variasi rotasi triangular tube arrangement : (a) 0°, (b) 10°, (c) 20°, (d) 30°, (e) 40°, (f) 50°, (g) 60°, (h) 70°, (i) 80°, (j) 90°	121

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Rangkuman Penelitian Sebelumnya.....	7
Tabel 2.2. Produksi oksigen menggunakan sistem VPSA (Dorris et al., 2016)....	18
Tabel 2.3. <i>Rating</i> tekanan-suhu untuk material 18Cr-8Ni.....	23
Tabel 2.4. Dimensi <i>flange rating class #150</i> (ASME, 2009)	24
Tabel 2.5. Dimensi <i>saddle</i> (Megyesy, 1997)	29
Tabel 4.1. Data spesifikasi <i>heat exchanger</i>	60
Tabel 4.2. <i>Temperature inlet tube</i>	65
Tabel 4.3. <i>Temperature outlet tube</i>	66
Tabel 4.4. <i>Temperature inlet shell</i>	66
Tabel 4.5. Validasi Efektivitas <i>Heat Exchanger</i> dalam Menukar Kalor	67
Tabel 4.6. Presentase Penurunan Efektivitas <i>Heat exchanger</i> dalam Menukar Kalor.....	69
Tabel 4.7. <i>Pressure inlet shell</i>	75
Tabel 4.8. <i>Pressure outlet shell</i>	75
Tabel 4.9. Validasi <i>pressure drop shell</i>	76
Tabel 4.10. <i>Pressure inlet tube</i>	84
Tabel 4.11. <i>Pressure outlet tube</i>	85
Tabel 4.12. Validasi <i>pressure drop tube</i>	86
Tabel 4.14. Perbandingan Tegangan	121
Tabel 4.15. Tegangan Maksimal	88
Tabel 4.16. <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu X	90
Tabel 4.17. <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Y	92
Tabel 4.18. <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Z.....	94
Tabel 4.20. Tegangan Rata-Rata	98
Tabel 4.21. <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu X.....	100
Tabel 4.22. <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Y.....	102
Tabel 4.23. <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Z.....	104
Tabel 4.25. Presentase Perubahan Tegangan Maksimal.....	122

Tabel 4.26. Presentase Perubahan <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu X	123
Tabel 4.27. Presentase Perubahan <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Y	124
Tabel 4.28. Presentase Perubahan <i>Displacement</i> Maksimal Sumbu Z.....	125
Tabel 4.29. Presentase Perubahan Tegangan Rata-Rata.....	128
Tabel 4.30. Presentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu X	129
Tabel 4.31. Presentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Y	130
Tabel 4.32. Presentase Perubahan <i>Displacement</i> Rata-Rata Sumbu Z.....	131
Tabel 4.33. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 0° terhadap Tegangan Izin.....	134
Tabel 4.34. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 10° terhadap Tegangan Izin.....	135
Tabel 4.35. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 20° terhadap Tegangan Izin.....	135
Tabel 4.36. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 30° terhadap Tegangan Izin.....	137
Tabel 4.37. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 40° terhadap Tegangan Izin.....	138
Tabel 4.38. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 50° terhadap Tegangan Izin.....	139
Tabel 4.39. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 60° terhadap Tegangan Izin.....	140
Tabel 4.40. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 70° terhadap Tegangan Izin.....	141
Tabel 4.41. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 80° terhadap Tegangan Izin.....	142
Tabel 4.42. Perbandingan Tegangan Maksimal Variasi Rotasi <i>Triangular Tube</i> <i>Arrangement</i> 90° terhadap Tegangan Izin.....	143

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	: <i>Stainless Steel</i>
T_d	: <i>Suhu desain (°C)</i>
T_o	: <i>Suhu operasi (°C)</i>
Q	: <i>Laju perpindahan kalor (W)</i>
C_p	: <i>Specific heat (kJ/kg.K)</i>
ΔT	: <i>Perbedaan suhu (°C)</i>
T_1	: <i>Suhu fluida masuk sisi tube (°C)</i>
T_2	: <i>Suhu fluida keluar sisi tube (°C)</i>
t_1	: <i>Suhu fluida masuk sisi shell (°C)</i>
t_2	: <i>Suhu fluida keluar sisi shell (°C)</i>
LMTD	: <i>Rata-rata logaritmik perbedaan suhu (°C)</i>
N_t	: <i>Jumlah tube</i>
A_o	: <i>Asusmsi luas perpindahan kalor (m²)</i>
A_t	: <i>Luas permukaan tube (m²)</i>
U_o	: <i>Asumsi overall heat transfer coefficient (W/m²K) d_o</i>
	: <i>Diameter luar tube (m)</i>
l_t	: <i>Panjang tube (m)</i>
t	: <i>Ketebalan dinding (m)</i>
P	: <i>Tekanan design (psi)</i>
S	: <i>Nilai tegangan dari material (psi)</i>
E	: <i>Efisiensi sambungan</i>
D_i	: <i>Diameter dalam shell (m)</i>
L_s	: <i>Panjang shell (m)</i>
ρ_{fluida}	: <i>Massa jenis fluida (kg/m³)</i>
$\rho_{material}$: <i>Massa jenis material (kg/m³)</i>
Δp_s	

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> (kg/m ² s)
G_s	: Kecepatan rata-rata terhadap <i>cross area</i> (kg/m ² 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)
\mathcal{E}	: Efektivitas <i>heat exchanger</i> dalam menukar kalor
M_{tube}	: Laju aliran massa sisi <i>tube</i> (kg/s)