

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxi
ABSTRAK	xxiv
ABSTRACT	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengaruh <i>Helical Baffle</i> pada Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	5
2.2. Pengaruh Sudut pada <i>Helical Baffles</i>	7
2.3. Penggunaan CFD dalam Desain Alat Penukar Kalor	10
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1. Alat Penukar Kalor	14
3.2. Alat Penukar Kalor <i>Shell and Tube</i>	16
3.3. Sizing Alat Penukar Kalor Shell and Tube	25
3.4. Perhitungan Kekuatan Alat Penukar Kalor	30

3.5. Metode Perancangan Bell Delaware	40
3.5.1. Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Keseluruhan	48
3.5.2. Perhitungan Pressure Drop	48
3.6. Perhitungan Efektivitas	53
3.7. <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	53
3.8.1. <i>Finite Volume Method</i>	54
3.8.2. Persamaan Atur (<i>Governing Equations</i>)	55
3.8.3. Model Turbulensi	56
3.8.4. Model Turbulensi $k-\epsilon$ <i>Realizable</i>	59
3.8.5. Model Turbulensi $k-\omega$ <i>Standard</i>	61
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	63
4.1. Diagram Alir Penelitian	63
4.2. Alat Penelitian	65
4.3. Bahan Penelitian	69
4.4. Perhitungan Desain Alat Penukar Kalor	70
4.5. Proses Simulasi CFD	72
4.5.1. Pre-processing	72
4.5.2. Solving	73
4.5.1. Post-processing	73
4.6. Parameter Pembanding	73
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	75
5.1. Perancangan Alat Penukar Kalor Berdasarkan Standar TEMA	75
5.1.1. Perhitungan Beban Kalor	75
5.1.2. Perhitungan Log Mean Temperature Difference	75
5.1.3. Penentuan Faktor Koreksi	76
5.1.4. Penentuan Koefisien Perpindahan Kalor Keseluruhan	76

5.1.5. Perhitungan Luasan Perpindahan Kalor yang Dibutuhkan	77
5.1.6. Perhitungan Jumlah <i>Tube</i>	77
5.1.7. Perhitungan Luasan Terkoreksi	78
5.1.8. Perhitungan Diameter <i>Tube Bundle</i>	78
5.1.9. Perhitungan Kecepatan Alir	78
5.2. Perhitungan Kekuatan Alat Penukar Kalor	80
5.2.1. Perhitungan Mekanikal <i>Shell</i>	80
5.2.2. Perhitungan <i>Nozzle</i>	81
5.2.3. Pemilihan <i>Tubesheet</i>	83
5.2.4. Pemilihan <i>Baffle</i>	83
5.2.5. Penentuan <i>Tie Rod</i>	84
5.2.6. Pemilihan <i>Flange</i>	84
5.2.7. Perhitungan <i>Lifting Lug</i>	87
5.2.8. Perhitungan <i>Saddle</i>	87
5.3. Metode Perancangan Bell Delaware	88
5.3.1 Perhitungan Laju Flux Massa pada <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	89
5.3.2 Perhitungan Diameter Ekuivalen	90
5.3.3 Perhitungan Bilangan Reynolds <i>Shell</i>	90
5.3.4 Perhitungan Bilangan Prandtl <i>Shell</i>	90
5.3.5 Penentuan Faktor Perpindahan Kalor pada <i>Shell</i>	90
5.3.6 Perhitngan Bilangan Nusselt	90
5.3.7 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Ideal pada <i>Shell</i>	91
5.3.8 Penentuan Faktor Koreksi Baris <i>Tube</i>	91
5.3.9 Penentuan Faktor Koreksi <i>Window</i>	91
5.3.10 Perhitungan Faktor Koreksi <i>Bypass</i>	92

5.3.11 Perhitungan Faktor Koreksi <i>Leakage</i>	93
5.3.12 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor pada Sisi <i>Shell</i>	93
5.3.13 Perhitungan Laju Aliran pada <i>Tube</i>	94
5.3.14 Perhitungan Bilangan Reynolds pada <i>Tube</i>	94
5.3.15 Perhitungan Bilangan Prandtl pada <i>Tube</i>	94
5.3.16 Penentuan Faktor Perpindahan Kalor <i>Tube</i>	95
5.3.17 Perhitungan Bilangan Nusselt <i>Tube</i>	95
5.3.18 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor pada <i>Tube</i>	95
5.3.19 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Keseluruhan	95
5.4. Perhitungan Pressure Drop	96
5.4.1. Perhitungan Pressure Drop Ideal	96
5.4.2. Perhitungan Pressure Drop Zona Cross Flow	96
5.4.3. Perhitungan Pressure Drop pada Zona Window	97
5.4.4. Perhitungan Pressure Drop pada Zona Tepi	98
5.4.5. Perhitungan Pressure Drop pada Nozzle	98
5.4.6. Perhitungan Pressure Drop pada Sisi Shell	99
5.4.7. Perhitungan Pressure Drop Akibat Gesekan	99
5.4.8. Perhitungan Total Pressure Drop pada Tube	99
5.4.9. Rangkuman Perhitungan Menggunakan Metode Bell Delaware	100
5.5. Proses Pasca Hitung Perancangan	100
5.5.1. Pembuatan Geometri Alat Penukar Kalor dengan Helical Baffle	100
5.5.2. Pembuatan Model 3D Domain Fluida	101
5.5.3. Pembuatan Mesh dan Mesh Independency Test	104
5.5.4. Pengaturan pada ANSYS Fluent	108
5.6. Validasi Simulasi dan Hasil Simulasi	116

5.6.1. Validasi Simulasi Alat Penukar Kalor Shell and Tube Dengan Tiga Segmental Baffle	116
5.6.2. Simulasi Alat Penukar Kalor Shell and Tube Dengan Hellical Baffle Sudut 20 Derajat	122
5.6.3. Simulasi Alat Penukar Kalor Shell and Tube Dengan Hellical Baffle Sudut 30 Derajat	128
5.6.4. Simulasi Alat Penukar Kalor Shell and Tube Dengan Hellical Baffle Sudut 40 Derajat	133
5.6.5. Rangkuman Hasil Simulasi	138
5.7. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi Alat Penukar Kalor Dengan Segmental Baffle dan Variasi Sudut Helical Baffle	138
5.7.1. Perbandingan Suhu Keluaran Fluida pada <i>Shell</i> dan <i>Tube</i>	139
5.7.2. Perbandingan Pressure drop yang Terjadi pada Shell dan Tube	140
5.7.3. Perbandingan Efektivitas Masing-Masing Alat penukar Kalor Dengan Variasi Baffle	142
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	143
6.1. Kesimpulan	143
6.2. Saran	144
DAFTAR PUSTAKA	145
LAMPIRAN	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan bentuk aliran yang dihasilkan dari jenis <i>baffle</i> yang berbeda	5
Gambar 2. 2 perbandingan efektivitas yang dihasilkan suatu alat penukar kalor dengan pola aliran <i>plug flow</i> dan <i>mixing flow</i>	6
Gambar 2. 3 perbandingan efektivitas alat penukar kalor dengan <i>segmental baffle</i> dan <i>helical baffle</i>	6
Gambar 2. 4 profil gradien kecepatan aliran yang disebabkan oleh variasi sudut	8
Gambar 2. 5 Perbandingan performa perpindahan kalor dari <i>segmental baffles heat exchanger</i> dengan <i>discontinuous helical baffles heat exchanger</i>	9
Gambar 2. 6 Perbandingan performa aliran dari <i>segmental baffles heat exchanger</i> dengan <i>discontinuous helical baffles heat exchange</i>	9
Gambar 2. 7 Perbandingan performa komprehensif dari <i>segmental baffles heat exchanger</i> dengan <i>discontinuous helical baffles heat exchanger</i>	10
Gambar 2. 8 Geometri <i>helical baffle</i>	11
Gambar 2. 9 Geometri <i>disc and doughnut baffle</i>	11
Gambar 2. 10 Hasil penelitian pengaruh variasi tipe <i>baffle</i> terhadap suhu keluar fluida sisi <i>shell</i>	12
Gambar 2. 11 Hasil penelitian pengaruh variasi tipe <i>baffle</i> terhadap suhu keluar fluida sisi <i>tube</i>	12
Gambar 2. 12 Bentuk Geometri 3D pada ANSYS	13
Gambar 3. 1 Alat penukar kalor	14
Gambar 3. 2 Konstruksi Standar Alat Penukar Kalor Shell and Tube Menurut TEMA	17
Gambar 3. 3 Contoh Konstruksi Alat Penukar Kalor <i>shell and tube</i>	18
Gambar 3. 4 Perbedaan <i>streams flow</i> yang melalui <i>bundle</i>	19

Gambar 3. 5 Standar penataan <i>tube</i>	22
Gambar 3. 6 <i>Continous helical baffle</i>	24
Gambar 3. 7 <i>Discontinuous helical baffle</i>	24
Gambar 3. 8 <i>Clearance</i> antara <i>shell</i> dengan <i>tube bundle</i>	29
Gambar 3. 9 Geometri standar <i>flange</i> kelas 300#	36
Gambar 3. 10 Geometri <i>sadle</i> standar	39
Gambar 3. 11 Koefisien faktor perpindahan kalor pada <i>cross flow tubebanks</i>	43
Gambar 3. 12 Grafik faktor perpindahan kalor <i>tube</i>	43
Gambar 3. 13 Faktor koreksi baris <i>tube</i>	44
Gambar 3. 14 Koefisien faktor koreksi <i>window</i>	45
Gambar 3. 15 Koefisien faktor koreksi <i>bypass</i>	46
Gambar 3. 16 Faktor perhitungan koreksi <i>leakage</i>	47
Gambar 3. 17 Koefisien faktor gesekan	49
Gambar 3. 18 Koefisien <i>pressure drop</i> faktor <i>bypass</i>	50
Gambar 3. 19 Koefisien faktor <i>leakage</i>	50
Gambar 3. 20 Pembagian volume atur 1 dimensi	55
Gambar 4. 1 Diagram alir penelitian	65
Gambar 4. 2 Tampilan microsoft excell	66
Gambar 4. 3 Tampilan Autodesk Inventor 2018	67
Gambar 4. 4 Tampilan ANSYS Design Modeler	67
Gambar 4. 5 Tampilan ANSYS Meshing	68
Gambar 4. 6 Tampilan ANSYS Fluent	68
Gambar 4. 7 Tampilan ANSYS CFD Post	69
Gambar 5. 1 Geometri pipa <i>nozzle</i> pada sisi <i>shell</i>	82
Gambar 5. 2 Geometri pipa <i>nozzle</i> pada sisi <i>tube</i>	83
Gambar 5. 3 Geometri <i>flange</i> 300# ukuran 4 in Sch 40	85
Gambar 5. 4 Geometri <i>flange</i> 300# ukuran 2 in Sch 80	85
Gambar 5. 5 Geometri <i>flange</i> 300# ukuran 8 in Sch 30	86
Gambar 5. 6 Geometri gasket 4 in	86
Gambar 5. 7 Geometri gasket 2 in	86
Gambar 5. 8 Geometri <i>Lifting Lug</i>	87

Gambar 5. 9 Geometri Desain <i>Saddle</i>	88
Gambar 5. 10 Geometri <i>helical baffle</i> dengan sudut 20°	100
Gambar 5. 11 Geometri <i>helical baffle</i> dengan sudut 30°	101
Gambar 5. 12 Geometri <i>helical baffle</i> dengan sudut 40°	101
Gambar 5. 13 Gambar teknik model 3D domain fluida alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan 3 <i>segmental baffle</i>	102
Gambar 5. 14 Gambar teknik model 3D domain fluida alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan 20° <i>helical baffle</i>	103
Gambar 5. 15 Gambar teknik model 3D domain fluida alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan 30° <i>helical baffle</i>	103
Gambar 5. 16 Gambar teknik model 3D domain fluida alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan 40° <i>helical baffle</i>	104
Gambar 5. 17 Hasil <i>mesh</i> alat penukar kalor	107
Gambar 5. 18 Tampilan <i>general set-up</i>	109
Gambar 5. 19 Tampilan pengaturan model simulasi	110
Gambar 5. 20 Tampilan penentuan jenis material	111
Gambar 5. 21 Tampilan <i>cell zone condition</i>	111
Gambar 5. 22 Tampilan <i>boundary condition</i>	112
Gambar 5. 23 Tampilan <i>solution methods</i>	113
Gambar 5. 24 Tampilan penentuan syarat konvergensi	114
Gambar 5. 25 Tampilan pengaturan inisialisasi simulasi	115
Gambar 5. 26 Tampilan penentuan iterasi simulasi	115
Gambar 5. 27 Tampilan kalkulasi simulasi	116
Gambar 5. 28 Geometri 3D domain alat penukar kalor dengan	117
Gambar 5. 29 Grafik hasil simulasi distribusi suhu alat penukar kalor dengan <i>segmental baffle</i>	118
Gambar 5. 30 Hasil simulasi distribusi suhu fluida pada alat penukar kalor dengan tiga <i>segmental baffle</i>	120
Gambar 5. 31 Hasil simulasi distribusi tekanan fluida pada alat penukar kalor dengan tiga <i>segmental baffle</i>	120

Gambar 5. 32 Hasil simulasi medan aliran fluida pada alat penukar kalor dengan tiga <i>segmental baffle</i>	121
Gambar 5. 33 Geometri 3D domain alat penukar kalor dengan	123
Gambar 5. 34 Grafik hasil simulasi distribusi suhu alat penukar kalor dengan <i>helical</i> <i>baffle</i> sudut 20°	124
Gambar 5. 35 Hasil simulasi distribusi suhu fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 20°	126
Gambar 5. 36 Hasil simulasi distribusi tekanan fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 20°	126
Gambar 5. 37 Hasil simulasi medan aliran fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 20°	127
Gambar 5. 38 Geometri 3D domain alat penukar kalor dengan	128
Gambar 5. 39 Grafik hasil simulasi distribusi suhu alat penukar kalor dengan <i>helical</i> <i>baffle</i> sudut 30°	129
Gambar 5. 40 Hasil simulasi distribusi suhu fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 30°	131
Gambar 5. 41 Hasil simulasi distribusi tekanan fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 30°	131
Gambar 5. 42 Hasil simulasi medan aliran fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 30°	132
Gambar 5. 43 Geometri 3D domain alat penukar kalor dengan	133
Gambar 5. 44 Grafik hasil simulasi distribusi suhu alat penukar kalor dengan <i>helical</i> <i>baffle</i> sudut 40°	134
Gambar 5. 45 Hasil simulasi distribusi suhu fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 40°	136
Gambar 5. 46 Hasil simulasi distribusi suhu fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 40°	136
Gambar 5. 47 Hasil simulasi distribusi suhu fluida pada alat penukar kalor dengan <i>helical baffle</i> sudut 40°	137
Gambar 5. 48 Grafik perbandingan suhu keluaran fluida panas dan dingin terhadap variasi jenis <i>baffle</i>	139

Gambar 5. 49 Bagian yang tidak terlewati fluida panas pada <i>segmental baffle</i>	140
Gambar 5. 50 Grafik perbandingan tekanan fluida pada sisi <i>shell</i> dan <i>tube</i> terhadap variasi jenis <i>baffle</i>	141
Gambar 5. 51 Grafik perbandingan efektivitas terhadap variasi jenis <i>baffle</i>	142

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kondisi batas <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> penelitian	11
Tabel 3. 1 Klasifikasi ketebalan <i>baffle</i> untuk diameter standar <i>shell and tube exchanger</i> berdasarkan RCB4-41	25
Tabel 3. 2 Klasifikasi <i>clearance baffle to shell</i> untuk diameter standar <i>shell and tube exchanger</i> berdasarkan RCB4-41	25
Tabel 3. 3 Kisaran nilai koefisien perpindahan kalor keseluruhan	27
Tabel 3. 4 Nilai konstanta untuk K1 dan n1 (Sinnott, 2008)	28
Tabel 3. 5 Standar ketebalan <i>shell</i> berdasarkan tabel TEMA R-3.13	31
Tabel 3. 6 Standar ketebalan <i>shell</i> berdasarkan tabel TEMA CB-3.13	31
Tabel 3. 7 Klasifikasi ketebalan <i>tubesheet</i> berdasarkan RCB-7.22M	33
Tabel 3. 8 Klasifikasi ketebalan <i>baffle</i> untuk diameter standar <i>shell and tube exchanger</i> berdasarkan RCB4-41	34
Tabel 3. 9 Faktor Dimensi Plat Longitudinal Berdasarkan RCB-9.132	34
Tabel 3. 10 Standar ukuran dan jumlah <i>tie rod</i> berdasarkan tabel	35
Tabel 3. 11 Standar ukuran dan jumlah <i>tie rod</i> berdasarkan tabel	35
Tabel 3. 12 Klasifikasi <i>rating</i> ASME B16.5 suhu dan tekanan operasi	36
Tabel 3. 13 Dimensi standar <i>flange</i> kelas 300#	37
Tabel 3. 14 Geometri standar <i>lifting lug</i>	38
Tabel 3. 15 Tabel untuk menentukan dimensi konstruksi <i>saddle</i>	39
Tabel 3. 16 Detail informasi model turbulensi	57
Tabel 4. 1 Spesifikasi komputer	65
Tabel 4. 2 Data Properti <i>Compressed Process Gas</i>	69
Tabel 4. 3 Data Properti <i>Fuel Gas</i>	70
Tabel 4. 4 Rentang kualitas mesh	73
Tabel 5. 1 Spesifikasi <i>tube</i> alat penukar kalor	77
Tabel 5. 2 Spesifikasi desain rancangan <i>shell</i>	80
Tabel 5. 3 Spesifikasi desain rancangan <i>nozzle</i>	81
Tabel 5. 4 Dimensi <i>Lifting Lug</i>	87

Tabel 5. 5 Dimensi <i>Saddle</i>	88
Tabel 5. 6 Spesifikasi alat penukar kalor	89
tabel 5. 7 Ukuran fisik alat penukar kalor <i>shell and tube</i> tipe aliran berlawanan	102
Tabel 5. 8 Hasil <i>mesh independency test</i> suhu keluaran fluida panas alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan <i>segmental baffle</i>	105
Tabel 5. 9 Hasil <i>mesh independency test</i> suhu keluaran fluida dingin alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan <i>segmental baffle</i>	105
Tabel 5. 10 Hasil <i>mesh independency test</i> suhu keluaran fluida panas alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan <i>helical baffle</i> 20°	106
Tabel 5. 11 Hasil <i>mesh independency test</i> suhu keluaran fluida dingin alat penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan <i>helical baffle</i> 20°	106
Tabel 5. 12 Kualitas <i>mesh</i> alat penukar kalor <i>shell and tube</i> 3 <i>segmental baffle</i>	107
Tabel 5. 13 Kualitas <i>mesh</i> alat penukar kalor <i>shell and tube</i> 20° <i>helical baffle</i>	107
Tabel 5. 14 Kualitas <i>mesh</i> alat penukar kalor <i>shell and tube</i> 30° <i>helical baffle</i>	108
Tabel 5. 15 Kualitas <i>mesh</i> alat penukar kalor <i>shell and tube</i> 40° <i>helical baffle</i>	108
Tabel 5. 16 Detail <i>general set up</i> simulasi	109
Tabel 5. 17 Detail pengaturan model simulasi	110
Tabel 5. 18 Detail pengaturan metode solusi	113
Tabel 5. 19 Detail penentuan syarat konvergensi	114
Tabel 5. 20 Data suhu hasil simulasi alat penukar kalor dengan	117
Tabel 5. 21 Kalkulasi error validasi simulasi alat penukar kalor	118
Tabel 5. 22 Data suhu hasil simulasi alat penukar kalor dengan	123
Tabel 5. 23 Data suhu hasil simulasi alat penukar kalor dengan	129
Tabel 5. 24 Data suhu hasil simulasi alat penukar kalor dengan	133
Tabel 5. 25 Rangkuman hasil simulasi	138

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Datasheet</i> TEMA <i>heat exchanger</i>	147
Lampiran 2 Gambar teknik alat penukar kalor	146
Lampiran 3 Data properti material A 53 Gr. B	148
Lampiran 4 Data properti material <i>tube</i> SA316	149