

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	<b>v</b>
<b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xxv</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>xxvi</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xxxii</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>xxxii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. <i>Waste Heat Recovery Systems</i>	6
	xi

2.2.	CFD pada <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	7
2.3.	Perbandingan CFD dan Perhitungan Analitik <i>Shell and Tube</i>	12
2.4.	Perbandingan CFD, Perhitungan Analitik, dan HTRI	15
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>		<b>18</b>
3.1.	<i>Thermoacoustic Engine</i>	18
3.2.	Alat Penukar Kalor	18
3.3.	Klasifikasi Alat Penukar Kalor	19
3.3.1.	Klasifikasi Berdasarkan Konstruksi	19
3.3.2.	Klasifikasi Berdasarkan Transfer Kalor	21
3.3.3.	Klasifikasi Berdasarkan Arah Aliran Fluida	22
3.3.4.	Klasifikasi Berdasarkan Fasa Fluida	23
3.4.	Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	24
3.5.	Komponen Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	25
3.5.1.	<i>Shell</i>	26
3.5.2.	<i>Tube</i>	27
3.5.3.	<i>Head</i>	29
3.5.4.	<i>Tubesheet</i>	29
3.5.5.	<i>Baffle</i>	30
3.5.6.	<i>Tie Rod</i>	31
3.5.7.	<i>Nozzle</i>	32
3.6.	<i>Preliminary Design</i> Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i>	32
3.6.1.	Laju Perpindahan Kalor	32
3.6.2.	<i>Log Mean Temperature Difference</i>	33
3.6.3.	Faktor Koreksi LMTD	34
3.6.4.	Asumsi Koefisien Total Perpindahan Kalor	35

3.6.5.	Luasan Area Perpindahan Kalor yang Dibutuhkan	36
3.6.6.	Jumlah <i>Tubes</i>	36
3.6.7.	Diameter <i>Shell</i>	37
3.6.8.	Parameter <i>Tube Bundle</i>	37
3.6.9.	Parameter Awal <i>Baffle</i>	38
3.7.	Perhitungan Termal <i>Bell-Delaware</i>	39
3.7.1.	Parameter <i>Baffle Window</i>	40
3.7.2.	Parameter <i>Cross Flow</i>	42
3.7.3.	Parameter <i>Bundle to Shell Bypass</i>	43
3.7.4.	Parameter <i>Leakage</i>	44
3.7.5.	<i>Mass Flow Velocity</i>	45
3.7.6.	<i>Reynolds Number</i> dan <i>Prandtl Number</i>	46
3.7.7.	Koefisien Perpindahan Kalor Ideal Pada <i>Shell</i>	47
3.7.8.	Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Segmental Baffle Window</i>	49
3.7.9.	Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Baffle Leakage</i>	49
3.7.10.	Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Bypass Flow</i>	50
3.7.11.	Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Unequal Baffle Spacing</i>	50
3.7.12.	Koefisien Perpindahan Kalor pada <i>Shell</i>	51
3.7.13.	<i>Nusselt Number</i> pada <i>Tube</i>	51
3.7.14.	Koefisien Perpindahan Kalor pada <i>Tube</i>	52
3.7.15.	Koefisien Perpindahan Kalor Total	52
3.8.	Perhitungan Mekanikal Alat Penukar Kalor	53
3.8.1.	Aspek Mekanikal <i>Shell</i>	53
3.8.2.	Aspek Mekanikal <i>Nozzle</i>	54
3.8.3.	Spesifikasi <i>Flange</i>	56

3.8.4.	Ketebalan <i>Tubesheet</i> dan <i>Baffle</i>	58
3.8.5.	Spesifikasi <i>Tie Rod</i>	59
3.9.	<i>Pressure Drop</i> Bell-Delaware	59
3.9.1.	Pembagian <i>Section Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i>	60
3.9.2.	Faktor Koreksi <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> Akibat <i>Baffle Leakage</i>	60
3.9.3.	Faktor Koreksi <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> Akibat <i>Bundle Bypass</i>	60
3.9.4.	Faktor Koreksi <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> Akibat <i>Unequal Baffle Spacing</i>	61
3.9.5.	<i>Pressure Drop</i> Ideal pada <i>Shell</i>	61
3.9.6.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> di <i>Crossflow Section</i>	62
3.9.7.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> di <i>Entrance and Exit Section</i>	63
3.9.8.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> di <i>Window Section</i>	63
3.9.9.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Nozzle Shell</i>	64
3.9.10.	Total <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i>	65
3.9.11.	Faktor Gesekan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i>	65
3.9.12.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i> Akibat Gesekan	66
3.9.13.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i> Akibat <i>Turning</i>	67
3.9.14.	<i>Pressure Drop</i> pada <i>Nozzle Tube</i>	67
3.9.15.	<i>Pressure Drop</i> Total pada <i>Tube</i>	68
3.10.	HTRI Xchanger Suite	68
3.11.	<i>Computational Fluid Dynamics</i>	69
3.11.1.	<i>Governing Equation</i>	69
3.11.2.	Model Turbulensi	71
3.11.3.	<i>Mesh (Grid)</i>	73
3.12.	Efektivitas Alat Penukar Kalor	74

<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>76</b>
4.1. Langkah Penelitian	76
4.2. Alat Penelitian	78
4.2.1. <i>Hardware</i>	78
4.2.2. <i>Software</i>	78
4.3. Perancangan Alat Penukar Kalor	84
4.4. Prediksi Unjuk Kerja HTRI XChanger Suite	87
4.4.1. Pendefinisian <i>Properties</i> Fluida	87
4.4.2. Pendefinisian Parameter Kondisi Operasi & Geometri	89
4.5. Prediksi Numeris <i>Computational Fluid Dynamics</i>	90
4.5.1. Pendefinisian Geometri	90
4.5.2. Proses <i>Meshing</i>	90
4.5.3. Proses Prediksi Numeris	90
4.5.4. <i>Post Processing</i>	97
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>98</b>
5.1. <i>Preliminary Design</i> Alat Penukar Kalor	98
5.1.1. Perhitungan Laju Perpindahan Kalor dan Temperatur <i>Outlet Tube</i>	98
5.1.2. Perhitungan <i>Log Mean Temperature Difference</i>	99
5.1.3. Penentuan Faktor Koreksi dan <i>LMTD Corrected</i>	99
5.1.4. Asumsi Koefisien Perpindahan Kalor Total	100
5.1.5. Perhitungan Luas Area Perpindahan Kalor	101
5.1.6. Perhitungan Jumlah <i>Tube</i> yang Dibutuhkan	102
5.1.7. Penentuan Diameter <i>Shell</i>	102
5.1.8. Penentuan Parameter <i>Tube Bundle</i>	103

5.1.9.	Penentuan Parameter Awal <i>Baffle</i>	104
5.2.	Perhitungan Termal Bell-Delaware	104
5.2.1.	Perhitungan Parameter <i>Baffle Window</i>	105
5.2.2.	Perhitungan Parameter <i>Cross Flow</i>	106
5.2.3.	Perhitungan Parameter <i>Bundle to Shell Bypass</i>	106
5.2.4.	Perhitungan Parameter <i>Leakage</i>	107
5.2.5.	Perhitungan <i>Mass Flow Velocity</i>	108
5.2.6.	Perhitungan <i>Reynolds Number</i> dan <i>Prandtl Number</i>	109
5.2.7.	Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Ideal pada <i>Shell</i>	110
5.2.8.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Segmental Baffle Window</i>	110
5.2.9.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Baffle Leakage</i>	111
5.2.10.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Bypass Flow</i>	111
5.2.11.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Heat Transfer</i> Akibat <i>Unequal Baffle Spacing</i>	112
5.2.12.	Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor pada <i>Shell</i>	113
5.2.13.	Perhitungan <i>Nusselt Number</i> pada <i>Tube</i>	113
5.2.14.	Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor pada <i>Tube</i>	113
5.2.15.	Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Total	113
5.3.	Perhitungan Mekanikal Alat Penukar Kalor	114
5.3.1.	Perhitungan Mekanikal <i>Shell</i>	115
5.3.2.	Perhitungan Mekanikal <i>Nozzle</i>	115
5.3.3.	Penentuan Spesifikasi <i>Flange</i>	117
5.3.4.	Penentuan Ketebalan <i>Tubesheet</i> dan <i>Baffle</i>	121
5.3.5.	Penentuan Spesifikasi <i>Tie Rod</i>	121

5.4.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Bell-Delaware	121
5.4.1.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> Akibat <i>Baffle Leakage</i>	122
5.4.2.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> Akibat <i>Bundle Bypass</i>	122
5.4.3.	Perhitungan Faktor Koreksi <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> Akibat <i>Unequal Baffle Spacing</i>	123
5.4.4.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Ideal <i>Shell</i>	123
5.4.5.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> di <i>Crossflow Section</i>	124
5.4.6.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> di <i>Entrance and Exit Section</i>	124
5.4.7.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i> di <i>Window Section</i>	124
5.4.8.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Nozzle Shell</i>	125
5.4.9.	Perhitungan Total <i>Pressure Drop</i> pada <i>Shell</i>	126
5.4.10.	Perhitungan Faktor Gesekan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i>	126
5.4.11.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i> Akibat Gesekan	126
5.4.12.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i> Akibat <i>Turning</i>	126
5.4.13.	Perhitungan <i>Pressure Drop</i> pada <i>Nozzle Tube</i>	126
5.4.14.	Perhitungan Total <i>Pressure Drop</i> pada <i>Tube</i>	127
5.5.	Perhitungan Efektivitas Alat Penukar Kalor Hasil Perancangan	127
5.6.	Prediksi Unjuk Kerja HTRI Xchanger Suite	128
5.7.	Prediksi Numeris <i>Computational Fluid Dynamics</i>	129
5.7.1.	Pembuatan Domain Prediksi Numeris	129
5.7.2.	<i>Mesh Independency</i> dan Kualitas <i>Mesh</i>	129
5.7.3.	Peninjauan <i>Residual Monitor</i>	131
5.7.4.	Peninjauan Kesetimbangan Massa	131

5.7.5.	Peninjauan Kesetimbangan Energi	132
5.7.6.	Hasil Prediksi Numeris Computational Fluid Dynamics	133
5.8.	Perbandingan Hasil Perancangan, HTRI, dan CFD	139
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>146</b>
6.1.	Kesimpulan	146
6.2.	Saran	147
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>148</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>152</b>