

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii
HALAMAN MOTO .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xvi
INTISARI.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	3
I.3. Batasan Masalah .....	4
I.4. Tujuan Penelitian .....	5
I.5. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1. Limbah Medis.....	6
II.2. Insinerator.....	7
II.3. Alat Penukar Kalor .....	8
BAB III DASAR TEORI .....	11
III.1. Limbah Medis .....	11
III.1.1. Pengertian dan Klasifikasi Limbah Medis .....	11
III.1.2. Pengelolaan Limbah Medis.....	11
III.1.3. Komposisi Senyawa Penyusun Limbah Medis .....	12
III.2. Insinerator .....	13
III.2.1. Komponen Insinerator.....	13
III.2.2. Skema Kerja Insinerator dengan Penambahan <i>Boiler</i> .....	15
III.3. Proses Pembakaran.....	17
III.3.1. Teori Pembakaran .....	17
III.3.2. Bahan Bakar .....	18



III.3.3. Perhitungan Material Pembakaran .....	19
III.3.3.1. Perhitungan Mol.....	19
III.3.3.2. Komposisi Campuran.....	19
III.3.4. Perhitungan Kebutuhan Udara Pembakaran .....	20
III.3.4.1. Perhitungan Udara Kering.....	21
III.3.4.2. Perhitungan Udara Lembab.....	21
III.3.4.3. Perhitungan Udara Aktual.....	22
III.3.5. Perhitungan Proses Pembakaran .....	22
III.3.5.1. <i>Heating Value</i> .....	22
III.3.5.2. Nilai Kalor Pembakaran .....	23
III.3.6. Perhitungan <i>Flue Gas</i> Hasil Pembakaran .....	24
III.3.6.1. Keseimbangan Reaksi Oksidasi Bahan Bakar .....	24
III.3.6.2. Perhitungan Laju Aliran <i>Flue Gas</i> Hasil Pembakaran .....	25
III.4. Alat Penukar Kalor.....	26
III.4.1. Pengertian Alat Penukar Kalor.....	26
III.4.2. Klasifikasi Alat Penukar Kalor .....	26
III.4.2.1. Klasifikasi Berdasarkan Konstruksi.....	26
III.4.2.2. Klasifikasi Berdasarkan Kontak Perpindahan Kalor Antar Fluida .....	27
III.4.2.3. Klasifikasi Berdasarkan Mekanisme Perpindahan Kalor.....	27
III.4.2.4. Klasifikasi Berdasarkan Arah Aliran Fluida .....	27
III.4.2.5. Klasifikasi Berdasarkan Fase Fluida .....	28
III.4.2.6. Klasifikasi Berdasarkan Fungsi .....	29
III.5. Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i> .....	29
III.5.1. Standar Perancangan Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i> .....	30
III.5.2. Klasifikasi Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i> .....	30
III.5.3. Bagian-Bagian Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i> .....	32
III.5.3.1. <i>Shell</i> .....	32
III.5.3.2. <i>Tube</i> .....	32
III.5.3.3. <i>Baffle</i> .....	35
III.5.3.4. <i>Header</i> .....	35
III.5.3.5. <i>Tubesheet</i> .....	36



III.5.3.6. <i>Nozzles</i> .....	37
III.5.4. <i>Superheater</i> .....	37
III.5.4.1. Pengertian <i>Superheater</i> .....	37
III.5.4.2. Sistem <i>Superheater</i> Ideal .....	37
III.6. Perhitungan Termodinamika Alat Penukar Kalor .....	38
III.6.1. Keseimbangan Energi dan Beban Kalor .....	38
III.6.2. Metode Log Mean Temperature Differences .....	39
III.6.3. Nilai Koefisien Perpindahan Kalor Fluida Kerja .....	40
III.6.4. Luas Area Perpindahan Kalor .....	41
III.7. Perhitungan Perancangan Detail Alat Penukar Kalor .....	41
III.7.1. Perhitungan Sisi <i>Shell</i> .....	41
III.7.1.1. Geometri <i>Shell</i> .....	41
III.7.1.2. Luas Aliran Fluida Sisi <i>Shell</i> .....	42
III.7.1.3. Laju Aliran Massa Fluida Per Satuan Luas Sisi <i>Shell</i> .....	42
III.7.1.4. Laju Aliran Linear Fluida Sisi <i>Shell</i> .....	43
III.7.1.5. Bilangan Reynolds Sisi <i>Shell</i> .....	43
III.7.1.6. Bilangan Prandtl Sisi <i>Shell</i> .....	44
III.7.1.7. Bilangan Nusselt Sisi <i>Shell</i> .....	44
III.7.1.8. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Sisi <i>Shell</i> .....	45
III.7.1.9. Pressure Drop Sisi <i>Shell</i> .....	45
III.7.2. Perhitungan Sisi <i>Tube</i> .....	45
III.7.2.1. Geometri <i>Tube</i> .....	45
III.7.2.2. Luas Aliran Fluida Sisi <i>Tube</i> .....	46
III.7.2.3. Kecepatan Massa Fluida Per Satuan Luas Sisi <i>Tube</i> .....	46
III.7.2.4. Kecepatan Linear Aliran Fluida Sisi <i>Tube</i> .....	47
III.7.2.5. Bilangan Reynolds Sisi <i>Tube</i> .....	47
III.7.2.6. Bilangan Prandtl Sisi <i>Tube</i> .....	47
III.7.2.7. Faktor Koreksi Sisi <i>Tube</i> .....	48
III.7.2.8. Bilangan Nusselt Sisi <i>Tube</i> .....	48
III.7.2.9. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Sisi <i>Tube</i> .....	48
III.7.2.10. Perhitungan <i>Pressure Drop</i> Sisi <i>Tube</i> .....	48
III.7.3. Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh .....	49



III.7.4. Geometri <i>Head</i> , <i>Nozzle</i> , dan <i>Flange</i> .....	49
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN .....	51
IV.1. Alat dan Kebutuhan Penelitian .....	51
IV.2. Tata Laksana Penelitian .....	51
IV.2.1. Studi Literatur .....	55
IV.2.2. Pengumpulan Data Perancangan.....	55
IV.2.2.1. Kapasitas Insinerator.....	55
IV.2.2.2. Data Komposisi Limbah Medis Infeksius .....	55
IV.2.2.3. Data Fluida Kerja Alat Penukar Kalor.....	56
IV.2.3. Pengolahan Data Perancangan Alat Penukar Kalor.....	56
IV.2.3.1. Perhitungan Proses Pembakaran Limbah .....	57
IV.2.3.2. Perhitungan Perancangan Alat Penukar Kalor.....	57
IV.2.3.3. Analisis Pengaruh Variasi <i>Tube Pitch</i> pada Hasil Perhitungan .	58
IV.2.4. Pembuatan Gambar Teknik.....	59
IV.2.5. Penarikan Kesimpulan .....	59
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	60
V.1. Hasil Penelitian .....	60
V.1.1. Perhitungan Laju Aliran Massa Dan Mol Material Insinerasi .....	60
V.1.2. Perhitungan Kebutuhan Reaktan Dan Pembentukan Produk Hasil Pembakaran, Kalor Pembakaran, dan <i>Low Heating Value</i> .....	61
V.1.3. Perhitungan Laju Aliran Udara Kebutuhan Pembakaran Total .....	63
V.1.4. Pehitungan Proses Pada Ruang Pembakaran Pertama .....	64
V.1.5. Keseimbangan Energi Dan Massa Ruang Pembakaran Kedua.....	66
V.1.6. Skema Keseimbangan Energi Sistem Insinerator Pengolahan Limbah Medis dengan Penambahan Komponen <i>Boiler</i> .....	68
V.1.7. Data Kebutuhan Perancangan Alat Penukar Kalor .....	69
V.1.8. Analisis Pengaruh Rasio <i>Tube Pitch</i> Terhadap Performa <i>Superheater</i> .....	70
V.1.9. Perhitungan Perancangan Alat Penukar Kalor .....	74
V.2. Spesifikasi dan Gambar <i>Superheater</i> .....	74
V.2.1. Spesifikasi <i>Supeheater</i> .....	74
V.2.2. Gambar <i>Superheater</i> .....	76
V.3. Pembahasan.....	78



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	83
VI.1. Kesimpulan .....	83
VI.2. Saran .....	84
DAFTAR PUSTAKA .....	85
LAMPIRAN.....	88
LAMPIRAN A MATERIAL .....	89
LAMPIRAN B TERMODINAMIKA .....	90
LAMPIRAN C STANDAR DESAIN MEKANIKAL .....	91
LAMPIRAN D GAMBAR TEKNIK ALAT PENUKAR KALOR .....	105
LAMPIRAN E PERHITUNGAN DESAIN ALAT PENUKAR KALOR .....	113



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1.</b> Komposisi utama limbah medis [10] .....	12
<b>Tabel 3. 2.</b> Persentase massa komposisi limbah medis [11].....	12
<b>Tabel 3. 3.</b> Komposisi udara kering [23] .....	20
<b>Tabel 4. 1.</b> Komposisi limbah medis infeksius [10].....	55
<b>Tabel 4. 2.</b> Data fluida kerja [23] .....	56
<b>Tabel 5. 1.</b> Hasil perhitungan laju aliran massa material insinerasi .....	60
<b>Tabel 5. 2.</b> Hasil perhitungan laju aliran mol material insinerasi.....	61
<b>Tabel 5. 3.</b> Hasil perhitungan mol reaktan dan produk hasil insinerasi .....	61
<b>Tabel 5. 4.</b> Hasil perhitungan <i>low heating value</i> dan kalor pembakaran material	62
<b>Tabel 5. 5.</b> Laju aliran tiap komponen udara kering.....	63
<b>Tabel 5. 6.</b> Hasil perhitungan laju aliran udara pembakaran.....	63
<b>Tabel 5. 7.</b> Neraca kesetimbangan massa ruang pembakaran pertama .....	65
<b>Tabel 5. 8.</b> Neraca kesetimbangan energi ruang pembakaran pertama .....	65
<b>Tabel 5. 9.</b> Data <i>flue gas</i> ruang pembakaran pertama .....	66
<b>Tabel 5. 10.</b> Neraca kesetimbangan massa ruang pembakaran kedua.....	67
<b>Tabel 5. 11.</b> Neraca kesetimbangan energi ruang pembakaran kedua .....	67
<b>Tabel 5. 12.</b> Laju aliran <i>flue gas</i> ruang pembakaran dua.....	67
<b>Tabel 5. 13.</b> Data kebutuhan perancangan alat penukar kalor.....	69
<b>Tabel 5. 14.</b> Hasil perhitungan alat penukar kalor dengan varisai <i>tube pitch</i> .....	70
<b>Tabel 5. 15.</b> Spesifikasi <i>superheater</i> .....	74
<b>Tabel 5. 16.</b> Dimensi komponen tambahan <i>superheater</i> .....	76



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3. 1.</b> Skema insinerator <i>multiple chamber</i> [20] .....	14
<b>Gambar 3. 2.</b> Skema insinerator dengan penambahan <i>boiler</i> [22] .....	15
<b>Gambar 3. 3.</b> Skema aliran alat penukar kalor: (a) searah, (b) berlawanan, (c) menyilang [5] .....	28
<b>Gambar 3. 4.</b> Skema alat penukar kalor tipe <i>shell and tube</i> [5] .....	30
<b>Gambar 3. 5.</b> Kontruksi alat penukar kalor tipe <i>shell and tube</i> [27] .....	31
<b>Gambar 3. 6.</b> <i>E one-pass shell</i> [27] .....	32
<b>Gambar 3. 7.</b> <i>Longitudinal</i> dan <i>transversal tube pitch</i> [8] .....	34
<b>Gambar 3. 8.</b> Tipe <i>tube layout</i> [27] .....	34
<b>Gambar 3. 9.</b> Tipe-tipe <i>baffle</i> pada alat penukar kalor <i>shell and tube</i> : (a) <i>segmental baffle</i> , (b) <i>disc and doughnut baffle</i> , dan (c) <i>orifice baffle</i> [26].....	35
<b>Gambar 3. 10.</b> Tipe <i>front head</i> menurut TEMA [27] .....	36
<b>Gambar 3. 11.</b> <i>Tubesheet</i> pada alat penukar kalor tipe <i>shell and tube</i> [25] .....	36
<b>Gambar 3. 12.</b> Profil suhu: (a) aliran searah dan (b) aliran berlawanan [26] .....	39
<b>Gambar 3. 13.</b> Tipe desain <i>flange</i> untuk <i>rating 150</i> [32] .....	50
 <b>Gambar 4. 1.</b> Diagram alir penelitian .....	 54
 <b>Gambar 5. 1.</b> Aliran ruang pembakaran pertama.....	 64
<b>Gambar 5. 2.</b> Aliran ruang pembakaran kedua.....	66
<b>Gambar 5. 3.</b> Skema dan properti <i>steam process</i> .....	68
<b>Gambar 5. 4.</b> Siklus <i>rankine steam process</i> .....	69
<b>Gambar 5. 5.</b> Grafik pengaruh <i>tube pitch</i> terhadap <i>pressure drop</i> .....	72
<b>Gambar 5. 6.</b> Grafik pengaruh <i>tube pitch</i> terhadap koefisien perpindahan kalor	73
<b>Gambar 5. 7.</b> Tampak luar dan potongan <i>superheater</i> .....	76
<b>Gambar 5. 8.</b> <i>Tubesheet</i> .....	77
<b>Gambar 5. 9.</b> <i>Shell</i> .....	77
<b>Gambar 5. 10.</b> <i>Header</i> .....	78



**Gambar 5. 11.** Baut dan mur *flange*..... 78

