

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
INTISARI	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 <i>Thermal Energy Storage</i>	13

3.2	<i>Latent Heat Thermal Energy Storage</i>	14
3.3	<i>Phase Change Material</i>	14
3.3.1	<i>Paraffin</i>	15
3.3.2	<i>Zeolit</i>	15
3.3.3	<i>Requirements PCM</i>	16
3.3.4	<i>Karakterisasi PCM</i>	16
3.3.5	<i>Kriteria Termodinamik</i>	17
3.4	<i>Alat Penukar Kalor</i>	17
3.5	<i>Alat Penukar Kalor Shell and Tube</i>	20
3.6	<i>Perhitungan pada Alat Penukar Kalor Shell and Tube</i>	23
3.6.1	<i>Laju Perpindahan Kalor</i>	23
3.6.2	<i>Jumlah Kalor Masuk</i>	24
3.6.3	<i>Jumlah Kalor yang Disimpan oleh PCM</i>	24
3.6.4	<i>Log Mean Temperature Difference (LMTD)</i>	25
3.6.5	<i>Penentuan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh</i>	26
3.6.6	<i>Luas Permukaan Perpindahan Kalor</i>	26
3.6.7	<i>Perhitungan Jumlah Tube yang Dibutuhkan</i>	26
3.6.8	<i>Diameter Ekuivalen Shell</i>	27
3.6.9	<i>Efisiensi pada Proses Charging</i>	29
3.6.10	<i>Kecepatan Alir dalam Shell</i>	30
3.6.11	<i>Laju Flux Massa dalam Shell</i>	30
3.6.12	<i>Bilangan Reynolds</i>	31
3.6.13	<i>Bilangan Prandtl</i>	32
3.6.14	<i>Bilangan Nusselt</i>	32
3.6.15	<i>Koefisien Konveksi di Shell</i>	32
3.6.16	<i>Pressure Drop</i>	33
3.7	<i>Konduksi</i>	33
3.8	<i>Konveksi Alami</i>	33

BAB IV METODE PENELITIAN 35

4.1	<i>Diagram Alir Penelitian</i>	35
-----	--------------------------------	----

4.2	Alat Penelitian	36
4.2.1	<i>Hardware</i>	36
4.2.2	<i>Software</i>	36
4.2.3	<i>Autodesk Inventor Professional</i>	37
4.3	Objek Penelitian	38
4.4	Variabel Penelitian	39
4.4.1	Variabel Dependen	39
4.4.2	Variabel Independen	39
4.5	Alur Prosedur Perhitungan <i>Heat Exchanger</i>	39
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
5.1	Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe <i>Shell and Tube</i> untuk <i>Latent Heat Storage System</i>	41
5.1.1	Laju Perpindahan Kalor	41
5.1.2	Perhitungan Jumlah Kalor Masuk Selama Proses <i>Charging</i>	41
5.1.3	Perhitungan Massa <i>Phase Change Material</i> yang Dibutuhkan	42
5.1.4	Perhitungan LMTD	42
5.1.5	Perhitungan Luas Perpindahan Kalor	43
5.1.6	Penentuan <i>Layout</i> Susunan <i>Tube</i> , Diameter Luar Jarak <i>Pitch</i> antar <i>Tube</i> , dan Panjang <i>Tube</i>	43 <i>Tube</i> ,
5.1.7	Perhitungan Jumlah <i>Tube</i>	43
5.1.8	Koreksi Nilai A dan U	43
5.1.9	Perhitungan Diameter Ekuivalen <i>Shell</i>	44
5.1.10	Perhitungan Kalor yang Diserap oleh PCM	44
5.1.11	Perhitungan Efisiensi dari <i>Latent Heat Storage</i>	44
5.1.12	Perhitungan Laju Aliran di dalam <i>Shell</i>	45
5.1.13	Perhitungan Bilangan Reynolds <i>Shell</i>	45
5.1.14	Perhitungan Bilangan Prandtl	46
5.1.15	Bilangan Nusselt <i>Shell</i>	46

5.1.16 Perhitungan Koefisien Konveksi di <i>Shell</i>	46
5.1.17 Perhitungan <i>Pressure Drop</i> di <i>Shell</i>	47
5.2 Variasi Laju Aliran	47
5.3 Variasi Temperatur Inlet	51
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	 55
6.1 Kesimpulan	55
6.2 Saran	56
 DAFTAR PUSTAKA	 57
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Temperatur PCM pada tiap titik pengukuran di eksperimen dan simulasi (<i>Monia dkk, 2014</i>)	7
Gambar 2.2. Temperatur PCM pada tiap titik pengukuran selama proses <i>discharge</i> (<i>Monia dkk, 2014</i>)	7
Gambar 2.3. Variasi dalam penyimpanan kalor dengan <i>solar irradiances</i> yang berbeda (<i>Monia dkk, 2014</i>)	8
Gambar 2.4. <i>Water heating system</i> (Kumar, 2001)	9
Gambar 2.5. <i>Water heating system</i> (Kumar, 2001)	9
Gambar 2.6. <i>Cross-Section</i> dari unit penyimpanan dengan PCM dan kolektor (Kumar, 2001)	9
Gambar 2.7. Efek ketebalan PCM dalam exergy yang hancur (<i>Mouna dkk, 2017</i>)	10
Gambar 2.8. Efek ketebalan PCM terhadap efisiensi energy dan exergy (<i>Mouna dkk, 2017</i>)	11
Gambar 2.9. Efek ketebalan PCM dalam energy yang tersimpan (<i>Mouna dkk, 2017</i>)	11
Gambar 3.1. Proses untuk menggunakan zeolite GSA sebagai media penyimpan kalor (GSA, 2000)	15
Gambar 3.2. Skema kerja masing-masing kriteria alat penukar kalor (Kakac, 2012)	20
Gambar 3.3. Pola susunan <i>tube</i>	21
Gambar 3.4. Bentuk <i>baffle single-segmental, double-segmental, dan disc and doughnut</i>	22
Gambar 3.5. Alat penukar kalor <i>Shell and Tube</i>	22
Gambar 3.6. Konstruksi standar alat penukar kalor <i>shell and tube</i> menurut TEMA (TEMA, 2009)	23
Gambar 3.7. Grafik hubungan temperatur fluida dan PCM di dalam TES	25

Gambar 3.8. Diameter ekuivalen (Kern, 1950)	29
Gambar 4.1. Diagram alir penelitian	35
Gambar 4.2. Tampilan antarmuka Microsoft excel	37
Gambar 4.3. Tampilan antarmuka autodesk inventor professional	37
Gambar 5.1. Grafik hubungan nilai laju aliran, efisiensi, dan diameter luar <i>tube</i>	50
Gambar 5.2. Grafik hubungan temperature inlet dari air, efisiensi, dan diameter luar <i>tube</i>	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Geometri <i>tube</i> (Kern, 1958)	28
Tabel 4.1.	Spesifikasi komputer	36
Tabel 4.2.	Data properti <i>phase change material</i>	38
Tabel 4.3.	Data properti air	38
Tabel 5.1.	Properti termodinamika dengan laju aliran 0,667 kg/s	47
Tabel 5.2.	Properti termodinamika dengan laju aliran 0,13 kg/s	48
Tabel 5.3.	Properti termodinamika dengan laju aliran 0,2 kg/s	49
Tabel 5.4.	Properti termodinamika dengan temperature inlet 75 °C	51
Tabel 5.5.	Properti termodinamika dengan temperature inlet 90 °C	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi <i>Tube</i>	58
Lampiran 2. Grafik Bilangan Reynolds terhadap Nilai Faktor Gesekan untuk <i>Shell</i>	59
Lampiran 3. Gambar <i>Heat Exchanger</i> dengan Diameter Luar <i>Tube</i> $\frac{3}{4}$ Inchi	60
Lampiran 4. Gambar <i>Heat Exchanger</i> dengan Diameter Luar <i>Tube</i> 1 Inchi	61

DAFTAR NOTASI

A	: Luasan yang dibutuhkan (m^2)
A_s	: luas aliran pada <i>shell</i> (m^2)
a''	: nilai luasan luar per panjang <i>tube</i> (m^2/m)
C	: nilai <i>clearance</i> pada <i>shell</i> (m)
c_h	: kalor jenis fluida panas (kJ/kg.K)
C_{pcm}	: Kalor jenis PCM (kJ/kg.K)
$C_{p,s}$: kalor jenis fluida di <i>shell</i> (j/kg.K)
d_e	: diameter ekuivalen (m)
$d_{i,s}$: diameter dalam dari <i>shell</i> (m)
$d_{o,t}$: diameter luar tube (m)
f	: faktor gesekan
G_s	: laju flux massa di dalam <i>shell</i> (kg/m ² s)
h_{oc}	: koefisien konveksi di <i>shell</i> (W/m ² .K)
k	: konduktivitas termal fluida (W/m.K)
L	: panjang <i>tube</i> (m)
L_s	: panjang <i>shell</i> (m)
\dot{m}_h	: laju aliran massa dari fluida panas (kg/s)
m_{pcm}	: massa total PCM (kg)
N	: jumlah <i>baffle</i> di dalam <i>shell</i>
N_t	: jumlah <i>tube</i> yang dibutuhkan
Nu	: bilangan nusselt
Pr	: bilangan Prandtl
P_t	: <i>tube pitch</i> (m)
ΔP_s	: nilai <i>pressure drop</i> (psi)
\dot{Q}	: laju perpindahan kalor (kJ/s)
Q_a	: kalor yang diserap oleh material penyimpanan (kJ)
Q_{in}	: jumlah kalor yang ditransfer oleh fluida panas (kJ)
Q_l	: kalor yang hilang (kJ)

Q_{pcm}	: jumlah kalor yang diserap oleh PCM (kJ)
Re_s	: bilangan Reynolds di <i>shell</i>
s	: nilai <i>specific gravity</i> dari fluida di dalam <i>shell</i>
$T_{h,in}$: suhu saluran masuk fluida panas (K)
$T_{h,out}$: suhu saluran keluar fluida panas (K)
T_i	: Temperatur ujung PCM (<i>inlet</i> fluida) (K)
T_0	: Temperatur awal PCM (K)
Δt	: lama waktu proses <i>charging</i> (detik)
ΔT_{LMTD}	: <i>log mean temperature difference</i> (K)
ΔT_1	: selisih suhu fluida pada sisi pertama (K)
ΔT_2	: selisih suhu fluida pada sisi kedua (K)
U	: Koefisien perpindahan kalr menyeluruh prediksi (W/m ² K)
u_s	: kecepatan alir dalam <i>shell</i> (m/s)
λ	: Kalor laten yang dibutuhkan PCM untuk berubah fase (kJ/kg)
η	: efisiensi termal (%)
ρ	: massa jenis fluida di dalam <i>shell</i> (kg/m ³)
μ	: viskositas dinamis fluida di <i>shell</i> (Pa.s)