

**INVESTIGASI LAJU PEMADATAN GARAM SEBAGAI BAHAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM) DENGAN SIFAT FISIK VARIABEL
MENGUNAKAN MODEL NUMERIK ENTALPI POROSITAS**



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

NUR SYAH IBRAHIM

NIM: 41322120032

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2024**

LAPORAN TUGAS AKHIR

INVESTIGASI LAJU PEMADATAN GARAM SEBAGAI BAHAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM) DENGAN SIFAT FISIK VARIABEL MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK ENTALPI POROSITAS



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun Oleh:

Nama : Nur Syah Ibrahim
NIM : 41322120032
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S-1)
DESEMBER 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Nur Syah Ibrahim

NIM : 41322120032

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Laporan Skripsi : Investigasi Laju Pemadatan Garam Sebagai *Phase Change Material* (PCM) Dengan Sifat Fisik Variabel Menggunakan Model Numerik Entalpi Porositas

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian pernyataan yang diperlukan memperoleh gelar sarjana strata 1 pada program Studi Teknik Mesin, Fakultas Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh :

Pembimbing : Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng.


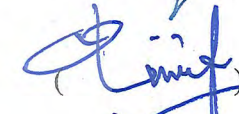

NIDN : 0314109101

Penguji 1 : Wiwit Suprihatiningsih, S.Si., M.Si.

NIDN : 0307078004

Penguji 2 : Haris Wahyudi S.T., M.Sc.

NIDN : 0329037803

()



Jakarta, 19 Desember 2024

Mengetahui

→ Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)

NIDN. 0307037202

Ketua Program Studi



(Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T.)

NIDN. 0005087502

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini.,

Nama : Nur Syah Ibrahim
NIM : 41322120032
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : Investigasi Laju Pemadatan Garam Sebagai *Phase Change Material* (PCM) Dengan Sifat Fisik Variabel Menggunakan Model Numerik Entalpi Porositas

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Iaporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Karawang, 19 Desember 2024



(Nur Syah Ibrahim)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji Syukur kepada Allah SWT karena berkat kasih dan rahmatnya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “INVESTIGASI LAJU PEMADATAN GARAM SEBAGAI BAHAN *PHASE CHANGE MATERIAL* (PCM) DENGAN SIFAT FISIK VARIABEL MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK ENTALPI POROSITAS” dapat diselesaikan tepat waktu meskipun masih sederhana dan perlu dilakukan penyempurnaan.

Dalam menjalani Tugas Akhir dan penyusunan laporan ini penulis banyak menerima bantuan, pengarahan serta bimbingan dari beberapa pihak. Pada kesempatan ini dengan redah hati penulis mengucapkan terima kasih untk pihak yang telah berjasa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Gilang Awan Yudhistira, S.T., M.T., selaku koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Sagir Alva, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku Koordinator Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
6. Bapak Alief Avicena Luthfie, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi ajaran dan pengarahan selama proses pembuatan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Mesin atas ilmu, dan wawasan yang diajarkan selama ini.
8. Kedua orang tua serta keluarga yang memberi dukungan dalam doa, moral, maupun materil yang telah diberikan dari awal hingga akhir.
9. Teman-teman Teknik mesin Universitas Mercu Buana angkatan 2022 yang merelakan waktunya untuk membantu memberikan bantuan maupun saran dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.

Penulis menyadari, Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat.

Karawang, 19 Desember 2024
Penulis,



Nur Syah Ibrahim



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ABSTRAK

Dewasa ini, material garam sebagai *phase change material* (PCM) pada sebuah *Thermal Energy Storage* (TES) dapat melepas energi thermal dengan proses pemadatan. Proses pemadatan telah banyak dilakukan investigasi baik menggunakan metode eksperimental maupun metode numerik. Metode numerik yang banyak digunakan untuk menyimulasikan proses pemadatan garam adalah menggunakan model numerik entalpi porositas. Namun dalam penggunaan metode ini masih banyak menggunakan sifat fisik material (densitas dan viskositas) konstan selama proses pemadatan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi laju pemadatan garam sebagai PCM dengan sifat fisik variabel pada model numerik entalpi porositas. Metode ini menampilkan perubahan fase yang dimodelkan dalam perubahan entalpi di dalam media berpori. Adapun garam yang digunakan pada penelitian ini adalah kalium klorida (KCl), natrium klorida (NaCl) dan litium klorida (LiCl). Sifat fisik garam (densitas dan viskositas) dinyatakan sebagai fungsi temperatur untuk menangkap perubahan berdasarkan perubahan temperatur. Penggunaan domain komputasi berbentuk pipa konsentris dengan asumsi garam berada di dalam anulus dan memenuhi ruang domain tersebut. Kondisi batas yang digunakan berupa adiabatik pada dinding luar dan temperatur konstan di dinding bagian dalam yang mewakili temperatur aliran *Heat Transfer Fluid* (HTF). Hasil Investigasi simulasi model entalpi porositas dari garam KCl, NaCl, dan LiCl berdasarkan fungsi temperatur memiliki waktu pemadatan garam KCl selama 1620 s, LiCl 2360 s dan NaCl 2150 s dan laju pemadatan yang diamati pada proses awal membentuk kurva lembah dan kemudian membentuk kurva bukit selama proses pemadatan. Perbandingan waktu dari sifat fisik konstan dengan sifat fisik variabel memiliki perbandingan waktu pemadatan yaitu sifat fisik variabel yang diamati lebih cepat, dengan deviasi 3,6% untuk KCl, 8,5% LiCl dan 21,2% untuk NaCl. Sehingga hal ini menunjukkan perubahan sifat fisik terhadap temperatur tidak dapat diabaikan pada pemodelan proses pemadatan dan garam KCl merupakan garam yang cocok sebagai PCM untuk *thermal energy storage* (TES) karena waktu pemadatan yang paling cepat.

Kata Kunci : laju pemadatan garam, PCM, model numerik entalpi porositas, variabel sifat fisik

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**SOLIDIFICATION RATE INVESTIGATION OF SALT AS A PHASE CHANGE
MATERIAK (PCM) WITH VARIABLE PHYSICAL PROPERTIES USING
POROSITY ENTHALPY NUMERICAL MODEL**

ABSTRACT

Currently, Salt material as a phase change material (PCM) in a Thermal Energy Storage (TES) can release thermal energy by the solidification process. The solidification process has been investigated using both experimental and numerical methods. A numerical method that is widely used to simulate the salt solidification process is to use a numerical model of porosity enthalpy. However, in the use of this method, there are still many physical properties of the material (density and viscosity) that are constant during the solidification process. Based on this, this study aims to investigate the rate of salt solidification as PCM with variable physical properties in the numerical model of porosity enthalpy. This method displays a modeled phase change in enthalpy changes within a porous medium. The salts used in this study are potassium chloride (KCl), sodium chloride (NaCl) and lithium chloride (LiCl). The physical properties of salts (density and viscosity) are expressed as a function of temperature to capture changes based on temperature changes. The use of the computational domain is in the form of a concentric pipe assuming that the salt is inside the annulus and fills the space of the domain. The boundary conditions used are adiabatic on the outer wall and a constant temperature on the inner wall which represents the heat transfer fluid (HTF) flow temperature. Results The simulation of the porosity enthalpy model of KCl, NaCl, and LiCl salts based on the temperature function has a solidification time of KCl salt for 1620 s, LiCl 2360 s and NaCl 2150 s and the solidification rate observed in the initial process forms a valley curve and then forms a hill curve during the solidification process. The comparison of the time of constant physical properties with the physical properties of variables had a comparison of solidification time, i.e. the physical properties of the variables that were observed faster, with a deviation of 3.6% for KCl, 8.5% for LiCl and 21.2% for NaCl. So this shows that changes in physical properties to temperature cannot be ignored in the modeling of the solidification process and KCl salt is a suitable salt as PCM as untuk thermal energy storage (TES) because of the fastest solidification time.

Keywords : salt solidification rate, PCM, numerical model of porosity enthalpy, physical sifat fisik variable

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. <i>THERMAL ENERGY STORAGE</i> (TES)	9
2.3. <i>PHASE CHANGE MATERIAL</i> (PCM)	13
2.3.1. PCM Organik	14
2.3.2. PCM Anorganik	14
2.4. PROSES PEMADATAN PCM	20
2.5. METODE NUMERIK ENTALPI POROSITAS	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1. DIAGRAM ALIR	25
3.2. SIMULASI PEMADATAN MODEL NUMERIK ENTALPI POROSITAS	26
3.2.1. Pembuatan Domain Komputasi	27
3.2.2. Perhitungan Sifat Fisik Densitas Garam	30
3.2.3. Perhitungan Sifat Fisik Viskositas Garam	31
3.2.4. Pengaturan dan Perhitungan Temperatur Garam	33
3.3. PROSES PERHITUNGAN DAN INVESTIGASI LAJU PEMADATAN	34

3.4.	ALAT DAN BAHAN	34
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1.	LAJU PEMADATAN GARAM DENGAN SIFAT FISIK VARIABEL	36
4.2.	PERBANDINGAN HASIL SIFAT FISIK KONSTAN DAN VARIABEL	38
	4.2.1. Perbandingan Waktu Pemasatan antara Sifat Fisik Variabel dengan konstan	38
	4.2.2. Perbandingan laju Pemasatan antara Sifat Fisik Variabel dengan konstan	39
4.3.	PEMBAHASAN	41
	4.3.1 Evaluasi Nilai Error Waktu Pemasatan Sifat Fisik Variabel Dengan Sifat Fisik Konstan	41
	4.3.2 Evaluasi Nilai Error Laju Pemasatan Sifat Fisik Variabel Dengan Sifat Fisik Konstan	42
BAB V	PENUTUP	44
5.1.	KESIMPULAN	44
5.2.	SARAN	45
	DAFTAR PUSTAKA	46
	LAMPIRAN	49
	LAMPIRAN HASIL PERHITUNGAN	50
	LAMPIRAN B. DATA HASIL SIMULASI	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagan metode thermal energy storage	10
Gambar 2.2 Grafik penyimpanan sensible heat storage	10
Gambar 2.3 Grafik penyimpanan Latent heat storage	11
Gambar 2.4 Prinsip Proses thermal energy storage	11
Gambar 2.5 a) Sistem Lengkap b) Modul tunggal dipertimbangkan untuk simulasi	12
Gambar 2.6. Klasifikasi material penyimpan panas	13
Gambar 2.7 Proses kristalisasi material	20
Gambar 2.8 Proses peleburan dan pemadatan PCM	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Simulasi Pemadatan Model Numerik Entalpi Porositas	27
Gambar 3. 3 Penampang penyimpanan energi termal	28
Gambar 3. 4 Setup mesh dan Penamaan Domain Fisik	28
Gambar 3. 5 Mesh pada Domain Komputasi	29
Gambar 3. 6 Mesh Quality pada Domain Komputasi	29
Gambar 3. 7 Setup General dan Models	30
Gambar 3. 8 Pengaturan Prosertis Density Konstan Pada Ansys Fluent	30
Gambar 3. 9 Pengaturan Prosertis Density Variabel Pada Ansys Fluent	31
Gambar 3. 10 Grafik Perubahan Densitas	31
Gambar 3. 11 Pengaturan Prosertis Viscosity Konstan Pada Ansys Fluent	32
Gambar 3. 12 Pengaturan Prosertis Viskosity Variabel Pada Ansys Fluent	32
Gambar 3. 13 Grafik Perubahan Viskositas	33
Gambar 3. 14 Kondisi batasan	33
Gambar 4. 1 Grafik Laju Pemadatan 3 Jenis Garam Sifat Fisik Variabel	36
Gambar 4. 2 Visualisai Laju Pemadatan pada 3 Jenis Garam	37
Gambar 4. 3 Hasil Waktu Pemadatan 3 Jenis Garam	39
Gambar 4. 4 Hasil Perhitungan Laju Pemadatan Dari 3 Jenis Garam	40
Gambar 4. 5 Nilai Error dari Waktu Pemadatan	41
Gambar 4. 6 Nilai Error Dari Laju Pemadatan garam KCl	42
Gambar 4. 7 Nilai Error Dari Laju Pemadatan garam LiCl	42
Gambar 4. 8 Nilai Error Dari Laju Pemadatan garam NaCl	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2. 2 Ukuran Shell and Tube	13
Tabel 2. 3 List jenis hidrat	15
Tabel 2. 4 Data Sifat fisik Garam KCl	16
Tabel 2. 5 Data Sifat fisik Garam NaCl	17
Tabel 2. 6 Data Sifat fisik Garam LiCl	19
Tabel 3. 1 Nilai Temperatur Garam	34

