

INVESTIGASI LAJU PELEBURAN GARAM SEBAGAI PCM DENGAN  
VARIABEL SIFAT FISIK MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK ENTALPI  
POROSITAS



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Disusun Oleh:  
MUHAMMAD MIQDAD HASAN

**NIM 41322110068**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MERCU BUANA**

**JAKARTA 2024**

LAPORAN TUGAS AKHIR

INVESTIGASI LAJU PELEBURAN GARAM SEBAGAI PCM DENGAN  
VARIABEL SIFAT FISIK MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK ENTALPI  
POROSITAS



UNIVERSITAS  
Disusun Oleh:  
MERCU BUANA

Nama : Muhammad Miqdad Hasan

NIM : 41322110068

Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
JUNI 2024

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Miqdad Hasan

NIM : 41322110068

Program Studi : Teknik Mesin


Judul Laporan Skripsi : Investigasi Laju Peleburan Garam Sebagai PCM Dengan Variabel Sifat Fisik Menggunakan Model Numerik Entalpi Porositas

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata I pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh:

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

NIDN : 0314109101

Penguji 1 : Dr. Nanang Ruhyat, M.T. (  )

NIDN : 0323027301

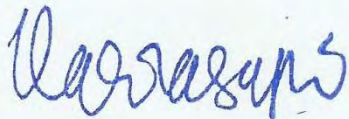
Penguji 2 : Henry Carles, S.T., M.T. (  )

NIDN : 0301087304

Jakarta, 24 Juni 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 : Muhammad Miqdad Hasan

NIM : 41322110068

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Investigasi Laju Peleburan Garam Sebagai PCM Dengan Variabel Sifat Fisik Menggunakan Model Numerik Entalpi Porositas

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan 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.

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Jakarta, 20 Februari 2024



(Muhammad Miqdad Hasan)



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji Syukur kepada Allah SWT karena berkat kasih dan rahmatnya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “INVESTIGASI LAJU PELEBURAN GARAM SEBAGAI PCM DENGAN VARIABEL SIFAT FISIK MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK ENTALPI POROSITAS” dapat diselesaikan walaupun masih 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. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Gilang Awan Yudhistira, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Kampus Meruya Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Nurato, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Kampus Cabang Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana dan koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
6. Bapak Sagir Alva, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku Koordinator Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
7. Bapak Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi ajaran dan pengarahan selama proses pembuatan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Mesin atas ilmu, dan wawasan yang diajarkan selama ini.

9. Orang Tua serta keluarga yang memberi dukungan dalam doa, moral, maupun materil yang telah diberikan dari awal hingga akhir.
10. Teman-teman Teknik mesin Universitas Mercu Buana angkatan 2022 yang selalu 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.

Jakarta, 20 Februari 2024

Penulis,

Muhammad Miqdad Hasan



## ABSTRAK

Garam sebagai *Phase Change Material* (PCM) pada sebuah *Thermal Energy Storage* (TES) dapat menyimpan energi termal dari matahari dalam bentuk kalor laten dengan melewati sebuah proses yang dikenal sebagai peleburan. Pada saat ini, model numerik entalpi porositas dapat digunakan untuk mengamati fenomena peleburan sebuah PCM, bahkan dapat digunakan untuk menginvestigasi laju peleburan sebuah PCM. Namun, penggunaan model numerik entalpi porositas masih mengedepankan sifat fisik (densitas dan viskositas) konstan selama proses peleburan. Berkaitan dengan hal itu, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi laju peleburan garam sebagai PCM dengan sifat fisik variabel pada model numerik entalpi porositas. Beberapa jenis garam yang digunakan adalah kalium klorida (KCl), litium klorida (LiCl), dan natrium klorida (NaCl). Domain komputasi yang digunakan berbentuk pipa konsentris dengan asumsi garam memenuhi seluruh ruang di domain tersebut. Sifat fisik garam (densitas dan viskositas) dinyatakan sebagai fungsi temperatur untuk menangkap perubahannya berdasarkan perubahan temperatur. Hasil perhitungan numeriknya menunjukkan bahwa laju peleburan pada garam menurun seiring berjalannya waktu hingga seluruh garam pada domain komputasi melebur. Jika dibandingkan dengan sifat fisik konstan, proses peleburan tiga jenis garam (KCl, LiCl, NaCl) dengan sifat fisik variabel memiliki waktu yang lebih singkat, dengan perbandingan waktu peleburan pada garam KCl sebesar 28,57%, garam LiCl sebesar 2,63% dan garam NaCl sebesar 21,54%.

Kata kunci: laju peleburan garam, PCM, variabel sifat fisik, model numerik entalpi porositas



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

**MELTING RATE INVESTIGATION OF SALT AS A PCM WITH VARIABLE  
PHYSICAL PROPERTIES USING POROSITY ENTHALPY NUMERICAL  
MODEL**

**ABSTRACT**

*Salt as a Phase Change Material (PCM) in a Thermal Energy Storage (TES) can store thermal energy from the sun in the form of latent heat by going through a process known as melting. At this time, the numerical model of porosity enthalpy can be used to observe the melting phenomenon of a PCM, and can even be used to investigate the melting rate of a PCM. However, the use of the porosity enthalpy numerical model still emphasizes constant physical properties (density and viscosity) during the melting process. In this regard, this research aims to investigate the rate of melting of salt as PCM with variable physical properties in the numerical model of porosity enthalpy. Some types of salt used are potassium chloride (KCl), lithium chloride (LiCl), and sodium chloride (NaCl). The computational domain used is in the form of a concentric pipe with the assumption that the salt fills the entire space in the domain. The physical properties of salts (density and viscosity) are expressed as a function of temperature to capture their changes based on changes in temperature. The results of the numerical calculations show that the melting rate of the salt decreases over time until all the salt in the computational domain melts. When compared with constant physical properties, the melting process of three types of salt (KCl, LiCl, NaCl) with variable physical properties takes a shorter time, with a ratio of melting time for KCl salt is 28.57%, LiCl salt is 2.63% and salt NaCl is 21.54%.*

*Key words: salt melting rate, PCM, physical properties variable, numerical model of porosity enthalpy*

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN	3
1.4 MANFAAT	3
1.5 RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 PENELITIAN TERDAHULU	5
2.2 PHASE CHANGE MATERIAL	8
2.3 GARAM KCl	9
2.4 GARAM LiCl	10
2.5 GARAM NaCl	12
2.6 ALAT PENUKAR KALOR	13
2.7 PROSES PELEBURAN PCM	15
2.8 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)	16
2.9 METODE NUMERIK ENTALPI POROSITAS	17
<b>BAB III METODOLOGI</b>	<b>20</b>
3.1 DIAGRAM ALIR	20
3.1.1. Studi Literatur	21
3.1.2. Persiapan alat dan Bahan	21
3.1.3. Simulasi Ansys Fluent 2023 R1	21

3.1.4.	Pembuatan Domain Komputasi	22
3.1.5.	Perhitungan Densitas Garam	25
3.1.6.	Perhitungan Kecepatan Internal Garam	27
3.1.7.	Perhitungan Temperatur Garam	28
3.1.8.	Perhitungan laju peleburan	30
3.1.9.	Investigasi Laju Peleburan	30
3.2	ALAT DAN BAHAN	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		<b>32</b>
4.1	HASIL	32
4.1.1.	Perubahan Fraksi Cairan Garam KCl Selama Proses Peleburan	32
4.1.2.	Perubahan Fraksi Cairan Garam LiCl Selama Proses Peleburan	34
4.1.3.	Perubahan Fraksi Cairan Garam NaCl Selama Proses Peleburan	35
4.1.4.	Perubahan Fraksi Liquid Garam Sifat Fisik Konstan dengan Variabel Terhadap Waktu	36
4.1.5.	Laju Peleburan Garam Sifat Fisik Konstan dengan Variabel Selama Proses Peleburan	37
4.2	PEMBAHASAN	37
4.2.1.	Fenomena Densitas Garam Sifat Fisik Variabel Selama Proses Peleburan	38
4.2.2.	Fenomena Perbedaan Antara Sifat Fisik Variabel Dengan Konstan	38
4.2.3.	Perbandingan Waktu Peleburan Antara Sifat Fisik Konstan Dengan Variabel	40
4.2.4.	Nilai Error Waktu Peleburan Antara Sifat Fisik Konstan Dengan Variabel	41
4.2.5.	Nilai Entalpi Proses Peleburan Garam dengan Variabel Sifat Fisik	42
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>43</b>
5.1	KESIMPULAN	43
5.2	SARAN	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>45</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>49</b>
<b>LAMPIRAN A. HASIL PERHITUNGAN</b>		<b>50</b>
<b>LAMPIRAN B. DATA HASIL SIMULASI</b>		<b>55</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses Perubahan Fase PCM	9
Gambar 2.2. Konfigurasi <i>Shell and Tube</i> Penyimpanan Panas PCM: (a) Sistem Lengkap; dan (b) Modul Tunggal Konsentris untuk Pengujian Simulasi	14
Gambar 2.3. Proses Peleburan PCM	15
Gambar 2.4. Total Energi Panas Pada Proses Perubahan Fase	16
Gambar 3.1. Diagram Alir	20
Gambar 3.2. Diagram Alir Simulasi Ansys Fluent	21
Gambar 3.3. Pembuatan Geometri Pipa	22
Gambar 3.4. Pembuatan Geometri PCM	23
Gambar 3.5. Pengaturan <i>Mesh</i>	23
Gambar 3.6. <i>Mesh</i> pada Domain Komputasi	24
Gambar 3.7. <i>Mesh quality</i> pada Domain Komputasi	24
Gambar 3.8. Pengaturan <i>General</i> dan <i>Models</i>	25
Gambar 3.9. Pengaturan Nilai Densitas Konstan pada <i>software</i> Ansys Fluent	26
Gambar 3.10. Pengaturan Nilai Densitas Variabel pada <i>software</i> Ansys Fluent	26
Gambar 3.11. Grafik Perubahan Densitas	26
Gambar 3.12. Pengaturan Nilai Viskositas Konstan pada <i>software</i> Ansys Fluent	27
Gambar 3.13. Pengaturan Nilai Viskositas Variabel pada <i>software</i> Ansys Fluent	28
Gambar 3.14. Grafik Perubahan Viskositas	28
Gambar 3.15. Kondisi Batas	29
Gambar 4.1. Visualisasi Proses Peleburan Garam KCl	32
Gambar 4.2. Visualisasi Proses Peleburan Garam LiCl	34
Gambar 4.3. Visualisasi Proses Peleburan Garam NaCl	35
Gambar 4.4. Perubahan Fraksi Cairan Garam KCl (a), LiCl (b), NaCl (c)	36
Gambar 4.5. Nilai Laju Peleburan Garam KCl (a), LiCl (b), NaCl (c)	37
Gambar 4.6. Densitas Garam selama Proses Peleburan	38
Gambar 4.7. Perbedaan Hasil Simulasi	38
Gambar 4.8. Hasil Waktu Peleburan 3 Jenis Garam	40
Gambar 4.9. Nilai Error dari Waktu Peleburan	41
Gambar 4.10. Nilai Grafik Entalpi	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2. Data Properti Garam KCl	9
Tabel 2.3. Data Properti Garam LiCl	10
Tabel 2.4. Data Properti Garam NaCl	12
Tabel 2.5. Ukuran <i>double-pipe</i> Alat Penukar Kalor	14
Tabel 3.1. Batas Temperatur Garam	29



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
TES	<i>Thermal Energy Storage</i>
PCM	<i>Phase Change Material</i>
KCl	Kalium Klorida
LiCl	Litium Klorida
NaCl	Natrium Klorida
HTF	<i>Heat Transfer Fluid</i>



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA