

**PENGARUH KOMPOSISI *MOLTEN SALT* (NaNO_3 , KNO_3 , DAN NaNO_2)
TERHADAP SUHU DAN KEHILANGAN MASSA MENGGUNAKAN
THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS (TGA)**

(Skripsi)

Oleh

**Monica Putri Apriliani
NPM 2117041033**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH KOMPOSISI *MOLTEN SALT* (NaNO_3 , KNO_3 , DAN NaNO_2) TERHADAP SUHU DAN KEHILANGAN MASSA MENGGUNAKAN *THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS* (TGA)

Oleh

MONICA PUTRI APRILIANI

Molten salt berbasis campuran NaNO_3 - KNO_3 merupakan kandidat unggul dalam sistem penyimpanan energi termal untuk aplikasi *Concentrated Solar Power* (CSP) karena memiliki kapasitas panas tinggi dan kestabilan termal yang baik. Namun, peningkatan efisiensi sistem masih diperlukan dengan memodifikasi komposisi melalui penambahan aditif seperti NaNO_2 . Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan NaNO_2 terhadap kestabilan termal molten salt menggunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Empat variasi komposisi sampel dengan komposisi berbeda diuji pada suhu 30–700°C dalam atmosfer gas argon. Parameter yang dianalisis meliputi suhu dekomposisi awal, suhu dekomposisi maksimum, total weight loss, dan massa residu. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan NaNO_2 dapat meningkatkan kestabilan termal, dengan sampel mengandung 1,69% NaNO_2 (Sampel-3) memiliki total weight loss terendah (1,37%) dan suhu dekomposisi awal tertinggi (45,349°C). Sebaliknya, penambahan NaNO_2 berlebih (3%) justru menurunkan kestabilan. Penelitian ini membuktikan bahwa penambahan NaNO_2 dalam jumlah optimal dapat memperbaiki performa *molten salt* sebagai media penyimpanan energi termal. Hasil ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan material penyimpan energi yang efisien dan andal untuk sistem CSP.

Kata kunci: *Molten salt*, TGA, stabilitas termal.

ABSTRACT

EFFECT OF THE COMPOSITION OF MOLTEN SALT (NaNO_3 , KNO_3 , AND NaNO_2) ON THE TEMPERATURE AND MASS LOSS CHARACTERIZED BY THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS (TGA)

By

MONICA PUTRI APRILIANI

Molten salt based on a NaNO_3 - KNO_3 mixture is a promising candidate for thermal energy storage systems in Concentrated Solar Power (CSP) applications due to its high heat capacity and good thermal stability. However, further improvements in system efficiency are needed by modifying the composition through the addition of additives such as NaNO_2 . This study aims to analyze the effect of NaNO_2 addition on the thermal stability of molten salt using Thermogravimetric Analysis (TGA). Four sample compositions with different compositions were tested at temperatures ranging from 30–700°C in an argon gas atmosphere. The parameters analyzed include initial decomposition temperature, maximum decomposition temperature, total weight loss, and residual mass. The study showed that the addition of NaNO_2 can improve thermal stability, with the sample containing 1.69% NaNO_2 (Sample-3) having the lowest total weight loss (1.37%) and the highest initial decomposition temperature (45.349°C). Conversely, excessive addition of NaNO_2 (3%) actually reduces stability. This study demonstrates that the addition of NaNO_2 in optimal amounts can improve the performance of molten salt as a thermal energy storage medium. These results provide an important contribution to the development of efficient and reliable energy storage materials for CSP systems.

Keywords: Molten salt, TGA, thermal stability.

**PENGARUH KOMPOSISI *MOLTEN SALT* (NaNO_3 , KNO_3 , DAN NaNO_2)
TERHADAP SUHU DAN KEHILANGAN MASSA MENGGUNAKAN
THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS (TGA)**

Oleh

Monica Putri Apriliani

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: PENGARUH KOMPOSISI MOLTEN SALT
(NaNO_3 , KNO_3 , DAN NaNO_2) TERHADAP
SUHU DAN KEHILANGAN MASSA
MENGUNAKAN THERMOGRAVIMETRIC
ANALYSIS (TGA)

Nama Mahasiswa

: **Monica Putri Apriliani**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117041033

Jurusan

: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.
NIP. 197512192000122003

Pembimbing II

Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 196504071991111001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

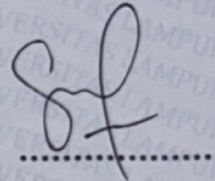
Arif Surtono, S.Si., M.Eng
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

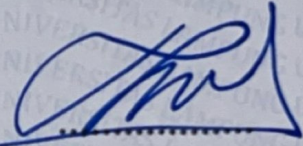
Ketua

: Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.



Sekretaris

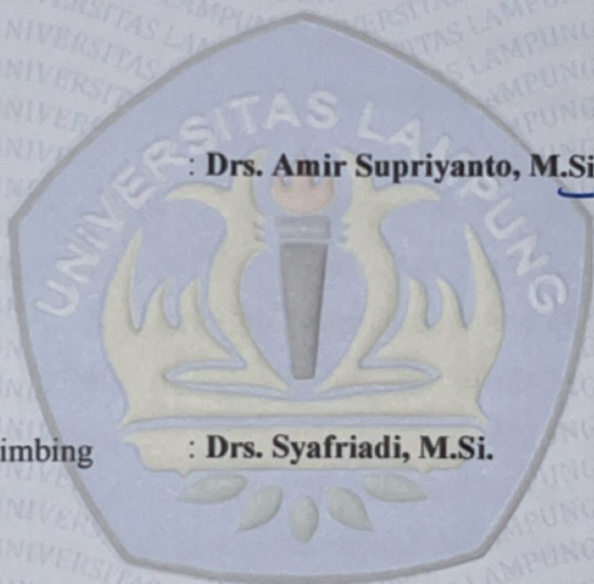
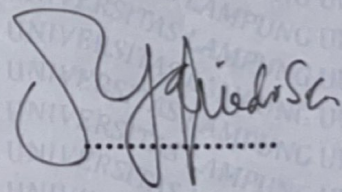
: Drs. Amir Supriyanto, M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Drs. Syafriadi, M.Si.

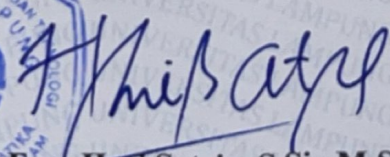


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Juni 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Monica Putri Apriliani
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041033
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Komposisi *Molten Salt* ($\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$, dan NaNO_2) Terhadap Suhu dan Kehilangan Massa Menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA)”** adalah benar hasil karya sendiri, baik ide, hasil maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau keseluruhan data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 19 Juni 2025



Monica Putri Apriliani
NPM 2117041033

RIWAYAT HIDUP



Penulis, Monica Putri Apriliani, dilahirkan di Podosari, Kecamatan Pringsewu, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung pada tanggal 07 April 2003. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara, putri dari pasangan Johan Efendi dan Muji Rahayu. Penulis memulai pendidikan di TK KH. Gahlib Pringsewu pada tahun 2008 hingga 2009, kemudian melanjutkan ke SDN 1 Rejosari dari tahun 2009 hingga 2015. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMPN 3 Pringsewu dari tahun 2015 hingga 2018, dan Pendidikan menengah atas di SMAN 2 Pringsewu dari tahun 2018 hingga 2021. Pada tahun 2021, penulis diterima di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menempuh Pendidikan, penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Puspitek Serpong, dengan judul “Pengaruh Uji Prekondisi UV Terhadap Visual Modul Fotovoltaik dengan Menggunakan Standar SNI EIC 61215-2 2018 di Labolatorium Konversi Energi-BRIN, Serpong”. Penulis terlibat dalam kegiatan ilmiah sebagai peserta MBKM Penelitian Universitas Lampung pada tahun 2024 dengan topik mengenai “Produksi Prototype Pembangkit Energi Listrik Elektrokimia Air Laut Dengan Sistem Otomatisasi Pengisian Air Laut, dan Charging untuk Regenerasi Anoda”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2024 di Desa Labuhan Ratu VI, Kabupaten Lampung Timur. Dalam bidang organisasi penulis mengikuti Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Universitas Lampung sebagai anggota periode 2022-2023.

MOTTO

“Man Jadda wajada”

“With Allah, all things are possible”

"What is meant for you will find its way."

“Minta apa aja sama Allah tapi jangan lupa sholat sama sholawat ya Nik”

- Bapak –

*“I know it hurts sometimes but you'll get over it you'll find another life to live I
know you'll get over it I know you're sad and tired you've got nothing left to give
but you'll find another life to live I know you'll get over it”*

- Oh Wonder -

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan atas izin Allah SWT

Karya ini saya persembahkan untuk orang tua tercinta yang telah mengusahakan
segalanya untuk anaknya

Johan Efendi

&

Muji Rahayu

Almamater kebanggaan

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pengaruh Komposisi Molten Salt ($\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$, dan NaNO_2) Terhadap Suhu dan Kehilangan Massa Menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA)**”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Saya menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, saya terbuka untuk saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan menjadi referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Akhir kata, semoga karya ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 19 Juni 2024

Monica Putri Apriliani
NPM 2117041033

SANWACANA

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Komposisi Molten Salt ($\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$, dan NaNO_2) Terhadap Suhu dan Kehilangan Massa Menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA).”**

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat dan rendah hati, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan dorongan selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Drs Amir Supriyanto, S.Si., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing II, yang telah membantu, memberikan arahan, bimbingan, dan saran untuk penulis dalam melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., sebagai Dosen Pembahas, yang telah memberikan arahan, kritikan, saran, dan dukungannya selama penulis mengerjakan skripsi maupun saat menempuh perkuliahan.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., sebagai Dekan FMIPA Unila.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M. Eng., sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta Staff Jurusan Fisika FMIPA Unila yang telah banyak memberikan ilmu, pengalaman, dan motivasi selama masa perkuliahan.
7. Kedua orang tuaku, (alm) Bapak Johan Efendi dan Ibu Muji Rahayu, yang telah mendukung, mendoakan, dan mengusahakan segalanya. Terkhusus untuk Bapak yang udah tenang disana, yang tidak pernah berhenti memberi suport dan melihat anaknya sampai kuliah semester 5, aku mengawali dan mengakhiri

skripsi tanpa Bapak tapi aku yakin Bapak disana ikut senang.

8. Kepada Nenekku Sitas, Om Santo, Pakde Jar, Bude Nis yang ikut mensupport kuliahku.
9. Adikku, Nadya Aisyah Putri yang telah memberikan doa dan semangat.
10. Kepada sahabat terbaikku Fista Anisa Zahra, Novalia Widiyasari, Sesilya Devi Eliyanti, Yulia Antika Sari, Rully Sulistiowati, Silvia Fransisca yang banyak memberi semangat, mendengarkan, memberi nasehat, dan selalu ada disaat senang maupun sedihku.
11. Kepada teman-teman kuliah terbaikku Nurma Novita, Eli, Vika, Cia, Winda, Mayang, Yesha, Sabrina, Tata yang sudah menjadi teman yang sangat baik selama saya kuliah di Universitas Lampung.
12. Kepada teman-teman Ambalan Smandap angkatan 21 terkhusus Kiki Amelia, Sesil, Rania, Dwi, Sadam, Raihan, Dias yang telah memberi semangat dan masih kompak sampai sekarang.
13. Teman penelitianku Siti Nina Karnia, yang telah berjuang bersama mulai dari bimbingan, penelitian, revisi, sampai dengan sidang skripsi.
14. Kepada teman-teman kelompok KKN Desa Labuhan Ratu VI (Nikmah, Grace, Wulan, Hilman, Balya, dan Ribka) serta Ibu, Mas Asnan, Bu Beti, Bu Katini, Pak Sigit, karang taruna, dan warga desa Labuhan Ratu VI Lampung Timur yang telah banyak memberi bantuan, masukan, doa, pengalaman baru, dan kenangan .
15. Teman- teman Fisika angkatan 2021 yang telah membantu dan memberi kenangan selama kuliah.

Bandar Lampung, 19 Juni 2025

Monica Putri Apriliani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
I. PENDAHULUAN.....	v
1.1 Latar Belakang	v
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Garam Cair Sebagai Media Pemindah Panas dan Penyimpanan	6
2.2 Penyimpanan Energi Termal Pada Tenaga Surya	7
2.3 Penyimpanan Termal Garam Nitrat.....	8
2.4 Karakterisasi <i>Molten Salt</i> Menggunakan TGA	10
2.5 Termogravimetric Analysis (TGA).....	13
2.6 Prinsip Pengukuran Stabilitas Termal Pada TGA	17
2.7 Manfaat Teknologi Energi Surya	20
III. METODE PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.3 Prosedur Penelitian.....	25
3.3.1 Persiapan Sampel	26
3.3.2 Pengujian Sampel dengan Alat TGA	26
3.3.3 Pengolahan Data.....	27
3.4 Diagram Alir.....	29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1.1 Kemurnian Bahan.....	31
4.1.2 Pengeringan Bahan.....	32
4.1.3 Penimbangan Bahan.....	33
4.1.4 Pengeringan Sampel.....	34
4.1.5 Penghalusan Sampel.....	35
4.1.6 Penyimpanan Sampel	35
4.2 Analisis TGA (Thermogravimetric Analysis).....	36
4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian TGA	39
4.3.1 Sampel-1.....	39
4.3.2 Sampel-2.....	42
4.3.3 Sampel-3.....	44
4.3.4 Sampel-4.....	46
4.4 Stabilitas Termal	48
4.5 Aplikasi Molten Salt dalam Sistem <i>Concentrated Solar Power</i> (CSP)	54
V. SIMPULAN DAN SARAN	58
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Contoh 1000 MWh _{th} sistem penyimpanan garam cair dua tangki dari pembangkit listrik tenaga surya terkonsentrasi di Spanyol (Bauer et al., 2021)	6
2. Preparasi Bahan dalam Sistem TMS (Wang et al., 2024).....	10
3. Kurva TG (Wang et al., 2024)	11
4. Stabilitas Termal TMS-2 pada Suhu 550°C (Wang et al., 2024).....	12
5. Kurva Koreksi Standar (Coats dan Redfern, 1963).	14
6 (a) Kurva Termogravimetri: A(1), (2), dan (3) adalah titik puncak dalam kurva penguraian bahan. B adalah titik refleksi (dengan <i>dwdt</i> sebagai maksimum) (Coats dan Redfern, 1963).....	15
7. (b) Kurva Termogravimetri Diferensial: A(1), (2), dan (3) sesuai dengan dataran tinggi pada kurva termogravimetri (dimana adalah nol). Palung B sesuai dengan titik infleksi pada kurva termogravimetri (dengan <i>dwdt</i> sebagai maksimum) (Coats dan Redfern, 1963).....	15
8. a) Susunan Umum Komponen dalam sebuah Thermobalance, b) Lokasi Tipikal Termokopel: Konfigurasi (a) top-loading, konfigurasi (b) side-loading, dan konfigurasi (c) bottom-loading (Prime et al., 2008).....	18
9. a)Pemuatan Atas (Top-Loading), b) Pemuatan Samping (side-loading), dan c) Pemuatan Bawah (bottom-loading) (Prime et al., 2008).....	19
10. Thermogravimetric (TG).....	23
11. Grafik Hasil Analisis TGA.....	29
12. Diagram Alir	30
13. Bahan (<i>Molten Salt</i>)	32
14. Proses Pengeringan Bahan	33
15. Sampel Setelah Ditimbang.....	34
16. Sampel Setelah Pengeringan	34

17. Proses Penghalusan Sampel	35
18. Sampel Molten Salt.....	36
19. Gambaran Skematis Peralatan TGA	37
20. Bentuk Umum Temogram Perubahan Massa Sampel	38
21. Grafik TGA (NaNO_3 60%, KNO_3 40%)	40
22. Grafik TGA (NaNO_3 54,68%, KNO_3 44,32%, NaNO_2 1%).....	43
23. Grafik TGA (NaNO_3 42,01%, KNO_3 56,30%, NaNO_2 1,69%).....	45
24. Grafik TGA (NaNO_3 54,83%, KNO_3 42,17%, NaNO_2 3%).....	47
25. Grafik Perbandingan Sampel	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persentase Molten Salt dalam Sistem TMS (Wang <i>et al.</i> , 2024).....	10
2. Contoh Hasil Analisis TGA (Orozco <i>et al.</i> , 2021).....	16
3. Konduktivitas Termal Gas Pembersih	19
4. Rasio Bahan	26
5. Data Hasil Uji TGA Sampel-1	27
6. Data Hasil Uji TGA Sampel-2	27
7. Data Hasil Uji TGA Sampel-3	27
8. Data Hasil Uji TGA Sampel-4	27
9. Data Hasil Analisis Uji TGA	28
10. Parameter Hasil Sampel-1.....	39
11. Parameter Hasil Sampel-2.....	42
12. Parameter Hasil Sampel-3.....	44
13. Parameter Hasil Sampel-4.....	46
14. Data Hasil Uji TGA	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, dunia dihadapkan pada dua tekanan utama yaitu peningkatan pesat permintaan energi dan masalah polusi lingkungan yang serius. Salah satu solusi penting untuk mengatasi kekurangan energi adalah pengembangan energi terbarukan, seperti energi surya (Chen *et al*, 2019). Energi surya akan menjadi faktor kunci dalam sistem berkelanjutan di masa depan. Namun, karena pasokannya yang tidak konsisten dan kurang stabil, diperlukan pengembangan bahan penyimpanan energi termal atau *Thermal Energy Storage* (TES) yang terjangkau serta teknologi penyimpanan termal yang lebih efisien banyak garam cair seperti garam nitrat, karbonat, klorida, sulfat, dan fluorida telah dipelajari sebagai TES tergantung pada jenis kolektor surya dan kisaran suhu operasi yang diperlukan. Dibandingkan dengan garam lainnya, garam nitrat telah tersedia secara komersial untuk pabrik CSP karena titik lelehnya yang rendah dan biaya yang rendah (Wang *et al.*, 2024).

Molten salt atau garam cair merupakan material yang banyak digunakan dalam sistem penyimpanan energi termal (TES), terutama pada pembangkit listrik tenaga surya terkonsentrasi *Concentrated Solar Power* (CSP). Kombinasi senyawa seperti natrium nitrat (NaNO_3), kalium nitrat (KNO_3), dan natrium nitrit (NaNO_2) dikenal memiliki sifat termal yang baik, seperti kapasitas panas yang tinggi, kestabilan kimia, dan titik leleh yang relatif rendah, sehingga cocok digunakan sebagai media penyimpan dan transfer panas (Liu *et al.*, 2017). Namun, kestabilan termal dari campuran molten salt sangat bergantung pada komposisi masing-masing senyawa penyusunnya, di mana suhu dekomposisi dan kehilangan massa menjadi parameter penting untuk mengevaluasi performa termalnya (Peng *et al.*, 2014).

Molten salt atau garam cair telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, khususnya pada sistem penyimpanan energi termal dan pembangkit listrik tenaga surya konsentrasi CSP. *Molten Salt* dipandang sebagai media yang potensial untuk transfer dan penyimpanan panas dalam energi surya karena keunggulannya, termasuk kemampuan bekerja pada rentang suhu yang luas, kapasitas panas yang tinggi, biaya yang relatif rendah, serta sifatnya yang ramah lingkungan. Saat ini, beberapa pembangkit listrik tenaga surya telah berhasil memanfaatkan garam cair sebagai media penyimpanan dan transfer panas (Chen *et al.*, 2019).

Molten salt dengan campuran $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$, memiliki aplikasi luas dalam teknologi penyimpanan energi termal, terutama dalam sistem penyimpanan energi panas TES di pembangkit listrik tenaga surya. Salah satu yang menjadi hal penting dalam penyimpanan energi termal pada tenaga surya adalah stabilitas termal. Stabilitas termal *molten salt* menjadi faktor krusial yang menentukan efisiensi dan keamanan sistem TES. Stabilitas termal ini penting karena untuk menggambarkan seberapa baik suatu material dapat bertahan terhadap suhu tertentu dalam jangka waktu yang panjang. Campuran garam cair yang paling umum digunakan adalah eutektik dari natrium nitrat (NaNO_3) dan kalium nitrat (KNO_3) karena memiliki titik leleh yang relatif rendah, kapasitas panas yang tinggi, dan stabilitas termal yang baik. Namun, untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem penyimpanan energi termal, diperlukan pengembangan dan modifikasi komposisi garam cair yang dapat meningkatkan karakteristik termalnya. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan aditif seperti natrium nitrit (NaNO_2) ke dalam campuran $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$. Bahan seperti kalium nitrat (KNO_3), natrium nitrat (NaNO_3), dan natrium nitrit (NaNO_2) memiliki titik leleh pada suhu yang sesuai untuk digunakan dalam aplikasi penyimpan termal melebihi 150°C , seperti sistem panas matahari (Orozco *et al.*, 2021). Pemilihan natrium nitrit (NaNO_2) sebagai aditif untuk modifikasi komposisi *molten salt* $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$ karena memiliki kemampuan stabilitas termal yang lebih baik, termasuk dalam aplikasi penyimpanan energi pada suhu tinggi pada pembangkit listrik tenaga surya (Kourkova *et al.*, 2009).

Penelitian ini berfokus pada pengaruh komposisi *molten salt* NaNO_3 , KNO_3 , dan NaNO_2 bagaimana hal ini mempengaruhi stabilitas termal dari campuran tersebut. Campuran dengan penambahan bahan aditif NaNO_2 diharapkan dapat mempengaruhi sifat termofisik dan stabilitas termal dari campuran tersebut, sehingga meningkatkan kinerja keseluruhan sistem penyimpanan energi termal. Dalam penelitian ini, teknik yang digunakan untuk menganalisis yaitu analisis Termogravimetrik (TGA) dimana massa polimer diukur sebagai fungsi suhu atau waktu sementara sampel dikenai program suhu terkendali dalam atmosfer terkendali. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Termogravimetrik (TG) digunakan untuk menganalisis perubahan massa *molten salt* akibat dekomposisi termal. TGA bisa memberikan data mendetail terhadap titik dekomposisi awal, dekomposisi maksimum, kehilangan massa, dan stabilitas jangka panjang pada suhu tinggi. Data yang dihasilkan dari alat ini sangat penting dalam menentukan kelayakan *molten salt* sebagai media penyimpanan energi termal dalam sistem CSP. Pengujian ini dilakukan dengan membuat empat variasi komposisi sampel dengan persentase berbeda. Kemudian sampel dipanaskan dengan suhu diatas titik leleh, dan didinginkan serta dihaluskan menjadi serbuk.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh suhu dekomposisi yang rendah atau stabil dan kehilangan massa yang rendah mampu bertahan di bawah suhu tinggi dalam proses penyimpanan energi sehingga memastikan efisiensi dalam jangka panjang, memberikan stabilitas terbaik. dan wawasan baru tentang perilaku termal *molten salt* untuk meningkatkan efisiensi dan umur panjang sistem penyimpanan energi termal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana suhu dekomposisi ($^{\circ}\text{C}$) dari variasi komposisi NaNO_3 - KNO_3 - NaNO_2 selama analisis TGA?
2. Bagaimana pengaruh komposisi NaNO_3 - KNO_3 - NaNO_2 terhadap kehilangan massa (%) selama analisis TGA?

3. Bagaimana pengaruh penambahan bahan aditif NaNO_2 terhadap variasi komposisi *molten salt* selama pemanasan?
4. Bagaimana hubungan antara suhu dan kehilangan massa?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui suhu dekomposisi ($^{\circ}\text{C}$) yang terjadi pada variasi campuran $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ selama pemanasan.
2. Mengetahui kehilangan massa (%) yang terjadi pada variasi campuran $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ selama pemanasan.
3. Mengetahui pengaruh penambahan NaNO_2 terhadap stabilitas termal campuran *molten salt* $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$.
4. Mengevaluasi hubungan antara suhu dan laju kehilangan massa pada campuran $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ untuk memahami efek aditif terhadap proses dekomposisi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengurangi kehilangan energi termal pada sistem penyimpanan dengan memilih material yang memiliki kehilangan massa minimal dan stabilitas yang tinggi.
2. Memberikan dasar ilmiah untuk memilih material dengan biaya lebih ekonomis, umur pakai yang lebih lama.
3. Meningkatkan efisiensi *Concentrated Solar Power* (CSP), yang menggunakan *molten salt* sebagai media penyimpan panas khususnya pada panel surya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

- 1 Penelitian ini hanya akan fokus pada campuran *molten salt* berbasis NaNO_3 - KNO_3 dengan penambahan NaNO_2 .
- 2 Variasi konsentrasi NaNO_2 yang ditambahkan berdasarkan komposisi penelitian pada referensi yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.
- 3 Uji stabilitas termal akan dibatasi pada suhu antara 30°C hingga 700°C , dengan $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ menggunakan gas penghembus berupa argon.
- 4 Pengujian stabilitas termal akan dilakukan menggunakan metode TGA.
- 5 Stabilitas termal dalam penelitian ini akan dievaluasi berdasarkan parameter seperti berat sampel, penurunan berat, dan persentase penurunan berat.
- 6 Pengujian stabilitas termal akan dibatasi pada durasi waktu dimana suhu saat *start* sampai pengujian telah mencapai 700°C .
- 7 Penelitian ini tidak akan secara mendalam menganalisis dampak bahan aditif NaNO_2 terhadap korosi material konstruksi yang digunakan dalam sistem penyimpanan energi. Fokus utama tetap pada pengaruh variasi komposisi *molten salt* terhadap suhu dan kehilangan massa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Garam Cair Sebagai Media Pemindah Panas dan Penyimpanan

Garam cair yang digunakan untuk aplikasi TES berada dalam keadaan padat pada suhu ruangan dan keadaan cair pada suhu operasi yang lebih tinggi. Properti suhu tinggi seperti kepadatan penyimpanan volumetrik, viskositas, dan transparansi serupa dengan air pada suhu ruangan. Keuntungan utama garam cair adalah biaya rendah, tidak beracun, tidak mudah terbakar, stabilitas termal tinggi, dan tekanan uap rendah. Tekanan uap rendah menghasilkan desain penyimpanan tanpa tangki bertekanan seperti **Gambar 2.1** berikut.



Gambar 2.1 Contoh 1000 MWh_{th} sistem penyimpanan garam cair dua tangki dari pembangkit listrik tenaga surya terkonsentrasi di Spanyol (Bauer et al., 2021)

Garam cair cocok sebagai media penyimpanan panas dan fluida pemindah panas (HTF). Secara umum, ada pengalaman dengan garam cair dalam sejumlah aplikasi industri yang terkait dengan perlakuan panas, perlakuan elektrokimia, dan pemindahan panas selama beberapa dekade. Untuk garam cair, ambang batas suhu bawah dan atas harus diperhitungkan. Batas atas dapat ditentukan oleh stabilitas termal, laju korosi logam, dan batasan termofisika lainnya (misalnya, tekanan uap tinggi). Garam biasanya diklasifikasikan berdasarkan anion yang terutama

menentukan sifat kimianya (misalnya, nitrat, nitrit, klorida, karbonat). Batas bawah didefinisikan berdasarkan suhu leleh, yang dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada jenis anion dan komposisi kation. Campuran garam yang berbeda memiliki keuntungan berupa suhu leleh yang lebih rendah, dibandingkan dengan garam tunggalnya, tetapi dapat menunjukkan batas stabilitas termal yang sama. Oleh karena itu, campuran garam dapat memiliki rentang operasi suhu yang lebih besar dan risiko pembekuan yang lebih rendah dibandingkan dengan garam tunggal. Untuk penyimpanan energi di pabrik CSP, campuran garam alkali nitrat adalah cairan kandidat yang lebih disukai. Garam nitrat ini tersedia secara luas di pasar pupuk. Di pabrik CSP komersial, hampir secara eksklusif campuran garam noneutektik dari 60 wt % natrium nitrat dan 40 wt% kalium nitrat digunakan. Campuran ini umumnya disebut sebagai garam surya. Garam surya merupakan campuran yang dioptimalkan berkenaan dengan suhu leleh, biaya garam tunggal, dan kapasitas panas. Suhu operasi minimum garam surya biasanya ditetapkan pada 290°C (dibatasi oleh suhu liquidus sekitar 250°C ditambah batas aman). Suhu operasi maksimum sekitar 560°C , terutama ditentukan oleh stabilitas termal. Untuk perbedaan suhu 250 K, kapasitas panas volumetrik, yaitu, "kepadatan penyimpanan" media mencapai nilai sekitar 200 kWh m^{-3} . Biaya yang berkaitan dengan media garam cair biasanya merupakan bagian yang signifikan dari keseluruhan biaya sistem TES (Bauer *et al.*, 2021).

2.2 Penyimpanan Energi Termal (TES)

Sistem penyimpanan energi termal (TES) berpotensi meningkatkan penggunaan peralatan energi termal secara efektif dan memfasilitasi peralihan skala besar. Sistem ini biasanya berguna untuk mengoreksi ketidaksesuaian antara pasokan dan permintaan energi. Terdapat dua jenis utama sistem TES, yaitu sistem penyimpanan sensibel dan sistem penyimpanan laten. Saat suhu suatu zat meningkat, kandungan energinya juga meningkat. Energi yang dilepaskan (atau diserap) oleh suatu material saat suhunya diturunkan (atau dinaikkan) disebut kalor sensibel. Di sisi lain, energi yang dibutuhkan untuk mengubah material padat menjadi material cair, atau material cair menjadi gas (perubahan fase material) disebut panas peleburan

pada titik leleh (padat menjadi cair) dan panas penguapan (cair menjadi gas). Panas laten dikaitkan dengan perubahan fase ini. Kategori lain penyimpanan panas adalah melalui penggunaan reaksi kimia endotermik reversibel. Panas kimia dikaitkan dengan reaksi kimia reversibel ini, di mana panas dibutuhkan untuk memisahkan produk kimia. Semua panas ini (atau hampir semuanya) akan dipulihkan nanti, saat reaksi sintesis berlangsung. Proses penyimpanan yang lengkap melibatkan setidaknya tiga langkah yaitu pengisian, penyimpanan, dan pengosongan. Dalam sistem praktis, beberapa langkah dapat terjadi secara bersamaan, dan setiap langkah dapat terjadi lebih dari satu kali dalam setiap siklus penyimpanan. Konsep penyimpanan suhu tinggi di pembangkit listrik tenaga surya dapat diklasifikasikan sebagai sistem aktif atau pasif. Sistem penyimpanan aktif terutama dicirikan oleh perpindahan panas konveksi paksa ke dalam material penyimpanan. Media penyimpanan itu sendiri bersirkulasi melalui penukar panas (penukar panas ini juga dapat berupa penerima surya atau generator uap). Sistem ini menggunakan satu atau dua tangki sebagai media penyimpanan. Sistem aktif dibagi lagi menjadi sistem langsung dan tidak langsung. Dalam sistem langsung, fluida pemindah panas juga berfungsi sebagai media penyimpanan, sedangkan dalam sistem tidak langsung, media kedua digunakan untuk menyimpan panas (Gil *et al.*, 2010).

2.3 Penyimpanan Termal Garam Nitrat

Penyimpanan termal dengan menggunakan *Phase Change Material* (PCM) merupakan peluang untuk mencapai keamanan energi secara efisien dengan menjaga lingkungan. Selain itu, PCM memiliki karakteristik seperti kepadatan penyimpanan energi yang tinggi dan proses isothermal selama perubahan fasa yang memungkinkan penggunaan tapak yang kecil, membuatnya lebih menarik sebagai system TES, dan memiliki biaya yang kompetitif. Khususnya, dalam garam anorganik, anion yang paling banyak digunakan adalah nitrat, campuran nitrat/nitrit, karbonat, klorida, dan fluorida, serta kation yang termasuk dalam unsur basa seperti natrium atau kalium. Dalam pengertian ini, bahan seperti kalium nitrat (KNO_3), natrium nitrat (NaNO_3), dan natrium nitrit (NaNO_2) memiliki titik leleh

pada suhu yang sesuai untuk digunakan dalam aplikasi penyimpanan termal, melebihi 150 °C, seperti sistem panas matahari (Bauer, T *et al*, 2011).

Entalpi fusi NaNO_2 diperoleh suhu fusi 164 °C dan entalpi fusi setara dengan 13,9 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ (Kourkova, L *et al*, 2009). Selain itu, ditentukan suhu leleh (336 °C) dan tingginya entalpi fusi KNO_3 ($116\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) dengan kalorimetri. Sistem eutektik dengan titik padat hingga 230 °C antara kisaran 0,25 hingga 0,80 NaNO_3 fraksi molar. Selain itu, kombinasi NaNO_3 dan KNO_3 dalam presentase masing-masing 60 dan 40, merupakan campuran yang dikenal sebagai “Garam Matahari”, yang eutektiknya sekitar 54% KNO_3 dan 46% NaNO_3 dan titik lelehnya kira-kira 222 °C, suhu pengoperasian minimumnya adalah 290 °C, dan suhu pengoperasian maksimum sekitar 585 °C.

Selain itu, menurut suhu maksimum atau batas kestabilan sampel biasanya didefinisikan sebagai suhu di mana sampel telah kehilangan 3% dari berat awalnya. Selanjutnya, ditetapkan bahwa NaNO_3 suhu degradasi awal, 400°C, lebih rendah dari suhu dekomposisi material, 450°C, menunjukkan stabilitas termal. Di sisi lain, NaNO_2 nilai di atas 330°C. Dengan cara ini, proses isothermal pertama harus dikurangi menjadi 300°C, memastikan tidak ada penurunan berat badan dan menghindari ketidakstabilan termal. Terakhir, KNO_3 kehilangan 0,044% beratnya pada 180 °C, menghadirkan stabilitas. Studi ini menunjukkan kesesuaian penggunaan NaNO_3 , NaNO_2 , dan KNO_3 sebagai media penyimpanan termal karena stabilitas termalnya. Meskipun demikian, telah ditentukan bahwa campuran eutektik dari bahan-bahan tersebut lebih menjanjikan untuk TES. Campuran eutektik memungkinkan suhu leleh yang lebih rendah dibandingkan komponen murninya, dan pada saat yang sama, tidak terjadi segregasi selama proses peleburan. Di sisi lain, meskipun campuran non-eutektik menghasilkan segregasi, campuran tersebut memberikan kisaran suhu perubahan fasa yang lebih tinggi. Oleh karena itu, campuran NaNO_3 , NaNO_2 , dan KNO_3 telah diidentifikasi sebagai campuran non-eutektik (Orozco, M *et al.*, 2021).

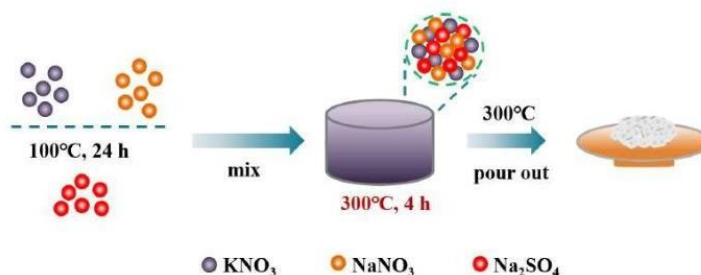
2.4 Karakterisasi *Molten Salt* Menggunakan TGA

Dalam beberapa tahun terakhir, ada banyak upaya untuk meningkatkan batas atas suhu kerja dan kapasitas panas spesifik berdasarkan nitrat. Beberapa garam cair campuran baru berdasarkan nitrat telah dirancang dan dipersiapkan untuk meningkatkan batas atas suhu kerja. Karakterisasi menggunakan bahan *molten salt* NaNO_3 , KNO_3 dan Na_2SO_4 . Bahan NaNO_3 , KNO_3 dan Na_2SO_4 dikeringkan dalam oven pengering udara bersuhu konstan pada 80°C selama 24 jam untuk menghilangkan kelembaban dari bahan baku. Dalam penelitian ini, garam cair disintesis dengan metode peleburan statis. Secara singkat, 20 gram biner dari 60wt% NaNO_3 - 40wt KNO_3 dan garam eutektik terner TMS dengan proporsi yang berbedaseperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1**, dicampurkan ke dalam wadah 50 mL. Kemudian, garam campuran dipanaskan hingga 300°C dengan laju pemanasan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$ dalam *muffle furnace* dan disimpan pada suhu 300°C selama 4 jam. Akhirnya, garam cair biner dan terner yang disintesis dituangkan pada suhu 300°C dan didinginkan pada suhu kamar secara alami, kemudian dihancurkan menjadi bubuk, disegel dan disimpan dalam desikator. Berikut persentase bahan yang dibutuhkan ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.

Tabel 2.1 Persentase *Molten Salt* dalam Sistem TMS (Wang *et al.*, 2024)

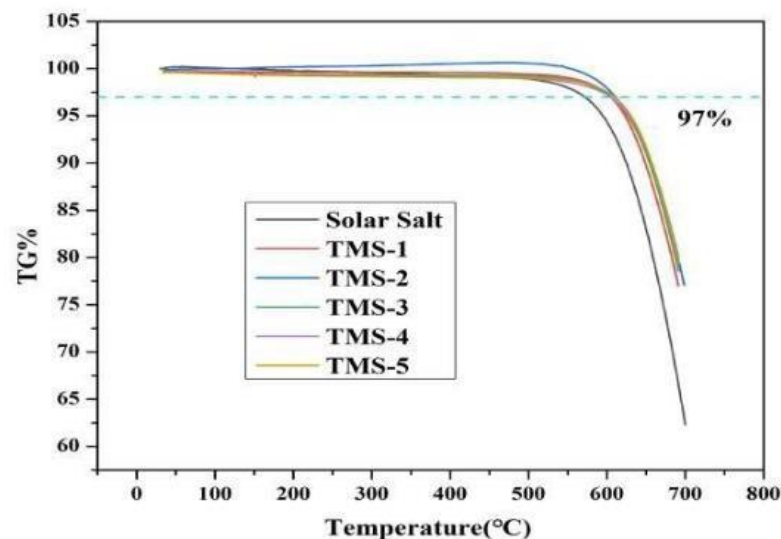
Nomor Sampel	NaNO_3 (%berat)	KNO_3 (%berat)	Na_2SO_4 (%berat)
Garam Matahari	60,00	40,00	0,00
TMS-1	54,68	44,32	1,00
TMS-2	42,01	56,30	1,69
TMS-3	41,46	56,04	2,50
TMS-4	54,83	42,17	3,00
TMS-5	45,49	49,51	5,00

Proses preparasi bahan ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Preparasi Bahan dalam Sistem TMS (Wang *et al.*, 2024)

Suhu dekomposisi menentukan batas atas suhu penggunaan media penyimpanan energi. Pengukuran dilakukan pada kisaran suhu 30-700°C dengan laju pemanasan 10°C/menit menggunakan gas penghembus berupa nitrogen dengan laju aliran penghembusan 50 mL/menit. Adapun kurva TG ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Kurva TG (Wang *et al.*, 2024)

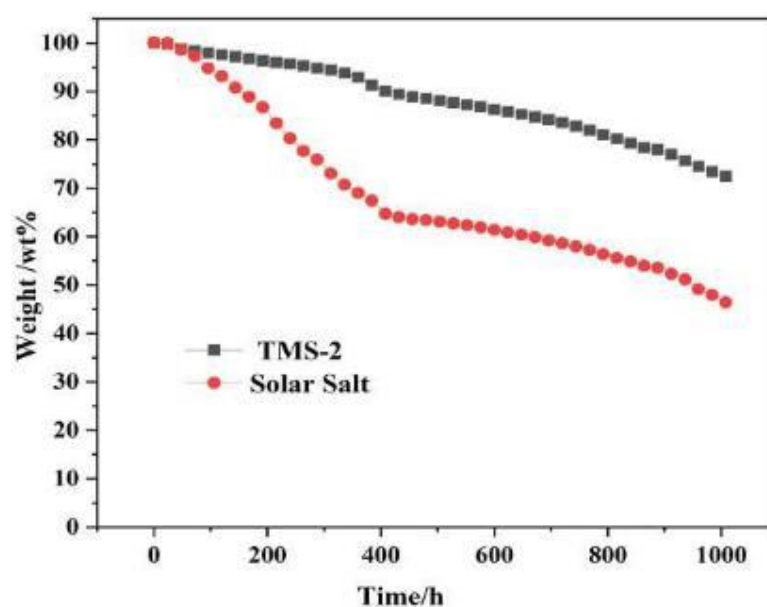
Kurva TG menunjukkan perbedaan suhu dekomposisi antara garam surya dan sistem TMS. Suhu dekomposisi garam surya tercatat sebesar 572,32°C. Berdasarkan **Gambar 2.3**, suhu dekomposisi seri TMS pada garam cair dengan kandungan natrium sulfat 1-5% berada dalam rentang 604,01°C hingga 611,25°C, dengan variasi yang kecil. Suhu dekomposisi tertinggi, yaitu 611,25°C, berada 38,93°C lebih tinggi dibandingkan dengan garam surya.

Kisaran suhu kerja garam cair TMS meningkat sebesar 45,43°C dibandingkan dengan garam surya, memberikan peningkatan sekitar 13,17%. Hal ini disebabkan oleh suhu dekomposisi natrium sulfat yang mencapai 884°C, sehingga meningkatkan suhu dekomposisi TMS secara signifikan. Penambahan natrium sulfat juga meningkatkan kinerja penyimpanan panas dan efisiensi konversi fotothermal TMS.

Panas laten transisi fase pada sistem TMS interaktif terner meningkat dari 94,86 J/g menjadi 117,5 J/g, dengan perubahan yang relatif kecil dibandingkan garam surya. Secara keseluruhan, penambahan natrium sulfat memperluas rentang suhu kerja,

meningkatkan stabilitas termal, serta menurunkan biaya hingga tingkat tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa TMS lebih unggul dalam stabilitas dan fleksibilitas suhu kerja dibandingkan dengan garam surya (Wang *et al.*, 2024).

Dalam pembahasan stabilitas termal, batas atas suhu penggunaan garam cair dibatasi oleh stabilitasnya pada suhu tinggi. Umumnya, batas atas suhu penggunaan adalah sekitar 50°C lebih rendah dari suhu dekomposisi. Stabilitas jangka panjang dari garam cair TMS-2 dan garam cair matahari pada suhu 550°C telah diselidiki, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Stabilitas Termal TMS-2 pada Suhu 550°C (Wang *et al.*, 2024)

Dapat dilihat bahwa pada suhu 550°C, penurunan berat garam surya secara signifikan lebih tinggi daripada garam cair TMS-2. Penurunan berat badan semakin meningkat seiring berjalannya waktu. Setelah 1008 jam, penurunan berat garam matahari mencapai 53%, sedangkan penurunan berat TMS-2 hanya sekitar 27%. Hal ini menunjukkan bahwa TMS-2 memiliki stabilitas yang lebih baik pada suhu 550°C.

Hasil kesimpulan menunjukkan bahwa kapasitas panas spesifik TMS-2 lebih tinggi dari pada garam surya yang menghasilkan kapasitas penyimpanan panas yang lebih besar yaitu 9,03%. Stabilitas termal menunjukkan bahwa TMS-2 memiliki stabilitas yang lebih baik pada suhu 550°C sehingga memiliki penyimpanan panas

yang sangat baik, kinerja perpindahan panas dan suhu kerja yang mengarah pada prospek aplikasi yang luar biasa untuk garam cair TMS-2 pada system pembangkit listrik tenaga surya(Wang *et al.*, 2024).

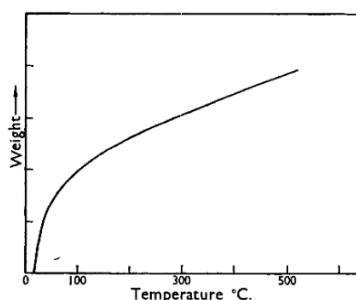
2.5 Termogravimetric Analysis (TGA)

Termogravimetrik (TG) didefinisikan sebagai teknik pengukuran massa polimer sebagai fungsi dari suhu atau waktu sedangkan sampel yang dikenakan program suhu yang terkontrol dalam atmosfer yang juga terkontrol. Kisaran suhu pada TGA komersial biasanya mencapai sekitar 1000 °C atau lebih, yang merupakan batas atas yang cukup untuk aplikasi terkait polimer. Gas pembilas yang dialirkan melalui alat TGA menciptakan atmosfer tertentu, seperti atmosfer inert (misalnya nitrogen, argon, atau helium), atmosfer pengoksidasi (seperti udara atau oksigen), atau atmosfer pereduksi (seperti gas pembentuk yang terdiri dari 8–10% hidrogen dalam nitrogen). Namun, untuk polimer, penggunaan atmosfer pereduksi jarang diperlukan. Tingkat kelembapan pada gas pembilas juga dapat bervariasi (Prime *et al.*, 2008).

Kehilangan massa dapat dikategorikan sebagai komponen volatil seperti kelembaban yang diserap, pelarut residu, atau aditif atau oligomer bermassa molekul rendah yang umumnya menguap antara suhu sekitar dan 300 °C, produk reaksi, seperti air dan formaldehida dari pengawetan resin fenolik dan amino, yang umumnya terbentuk antara 100 °C dan 250 °C, dan pembentukan produk degradasi volatil yang dihasilkan dari pemutusan rantai yang umumnya memerlukan suhu di atas 200 °C tetapi tidak lebih dari 800 °C. Semua proses kehilangan massa ini dapat dikarakterisasi oleh TGA untuk menghasilkan informasi seperti komposisi, tingkat pengawetan, dan stabilitas termal. Kinetika proses ini juga dapat ditentukan untuk memodelkan dan memprediksi pengawetan, stabilitas termal, dan penuaan karena proses termal dan termooksidatif (Prime *et al.*, 2008).

Analisis termogravimetrik mengukur perubahan berat sebagai fungsi dari peningkatan suhu. Persyaratan instrumental dasar untuk analisis termogravimetrik adalah maraca presisi dan tungku yang deprogram untuk kenaikan suhu secara linier dengan waktu. Termogravimetrik dapat memberikan informasi tentang fenomena fisik dan kimia. Informasi fenomena fisik antara lain, transisi orde kedua, penguapan, sublimasi, penyerapan, adsorpsi, dan desorpsi. Informasi fenomena kimia antara lain, penyerapan kimia, desolvasi (terutama dehidrasi), dekomposisi, dan degradasi oksidatif. Meskipun informasi dapat diperoleh dengan melakukan operasi penimbangan secara manual, namun saat ini perekaman berat dan suhu secara terus menerus memastikan bahwa tidak ada fitur kurva penurunan berat dan suhu yang terlewatkan. Hasil dari pengujian termogravimetri dapat disajikan dengan:

- i. Berat (bobot yang terkoreksi yang tertera pada **Gambar 2.5**, versus kurva suhu atau waktu, disebut sebagai kurva termogravimetri yang tertera pada **Gambar 2.2**. Adapun bobot terkoreksi dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



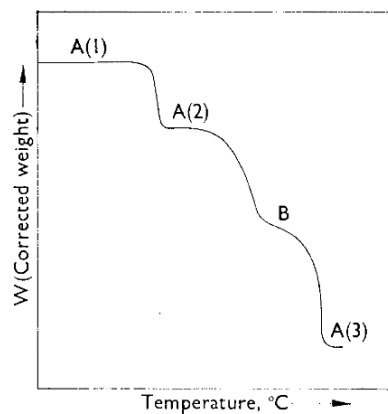
Gambar 2.5 Kurva Koreksi Standar (Coats dan Redfern, 1963).

- ii. Laju kehilangan berat versus kurva suhu, disebut sebagai kurva termogravimetri diferensial yang tertera pada **Gambar 2.7**.

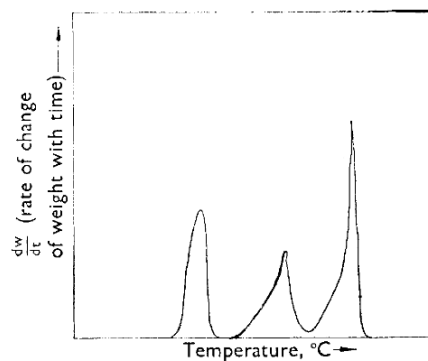
Grafik yang dihasilkan yaitu hubungan antara *weight* (perubahan massa) terhadap temperatur dengan suhu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 200 – 600° C. Sumbu berat dapat diskalakan dalam satu dari beberapa cara misalnya, sebagai skala berat yang sebenarnya, sebagai peresentase dari berat total, dan sebagai persentase dari total kehilangan berat atau sebagai pecahan dari total berat yang hilang, (*d*) dalam satuan berat molekul, atau (*e*) dinyatakan dalam satuan α (dimana

α = fraksi yang terurai). Ciri ciri kurva termogravimetri dapat diidentifikasi sebagai berikut.

- Bagian horizontal atau dataran tinggi, yang mengidentifikasikan bobot yang konstan.
- Bagian yang melengkung; kecuraman kurva menunjukkan tingkat penurunan berat, dan akan melewati batas maksimum, memberikan infleksi dengan $\frac{dw}{dt}$ sebagai maksimum. Adapun kurva termogravimetri dapat dilihat pada **Gambar 2.2 - 2.3**.



Gambar 2.6 (a) Kurva Termogravimetri: A(1), (2), dan (3) adalah titik puncak dalam kurva penguraian bahan. B adalah titik refleksi (dengan $\frac{dw}{dt}$ sebagai maksimum) (Coats dan Redfern, 1963).



Gambar 2.7 (b) Kurva Termogravimetri Diferensial: A(1), (2), dan (3) sesuai dengan dataran tinggi pada kurva termogravimetri (dimana adalah nol). Palung B sesuai dengan titik infleksi pada kurva termogravimetri (dengan $\frac{dw}{dt}$ sebagai maksimum) (Coats dan Redfern, 1963).

Kurva derivatif TGA atau *Derivative Thermogravimetric Analysis* (DTG) sangat berguna dalam banyak hal. Misalnya, DTG dapat membantu membedakan peristiwa kehilangan massa yang saling tumpang tindih, mengidentifikasi bentuk dan titik maksimum dari proses kehilangan massa, serta membantu menemukan langkah-langkah kehilangan massa yang lebih kecil dan tidak begitu terlihat. Puncak pada kurva DTG menunjukkan laju maksimum kehilangan massa, yang memberikan gambaran tentang kecepatan dekomposisi atau perubahan fisik yang terjadi pada sampel (Prime *et al.*, 2008).

Bagian kurva termogravimetri diferensial yang terletak pada garis $\frac{dw}{dt} = 0$, pada **Gambar 2.7** menunjukkan setara dengan bagian horizontal kurva termogravimetri. Puncak kurva termogravimetri diferensial sesuai dengan bagian melengkung dari kurva termogravimetri, sedangkan puncak maksimum yang pertama identic dengan titik kemiringan maksimum kurva gravimetri kedua (Coats & Redfern, 1963).

Adapun contoh dari hasil penelitian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Contoh Hasil Analisis TGA (Orozco *et al.*, 2021)

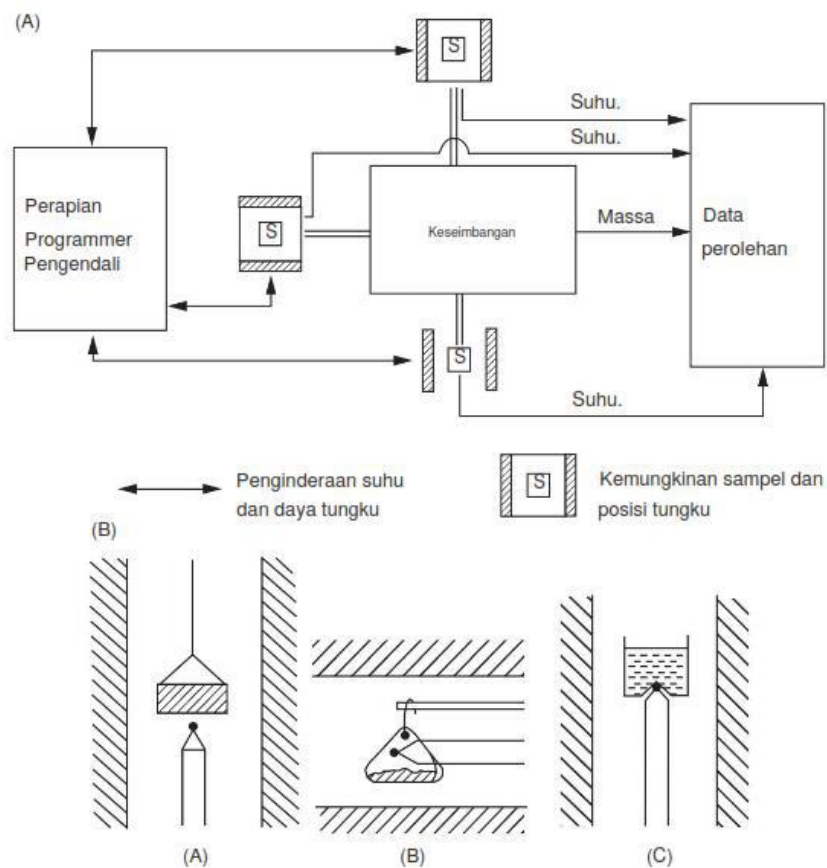
Parameter	Sampel		
	(A) KNO ₃	(B) NaNO ₃	(C) NaNO ₂
Berat awal sampel (mg)	3,810	3,600	3,740
Penurunan berat (%) hingga 250°C	0,018	0,025	0,056
Persentase penurunan berat (%) sebesar 250°C	0,47	0,70	1,51
Penurunan berat (%) hingga 600°C	0,169	0,188	0,064
Persentase penurunan berat (%) sebesar 600°C	4,41	5,25	1,72

Tabel 2.2 menunjukkan hasil variasi berat sampel yang dianalisis TGA. Pada **Tabel 2.2**, titik T₃ dimana suhu maksimum atau batas kestabilan dimana sampel kehilangan 3% dari berat awalnya, dapat dilihat bahwa selama pengujian terlampaui pada NaNO₃ yang mengalami penurunan berat sebesar 5,25% pada 600 °C, begitupun pada KNO₃ yang menunjukkan penurunan sebesar 4,41% pada 600 °C (Orozco *et al.*, 2021).

2.6 Prinsip Pengukuran Stabilitas Termal Pada TGA

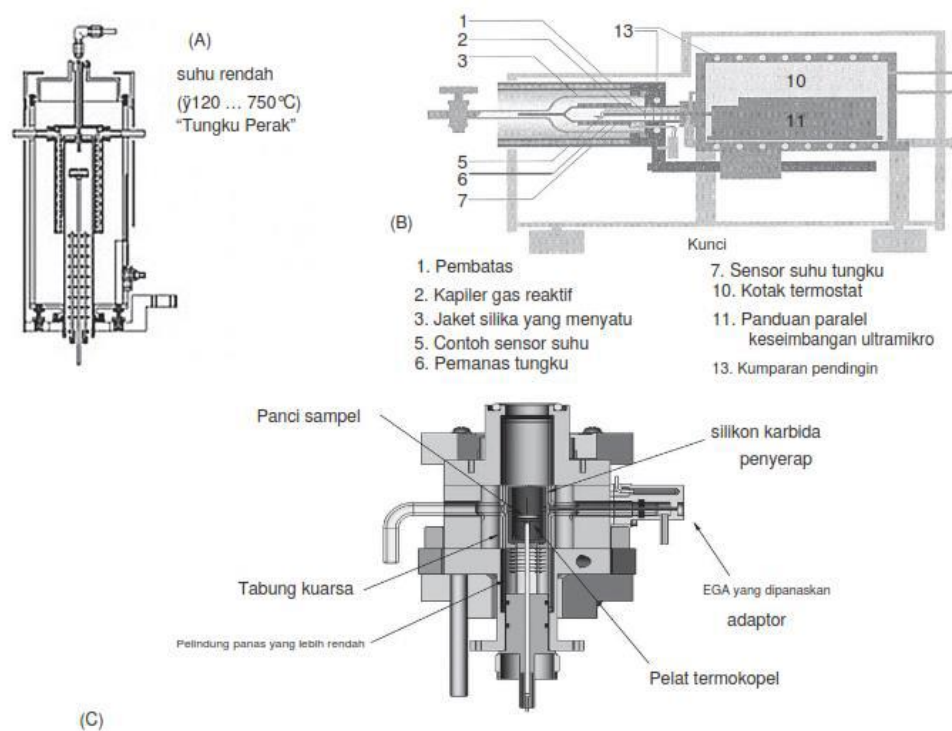
Bagian utama dari alat termogravimetri adalah *thermobalance*, yang berfungsi untuk mengukur massa sampel sebagai fungsi suhu dan waktu. Hubungan antara komponen *thermobalance* bervariasi tergantung pada jenis instrumen. **Gambar 2.8a dan 2.8b** menunjukkan skema penempatan termokopel (sensor suhu) relatif terhadap sampel. Tiga posisi standar sampel dan furnace (tungku) terhadap timbangan ditampilkan pada **Gambar 2.8a**. *Thermobalance* dengan konfigurasi pemuatan bawah dan samping (**Gambar 2.9a - 2.9b**) menggunakan elemen pemanas resistif konvensional. Sebaliknya, alat pemuatan bawah pada **Gambar 2.9c** menggunakan elemen pemanas radiant (radiasi) yang membutuhkan tabung transparan untuk mengontrol aliran atmosfer. Konfigurasi yang berbeda ini memerlukan sistem pendukung sampel yang berbeda pula. Pada alat konfigurasi horizontal, wadah sampel terpasang secara kaku di ujung lengan timbangan, tanpa tambahan massa akibat perangkat gantungan. Dalam pengaturan pemuatan atas, lengan penyangga harus kaku dengan tambahan beban di bawahnya untuk menjaga posisinya tetap vertikal. Penambahan massa ini mengurangi kapasitas maksimum massa sampel. Sebaliknya, pada pengaturan pemuatan bawah, lengan gantungan bisa lebih fleksibel tanpa memerlukan tambahan beban, sehingga tidak terlalu mengurangi kapasitas berat sampel (Prime *et al.*, 2008).

Faktor-faktor utama yang memengaruhi pengukuran dalam TGA meliputi efek atmosfer, reaksi sekunder, dan pertimbangan listrik. Salah satu gangguan signifikan adalah *buoyancy* atau gaya apung, yaitu gaya dorong ke atas yang bekerja pada sampel akibat atmosfer di sekitarnya. Gaya ini memengaruhi pembacaan massa selama percobaan TGA karena kepadatan atmosfer berkurang seiring kenaikan suhu, menyebabkan sampel tampak seperti mengalami penambahan massa semu. Alat TGA dengan pemuatan atas dan bawah memiliki orientasi vertikal, sedangkan TGA dengan pemuatan samping memiliki orientasi horizontal yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 a) Susunan Umum Komponen dalam sebuah Thermobalance, b) Lokasi Tipikal Termokopel: Konfigurasi (a) top-loading, konfigurasi (b) side-loading, dan konfigurasi (c) bottom-loading (Prime *et al.*, 2008).

Besarnya pengaruh buoyancy tergantung pada volume sampel,udukannya, serta kepadatan gas atmosfer yang berubah dengan suhu dan laju pemanasan. Pengaruh ini paling sering terlihat di awal pemanasan atau ketika atmosfer diubah, misalnya dari nitrogen ke udara. Selain itu, reaksi sekunder seperti reaksi sampel dengan gas atmosfer atau degradasi yang tak diinginkan, dapat mengganggu keakuratan pengukuran massa karena perubahan yang tidak terduga. Gangguan lain adalah **pertimbangan listrik**, seperti noise atau fluktuasi daya, yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Oleh karena itu, semua faktor ini harus diperhitungkan dengan cermat agar hasil TGA akurat dan bebas dari gangguan (Prime *et al.*, 2008).



Gambar 2.9 a)Pemuatan Atas (Top-Loading), b) Pemuatan Samping (side-loading), dan c) Pemuatan Bawah (bottom-loading) (Prime et al., 2008).

Selain itu, gas pembersih digunakan pada pengujian menggunakan TGA ini. Udara, nitrogen, dan argon merupakan gas dengan konduktivitas rendah (Prime et al., 2008). Nilai gas pembersih yang paling umum tercantum dalam **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Konduktivitas Termal Gas Pembersih

Pembersih Gas	Konduktivitas Termal (W/m·K)
Argon	0,018
Nitrogen	0,023
Udara/Oksigen	0,024
Karbon Dioksida	0,087
Helium	0,138
Hidrogen	0,172

2.7 Manfaat Teknologi Energi Surya

Manfaat teknologi energi surya sudah diketahui umum bahwa tidak ada yang dapat dibandingkan dengan potensi energi matahari. Karena tenaga surya secara teoritis cukup melimpah, maka ia lebih dari mampu memenuhi permintaan listrik dunia. Karena energi surya tidak hanya berkelanjutan tetapi juga terbarukan, tidak perlu mempertimbangkan gagasan bahwa energi surya pada akhirnya akan habis. Pemanasan global memiliki potensi bencana, sehingga menimbulkan dampak buruk terhadap iklim, lingkungan (termasuk hewan dan tumbuhan), dan kesehatan manusia. Pembangkit listrik (terutama yang menggunakan batu bara) merupakan sumber gas rumah kaca (GRK) yang signifikan, yang bertanggung jawab atas sekitar 25% dari seluruh emisi antropogenik. Oleh karena itu, emisi GRK yang terkait dengan pembangkitan tenaga surya (termasuk produksi, pemasangan, pengoperasian, dan pemeliharaan) sangat minimal. Kisaran CO₂ emisi per kilowatt-jam yang dihasilkan dari batu bara, gas alam, dan tenaga surya diperkirakan masing-masing sebesar 0,64~ 1,63, 0,27~ 0,91, dan 0,03~ 0,09 kg (rasio emisi 18:9,5:1). Dengan demikian, perbandingan ini kembali menegaskan keramahan lingkungan yang lebih unggul dari operasi untuk memberikan pengaruh yang signifikan terhadap masalah kekurangan air saat ini. Akses terbatas terhadap air selama musim kemarau dan gelombang panas telah menghambat pembangkitan listrik dengan membatasi pembangkitannya dari pembangkit listrik.

Di sisi lain, listrik yang dihasilkan dari instalasi tenaga surya tidak memerlukan air untuk beroperasi; selain itu, keberadaan produk sampingan bahan bakar atau persyaratan untuk penyimpanan limbah radioaktif tidak ada. Jika dibandingkan dengan teknologi bahan bakar fosil yang sebagian besar menggunakan mesin dan padat modal, teknologi tenaga surya dianggap lebih padat karya. Aspek positif dari gagasan ini adalah bahwa teknologi tenaga surya seharusnya meningkatkan kesempatan kerja. Rata-rata, lebih banyak pekerjaan dapat diciptakan per unit produksi listrik dengan energi surya dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Industri tenaga surya mempekerjakan sekitar 208.859 pekerja di AS baik paruh waktu maupun penuh waktu untuk manufaktur, instalasi, dan penjualan. Dalam setahun, tingkat pertumbuhan dilaporkan sebesar 20,2%. Selain itu, industri yang

bertanggung jawab atas sistem rantai pasokan energi surya juga akan mendapat manfaat yang luar biasa, sementara beberapa bisnis lokal yang tidak terkait (karena peningkatan jam operasional toko dan restoran) juga akan mendapat manfaat dari peningkatan pendapatan secara keseluruhan. Lebih jauh lagi, proyek energi surya lokal akan menjaga agar uang tetap beredar dalam ekonomi lokal, sehingga menghemat sejumlah besar uang yang saat ini digunakan untuk mengimpor bahan bakar fosil dari lokasi lain. Dari perspektif ekonomi, tenaga surya bermanfaat dalam berbagai cara karena adanya insentif pajak, penghapusan tagihan listrik, peningkatan nilai properti, dan daya tahan yang tinggi. Efisiensi teknologi tenaga surya telah meningkat pesat dalam beberapa tahun terakhir dan telah disertai dengan penurunan biaya yang terus-menerus, yang diproyeksikan akan turun lebih jauh lagi. Misalnya, total biaya modul PV telah berkurang dari USD 1,30 per watt (tahun 2011) menjadi USD 0,50 per Watt (tahun 2014) (pengurangan biaya sekitar 60%).

Seiring makin matangnya pasar tenaga surya dan makin banyak perusahaan yang memanfaatkan ekonomi surya, ketersediaan dan keterjangkauan tenaga surya akan tumbuh dengan kecepatan yang mengesankan. tenaga surya dibandingkan dengan tenaga surya lainnya. Oleh karena itu, tenaga surya telah menjadi salah satu solusi yang paling layak untuk mengatasi krisis pemanasan global saat ini, yang jika tidak segera diatasi, dapat menjadi sangat mahal dengan konsekuensi potensialnya. Dengan demikian, mitigasi pemanasan global melalui penggantian sumber daya berbasis batu bara dan gas dengan tenaga surya pada akhirnya akan bermanfaat secara lingkungan, ekonomi, dan sosial untuk mencapai pembangunan berkelanjutan. Energi surya dianggap sebagai sumber energi yang tidak menimbulkan polusi, andal, dan bersih. Tidak seperti sumber energi lainnya, penggunaannya tidak disertai dengan pelepasan gas berbahaya (misalnya, oksida C/N/S dan/atau senyawa organik volatil (VOC)) dan partikel (misalnya, jelaga, karbon hitam, logam, dan partikel (PM)). Emisi bahan bakar fosil tersebut dari pembangkit listrik berbahan bakar gas telah didakwa karena menyebabkan kerusakan saraf, serangan jantung, masalah pernapasan, kanker, dll.

Penggantian bahan bakar fosil dengan energi terbarukan dapat meminimalkan angka kematian dini, hilangnya hari kerja, dan mengurangi biaya kesehatan secara

keseluruhan. Selain itu, pembangkit listrik berbahan bakar fosil membutuhkan air dalam jumlah besar untuk uap yang saat ini digunakan untuk mengimpor bahan bakar fosil dari lokasi lain. Dari perspektif ekonomi, tenaga surya bermanfaat dalam berbagai cara karena adanya insentif pajak, penghapusan tagihan listrik, peningkatan nilai property, dan daya tahan yang tinggi (Kabir *et al.*, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dan Laboratorium Metalurgi dan Teknik Material Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Jl. E ITB Jl. Ganesha No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132. Waktu penelitian dilakukan pada 9 Januari – 18 Februari 2025.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. *Termogravimetric* (TG)

Deskripsi:

Termogravimetric (TG) adalah alat yang digunakan untuk mengukur perubahan massa sampel akibat pemanasan yang bertahap pada berbagai suhu. Data yang nantinya akan diperoleh seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.1** dan grafik TGA. Adapun alat ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 *Thermogravimetric* (TG)

2. Timbangan Analitik

Deskripsi:

Alat untuk menimbang bahan dengan akurasi hingga 0,0001 gram.

3. Oven

Deskripsi:

Alat yang digunakan untuk proses pengeringan *molten salt* untuk mengurangi kadar air pada bahan.

4. Cawan Petri

Deskripsi:

Alat berupa wadah berbentuk bundar yang terbuat dari kaca dimana pada penelitian ini digunakan untuk proses pengeringan sampel di dalam oven.

5. Aluminium Foil

Deskripsi:

Bahan yang digunakan untuk membungkus cawan petri pada proses pengeringan sampel di oven yang berupa lembaran logam tipis terbuat dari aluminium.

6. Mortar dan *Pestle*

Deskripsi:

Alat manual yang digunakan untuk menghaluskan dan mencampurkan komponen bahan yang akan dijadikan sampel.

7. Komputer dan Laptop

Deskripsi:

Komputer digunakan untuk mengontrol parameter alat, sedangkan laptop digunakan untuk mengolah data hasil dari TGA menggunakan *software* berupa origin.

8. *Sodium Nitrate* (NaNO_3)

Deskripsi:

Sodium nitrate adalah komponen utama *molten salt*, dikenal karena sifat termalnya yang baik dan titik leleh yang sesuai. Bahan ini umumnya digunakan dalam aplikasi CSP untuk menyimpan energi termal dalam bentuk *molten salt*. NaNO_3 berperan penting dalam menciptakan campuran eutektik dengan KNO_3 , yang menurunkan titik leleh keseluruhan dan meningkatkan efisiensi penyimpanan energi.

9. *Potassium Nitrate* (KNO_3)

Deskripsi:

Potassium nitrate adalah garam nitrat yang melengkapi NaNO_3 dalam campuran *molten salt*. KNO_3 membantu menurunkan titik leleh sistem dan meningkatkan sifat termal, seperti kapasitas panas spesifik. Bahan ini juga digunakan dalam aplikasi CSP untuk memaksimalkan stabilitas termal sistem penyimpanan energi.

10. *Sodium Nitrite* (NaNO_2)

Deskripsi:

Sodium nitrite adalah aditif yang ditambahkan ke campuran *molten salt* untuk meningkatkan stabilitas termal dan menurunkan titik leleh.

11. Atmosfer Gas/Gas Pembersih (Argon)

Deskripsi:

Argon digunakan sebagai gas pembersih atau atmosfer inert karena sifatnya yang tidak berinteraksi dengan bahan yang sedang dianalisis pada suhu tinggi.

4.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tiga tahap yaitu tahap persiapan sampel, tahap pengujian analisis sampel, dan tahap pengolahan data.

3.3.1 Persiapan Sampel

Tahapan persiapan sampel sebagai berikut.

1. Bahan NaNO_3 , KNO_3 , NaNO_2 ditimbang dengan rasio yang tertera pada referensi **Tabel 2.1**, sehingga rasio bahan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Rasio Bahan

	Persentase Massa (wt%)		
	NaNO_3	KNO_3	NaNO_2
Sampel-1	60,00	40,00	0,00
Sampel-2	54,68	44,32	1,00
Sampel-3	42,01	56,30	1,69
Sampel-4	54,83	42,17	3,00

2. Bahan *molten salt* dikeringkan menggunakan oven di suhu 100°C selama 1 jam.
3. Bahan ditimbang dengan timbangan analitik sesuai dengan rasio sampel pada **Tabel 3.1** kemudian dimasukkan ke plastik ziplok untuk dijadikan sampel.
4. Masing-masing sampel dicampur menggunakan porselen dengan cara menggerus hingga campuran terlihat homogen (warna dan tekstur sama).
5. Sampel kembali dikeringkan dengan oven di suhu 100°C selama 2 jam untuk mengurangi kadar air yang ada di dalam bahan.
6. Bahan disimpan ke dalam botol plastik yang kedap udara.

3.3.2 Pengujian Sampel dengan Alat TGA

Proses pengujian sampel menggunakan alat TGA sebagai berikut.

1. Sampel diambil sekitar 5-10 mg menggunakan alat bantu berupa spatula.
2. Sampel diletakkan pada wadah (*crucible*) pada TGA.
3. Suhu awal diatur yaitu mulai dari suhu ruang 30°C .
4. Laju pemanasan diatur pada $10^\circ\text{C}/\text{menit}$.
5. Suhu akhir atau maksimum diatur pada 700°C .
6. Dialirkan atmosfer gas inert berupa argon 50 ml/menit.

Adapun hasil data yang diperoleh ditunjukkan pada **Tabel 3.2–3.5**.

Tabel 3.2 Data Hasil Uji TGA Sampel-1

Suhu (°C)	Massa Awal (%)	Massa (mg)
30		
40		
50		
...		
700		

Tabel 3.3 Data Hasil Uji TGA Sampel-2

Suhu (°C)	Massa Awal (%)	Massa (mg)
30		
40		
50		
...		
700		

Tabel 3.4 Data Hasil Uji TGA Sampel-3

Suhu (°C)	Massa Awal (%)	Massa (mg)
30		
40		
50		
...		
700		

Tabel 3.5 Data Hasil Uji TGA Sampel-4

Suhu (°C)	Massa Awal (%)	Massa (mg)
30		
40		
50		
...		
700		

3.3.3 Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Diplot data massa terhadap suhu menggunakan perangkat lunak Origin untuk menghasilkan grafik hasil penelitian.
2. Ditentukan suhu awal dekomposisi dengan melihat titik awal penurunan kurva TGA.

3. Suhu dekomposisi maksimum ditentukan dengan melihat titik puncak pada kurva TGA.
4. Total kehilangan massa/*weight loss* (%) dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{Weight Loss (\%)} = \left(\frac{\text{massa awal(mg)} - \text{massa akhir(mg)}}{\text{massa awal(mg)}} \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

5. Massa residu dihitung (%) dengan menggunakan persamaan 3.2.

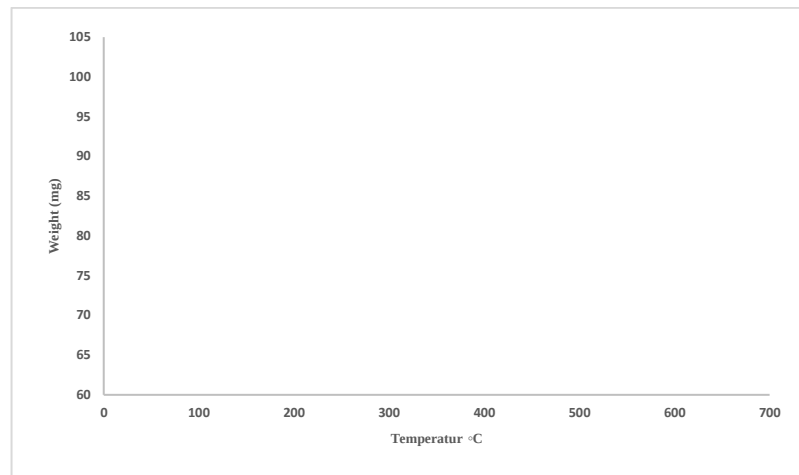
$$\text{Massa Residu (\%)} = \left(\frac{\text{massa akhir(mg)}}{\text{massa awal(mg)}} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

6. Analisis hasil data pada **Tabel 3.2–3.5** dan grafik yang diperoleh dari nilai temperatur terhadap berat yang ditunjukkan oleh **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Data Hasil Analisis Uji TGA

Nomor Sampel	Suhu Awal Dekomposisi (°C)	Suhu Maksimum Dekomposisi (°C)	Weight Loss (%)	Massa Residu (%)
Sampel-1				
Sampel-2				
Sampel-3				
Sampel-4				

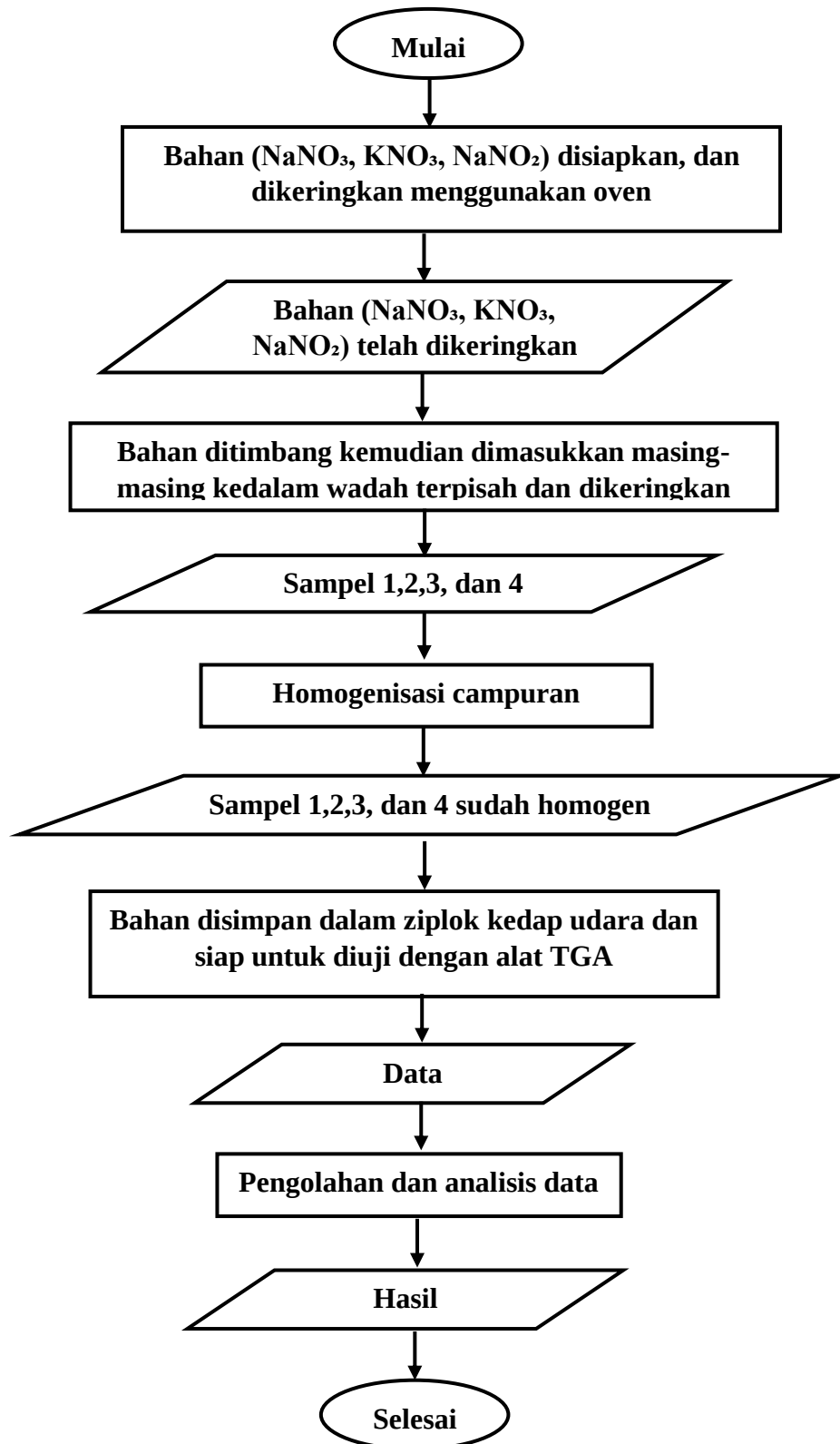
Dari **Tabel 3.6** dapat diperoleh data dari masing-masing sampel hasil dari suhu awal dekomposisi (°C) dimana material sampel mulai menunjukkan perubahan massa yang signifikan, suhu maksimum dekomposisi (°C) yang merujuk pada *weight loss* tertinggi yang terjadi selama pengujian, total *weight loss* atau total kehilangan masa (%) merupakan hasil persentase kehilangan massa total selama pengujian, dan residual massa (%) merupakan sisa material pada sampel yang menguap atau tidak terurai pada akhir pengujian. Kemudian hasil pengujian dibuat dengan grafik hubungan temperatur (°C) dan *weight loss* (%) ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Grafik Hasil Analisis TGA

4.4 Diagram Alir

Diagram alir yang akan dilakukan pada analisis stabilitas termal molten salt $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$ dengan penambahan NaNO_2 menggunakan karakterisasi TGA pada aplikasi solar sel yang bagaimana langkah persiapan hingga pengujian sampel menggunakan alat TGA ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Diagram Alir

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Suhu dekomposisi awal berbeda untuk tiap variasi campuran; Sampel-1 memiliki suhu dekomposisi terendah (27,27°C), sedangkan Sampel-4 tertinggi (51,36°C), menunjukkan bahwa komposisi memengaruhi titik awal dekomposisi termal.
2. Kehilangan massa (%) paling rendah terjadi pada Sampel-3 (1,37%) dan paling tinggi pada Sampel-4 (27,34%), menandakan bahwa kadar aditif sangat memengaruhi kestabilan massa selama pemanasan.
3. Variasi komposisi dengan bahan aditif NaNO_2 dalam jumlah optimal (1,69%) berpengaruh meningkatkan stabilitas termal *molten salt*, terbukti dari suhu dekomposisi yang tinggi, *weight loss* yang rendah, dan massa residu yang besar.
4. Hubungan antara suhu dan laju kehilangan massa menunjukkan bahwa komposisi dengan NaNO_2 optimal menghasilkan penurunan massa yang lebih lambat, sementara kandungan aditif yang berlebihan mempercepat dekomposisi, menurunkan kestabilan termal sistem.

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya sebagai berikut.

1. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi lebih banyak variasi rasio NaNO_3 , KNO_3 , dan NaNO_2 guna menemukan komposisi paling efektif yang dapat meningkatkan stabilitas termal dan kinerja optimal molten salt dalam aplikasi penyimpanan energi panas.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap anomali peningkatan massa pada Sampel-1, yang kemungkinan disebabkan oleh gangguan teknis atau interaksi dengan lingkungan. Pengujian ulang di atmosfer inert serta penggunaan teknik karakterisasi seperti FTIR dan Raman Spectroscopy dapat membantu mengidentifikasi perubahan kimiawi dan memastikan keandalan material dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Bauer, T., Odenthal, C., & Bonk, A. (2021). Molten Salt Storage for Power Generation. *Chemie-Ingenieur-Technik*. 93(4): 534–546.
- Bauer, T., Pfleger, N., Breidenbach, N., Eck, M., Laing, D., & Kaesche, S. (2013). Material Aspects of Solar Salt for Sensible Heat Storage. *Applied Energy*. 111: 1114–1119.
- Chen, X., Wu, Y. ting, Zhang, L. di, Wang, X., & Ma, C. fang. (2019). Experimental Study on Thermophysical Properties of Molten Salt Nanofluids Prepared by High-Temperature Melting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 191: 209–217.
- Coats, A. W., & Redfern, J. P. (1963). Thermogravimetric Analysis. A review. *The Analyst*. 88(1053): 906–924.
- Gibson, R. L., Simmons, M. J. H., Stitt, E. H., Horsburgh, L., & Gallen, R. W. (2022). Selection of Formal Baseline Correction Methods in Thermal Analysis. *Chemical Engineering and Technology*. 45(2): 238–248.
- Gil, A., Medrano, M., Martorell, I., Lázaro, A., Dolado, P., Zalba, B., & Cabeza, L. F. (2010). State of The Art on High Temperature Thermal Energy Storage for Power Generation. Part 1-Concepts, Materials and Modellization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(1): 31–55.
- Gimenez, P., & Fereres, S. (2015). Effect of Heating Rates and Composition on the Thermal Decomposition of Nitrate Based Molten Salts. *Energy Procedia*. 69: 654–662.
- Hamdan, M., Saez, D. S., Hamdan, M., & Garcia, H. A. (2020). CFD Analysis of the Use of Desert Sand as Thermal Energy Storage Medium in a Solar Powered Fluidised Bed Harvesting Unit. *Computer Aided Chemical Engineering*. 48: 349–354.
- Huang, Y., Cheng, X., Li, Y., Yu, G., Xu, K., & Li, G. (2018). Effect of In-Situ Synthesized NaNO-MgO on Thermal Properties of NaNO₃-KNO₃. *Solar Energy*. 160: 208–215.

- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar Energy: Potential and Future Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82: 894–900.
- Kourkova, L., Svoboda, R., Sadovska, G., Podzemna, V., & Kohutova, A. (2009). Heat Capacity of NaNO_2 . *Thermochimica Acta*. 491(1–2):80–83.
- Kwasi-Effah, C. C., Egware, H. O., Obanor, A. I., & Ighodaro, O. O. (2023). Development and Characterization of A Quaternary Nitrate Based Molten Salt Heat Transfer Fluid for Concentrated Solar Power Plant. *Heliyon*. 9(5): 1-12.
- Lee, H. Y., Lin, Y. C., Chang, C. H., & Tseng, C. Y. (2014). High Performance and High Stability Mechanisms of Microcrystalline Silicon-Based Thin-Film Solar Cells Deposited by Laser-Assisted Plasma-Enhancement Chemical Vapor Deposition System. *Solar Energy*. 107: 365–371.
- Liu, S.T., Su, T., Zhang, P., Fei, Z., & Liu, H. (2017). Identification of Superoxide O_2^- during Thermal Decomposition of Molten Salt $\text{KNO}_3\text{-NaNO}_2\text{-NaNO}_3$ Salt by Electron Paramagnetic Resonance and UV-Vis Absorption Spectroscopy. *Chinese Journal of Chemical Physics*. 30(4): 373-378.
- Mayville, F. C., Wigent, R. J., & Schwartz, J. B. (2006). Thermogravimetric Analysis for The Determination of Water Release Rate From Microcrystalline Cellulose Dry Powder and Wet Bead Systems. *Pharmaceutical Development and Technology*. 11(3): 359–370.
- Orozco, M. A., Acurio, K., Vásquez-Aza, F., Martínez-Gómez, J., & Chico-Proano, A. (2021). Thermal Storage of Nitrate Salts as Phase Change Materials (PCMs). *Materials*. 14(23): 1-18.
- Peng, Q., Yang, X., Ding, J., Wei, X., & Yang, J. (2014). Thermodynamic Performance of The $\text{NaNO}_3\text{-NaCl-NaNO}_2$ Ternary System. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 115(2): 1753–1758.
- Prime, R. B., Bair, H. E., Vyazovkin, S., Gallagher, P. K., & Riga, A. (2008). *Thermogravimetric Analysis (TGA)*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. USA.
- Sabry, F. (2022). *Concentrated Solar Power*. One Bilion Knowledgeable.
- Setiabudi, A., Hardian, R., Mudzakir, A., & Muzakir, A.(2012). *Karakterisasi Material*. UPI PRESS. Jawa Barat.

- Smirnov, V. G., Manakov, A. Y., Dyrdin, V. V., Khitsova, L. M., Mikhaylova, E. S., & Ismagilov, Z. R. (2017). Thermogravimetric Analysis of Moisture Desorption from Coal. *Coke and Chemistry*. 60(10): 375–379.
- Wang, H., Li, J., Zhong, Y., Liu, X., & Wang, M. (2024a). Novel Wide-Working-Temperature NaNO₃-KNO₃-Na₂SO₄ Molten Salt for Solar Thermal Energy Storage. *Molecules*. 29(10): 1-24.