

SKRIPSI
KARAKTERISASI KALSIUM KLORIDA HEKSAHIDRAT
BERBAHAN DASAR CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI
PHASE CHANGE MATERIAL



Intelligentia - Dignitas

NASYWA RAIHAN DHIYAULHAQ

1502619062

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

**KARAKTERISASI KALSIUM KLORIDA HEKSAHIDRAT
BERBAHAN DASAR CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI *PHASE
CHANGE MATERIAL***

Nasywa Raihan Dhiyaulhaq

**Dosen Pembimbing : Dr. Dyah Arum Wulandari, S.T., M.T. dan Dr.
Wardoyo S.T., M.T.**

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji sintesis dan karakteristik kalsium klorida heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) berbahan dasar limbah cangkang telur sebagai *Phase Change Material* (PCM) untuk *Thermal Energy Storage* (TES). Proses preparasi sampel meliputi perubahan cangkang telur menjadi bubuk, diikuti sintesis menggunakan HCl untuk menghasilkan $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Analisis *x-ray diffraction* (XRD) menunjukkan kristalinitas tinggi pada seluruh sampel yang sesuai dengan referensi standar dan munculnya fase metastabil $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ pada sampel heksahidrat. Analisis *fourier-transform infrared* (FTIR) mengonfirmasi ikatan kimia yang serupa dengan referensi, meskipun sifat higroskopis menyebabkan hidrasi berlebih pada sampel dihidrat. Berdasarkan pengujian *differential scanning calorimetry* (DSC) pada $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, diperoleh nilai entalpi sebesar 187,94 J/g. Termogram DSC juga menampilkan puncak ganda pada 27.9°C dan 44.8 °C yang mengindikasikan pelelehan tidak merata dan pemisahan fase. Meskipun karakteristik tersebut memerlukan penambahan zat aditif atau metode enkapsulasi untuk stabilisasi PCM, keberadaan fase tetrahidrat memungkinkan penyesuaian temperatur termal untuk aplikasi temperatur di atas temperatur leleh normal $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Hasil penelitian membuktikan bahwa limbah cangkang telur merupakan material yang kompetitif sebagai bahan baku $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan entalpi tinggi.

Kata Kunci: kalsium klorida heksahidrat, limbah cangkang telur, *phase change material*, *thermal energy storage*

CHARACTERIZATION OF EGGSHELL-BASED CALCIUM CHLORIDE HEXAHYDRATE AS A PHASE CHANGE MATERIAL

Nasywa Raihan Dhiyaulhaq

Dosen Pembimbing : Dr. Dyah Arum Wulandari, S.T., M.T. dan Dr.
Wardoyo S.T., M.T.

ABSTRACT

This study evaluates the synthesis and characterization of eggshell-based calcium chloride hexahydrate ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) as a Phase Change Material (PCM) for Thermal Energy Storage (TES). The synthesis involved converting eggshell powder into $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and subsequently $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. X-ray diffraction (XRD) confirmed high crystallinity in all samples, with $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ exhibiting minor peaks corresponding to the metastable $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ phase. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) verified chemical bonds consistent with references, though the dihydrate showed increased hydration due to hygroscopicity. Differential scanning calorimetry (DSC) on $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ revealed a total enthalpy of 187,94 J/g. DSC thermograms displayed double peaks at 27.9 °C and 44.8°C, indicating incongruent melting and phase separation. While these characteristics necessitate additives or encapsulation for stabilization, the presence of the tetrahydrate phase allows for potential thermal tuning. The results demonstrate that eggshell waste is a viable precursor for producing high-enthalpy $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ PCM.

Keywords: calcium chloride hexahydrate, eggshell waste, phase change material, thermal energy storage

LEMBAR PENGESAHAN (1)

Judul : Karakterisasi Kalsium Klorida Heksahidrat Berbahan
Dasar Cangkang Telur Ayam Sebagai *Phase Change
Material*

Penyusun : Nasywa Raihan Dhiyaulhaq

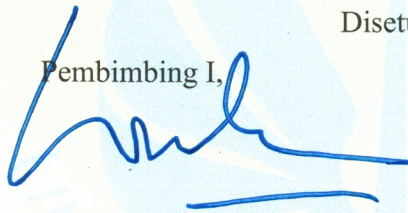
NIM : 1502619062

Pembimbing 1 : Dr. Dyah Arum Wulandari, S.T., M.T.

Pembimbing 2 : Dr. Wardoyo, S.T., M.T.

Disetujui Oleh :

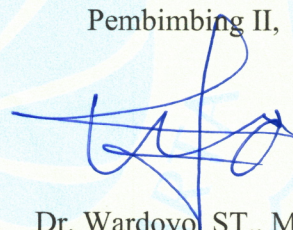
Pembimbing I,



Dr. Dyah Arum Wulandari, S.T., M.T.

NIP. 197708012008012006

Pembimbing II,

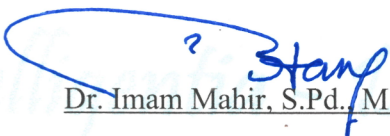


Dr. Wardoyo, S.T., M.T.

NIP. 197908182008011008

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin


Dr. Imam Mahir, S.Pd., M.Pd.

NIP. 198404182009121001

LEMBAR PENGESAHAN (2)

Judul : Karakterisasi Kalsium Klorida Heksahidrat Berbahan
Dasar Cangkang Telur Ayam Sebagai *Phase Change
Material*

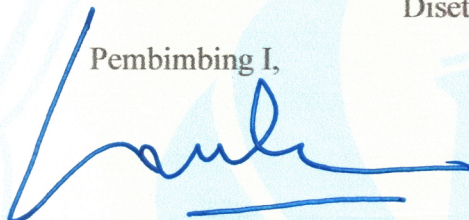
Penyusun : Nasywa Raihan Dhiyaulhaq

NIM : 1502619062

Tanggal Ujian : 19 Januari 2026

Disetujui Oleh :

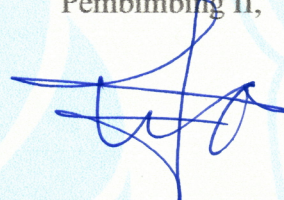
Pembimbing I,



Dr. Dyah Arum Wulandari, S.T., M.T.

NIP. 197708012008012006

Pembimbing II,

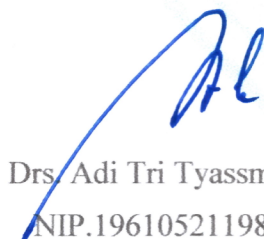


Dr. Wardoyo, ST., M.T.

NIP. 197908182008011008

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi:

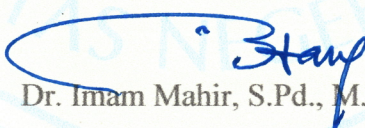
Ketua Penguji,



Drs. Adi Tri Tyassmadi, M.Pd.

NIP. 196105211986021001

Sekretaris,



Dr. Imam Mahir, S.Pd., M.Pd.

NIP. 198404182009121001

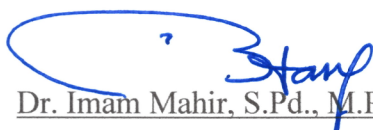
Dosen Ahli,



Dr. Ragil Sukarno, M.T.

NIP. 197911022012121001

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



Dr. Imam Mahir, S.Pd., M.Pd.

NIP. 198404182009121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 15 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Nasywa Raihan Dhiyaulhaq

No. Reg 1502619062

Intelligentia - Dignitas



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : **Nasywa Raihan Dhiyaulhaq**
NIM : **1502619062**
Fakultas/Prodi : **Teknik/Pendidikan Teknik Mesin**
Alamat email : **dhn.raihan@gmail.com**

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Karakterisasi Kalsium Klorida Heksahidrat Berbahan Dasar Cangkang Telur

Ayam Sebagai Phase Change Material

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta , 6 Februari 2026

Penulis

(**Nasywa Raihan Dhiyaulhaq**)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah ‘Azza Wa Jalla, Rabb semesta alam, yang dengan sifat Maha Lembut dan Maha PenyayangNya serta rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “KARAKTERISASI KALSIUM KLORIDA HEKSAHIDRAT BERBAHAN DASAR CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI *PHASE CHANGE MATERIAL*”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhamad shallallahu ‘alaihi wa sallam, manusia terbaik dan teladan bagi seluruh umatnya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik yang disusun demi memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd) bagi mahasiswa Program Studi S-1 Pendidikan Teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Proses penulisan skripsi ini bukanlah hasil karya dari penulis sendiri, karena skripsi ini merupakan hasil kontribusi dari berbagai pihak. Maka dengan rasa penuh hormat dan kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Sumpena dan Ibu Dedeh Kurniasih yang mengiringi langkah penulis dengan doa dan kasih sayangnya.
2. Ibu Dr. Dyah Arum Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I serta Bapak Dr. Wardoyo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II dari penulis yang tidak hanya membantu lewat ide, waktu, dan saran, namun juga motivasi, hingga bantuan dana dan fasilitas.
3. Bapak Dr. Imam Mahir, S.Pd., M.Pd., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin atas dukungan dan motivasi dari beliau.
4. Bapak Ahmad Kholil, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Kelas B yang membantu penulis serta teman-teman penulis dari awal kami masuk.
5. Dena Kurnia Adistyana dan Wildan Ilham Mahibuddin, selaku kedua kakak penulis yang banyak menginspirasi penulis dan menyayangi penulis.

6. Keluarga penulis, teman seperjuangan hingga se-pengajian, hingga berbagai pihak lain yang tidak dapat disebutkan secara satu persatu namun tidak mengurangi rasa hormat dan rasa terima kasih dari penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan, baik dari segi teknis maupun segi ilmiah, akibat keterbatasan dari segi pengetahuan hingga pengalaman yang penulis miliki. Dengan demikian dan dengan kerendahan hati, penulis berharap akan kritik dan saran yang tidak hanya membantu mengembangkan penelitian ini, namun juga mengembangkan diri penulis sendiri. Penulis berharap, apa pun yang ada dalam skripsi ini dapat menjadi sumber manfaat bagi penulis, semua yang berkontribusi, dan pembaca.

Sesungguhnya manusia ilmunya sedikit, sementara Allah Ta'ala adalah pemilik segala ilmu. Kesempurnaan hanya miliki Sang Pencipta sementara kekurangan dan kesalahan datang dari ciptaan-Nya.

Jakarta, 15 Januari 2026

Penulis,



Nasywa Raihan Dhiyaulhaq

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN (1)	i
LEMBAR PENGESAHAN (2)	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	4
1.3. Pembatasan Masalah.....	5
1.4. Perumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian	6
1.6. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Energi.....	7
2.2. <i>Thermal Energy Storage</i> (TES)	9
2.3. <i>Phase Change Material</i> (PCM)	14
2.4. PCM Garam Hidrat.....	22
2.5. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	25
2.6. Cangkang Telur Ayam.....	28
2.7. Karakterisasi Material.....	31

2.8. Analisis Termal.....	36
2.9. Penelitian Relevan	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	41
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	41
3.3. Diagram Alir Penelitian	43
3.4. Uraian Prosedur Penelitian	47
3.5. Karakterisasi Sampel	52
BAB IV HASIL PENELITIAN	55
4.1. Hasil Persiapan dan Sintesis Sampel	55
4.2. Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	56
4.3. Hasil Karakterisasi Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR).....	62
4.4. Hasil Karakterisasi $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur Menggunakan <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC).....	67
4.5. Pembahasan	68
BAB V KESIMPULAN.....	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Teknologi Penyimpanan Energi Termal.	11
Tabel 2.2 Beberapa Jenis PCM Garam Hidrat.	24
Tabel 2.3 Sifat Termofisik Utama dari Beberapa Kalsium Klorida Hidrat	26
Tabel 3.1 Tabel Desain Penelitian	47
Tabel 3.2 Kondisi Pengukuran XRD	53
Tabel 4.1 Perbandingan Posisi Puncak Tertinggi (2θ) pada Sampel Bubuk Cangkang Telur dan Referensi COD untuk Kalsium Karbonat.....	57
Tabel 4.2 Perbandingan Posisi Puncak Tertinggi (2θ) pada Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Telur dan Referensi COD untuk $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ murni	59
Tabel 4.3 Perbandingan Posisi Puncak Tertinggi (2θ) pada Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur dan Referensi COD untuk $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ murni	60
Tabel 4.4 Perbandingan Posisi Puncak Minor (2θ) pada Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur dan Puncak Karakteristik $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	61

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-Jenis Penyimpanan Energi	8
Gambar 2.2 Metode Penyimpanan Energi Panas	11
Gambar 2.3 Cara Kerja <i>Phase Change Material</i>	14
Gambar 2.4 Grafik Temperatur Kerja dan Entalpi PCM	16
Gambar 2.5 Klasifikasi PCM Berdasarkan Rentang Suhu Kerja.....	17
Gambar 2.6 Klasifikasi PCM Berdasarkan Material Beserta Contohnya.....	18
Gambar 2.7 Anatomi Cangkang Telur Ayam	28
Gambar 2.8 Perbandingan Interferensi Konstruktif Dan Interferensi Destruktif Pada Difraksi Sinar-X.....	32
Gambar 2.9 Perbandingan Antara Hasil Detektor Pada Analisis XRD	33
Gambar 2.10 Wilayah Spektrum IR-Tengah	36
Gambar 2.11 Metode persiapan untuk sintesis $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	39
Gambar 3.1 Proses Pembuatan Bubuk Cangkang Telur Ayam	49
Gambar 3.2 Proses Pembuatan $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Telur.....	50
Gambar 3.3 Proses Pembuatan $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur.....	52
Gambar 4.1 Sampel Penelitian.....	55
Gambar 4.2 Difraktogram Sampel Bubuk Cangkang Telur	57
Gambar 4.3 Difraktogram Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Telur	58
Gambar 4.4 Difraktogram Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur	60
Gambar 4.5 Spektrum IR Sampel Bubuk Cangkang Telur Ayam	63
Gambar 4.6 Spektrum IR Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Telur.....	65
Gambar 4.7 Spektrum IR Sampel $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur.....	66
Gambar 4.8 Grafik DSC $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Telur	67