

TUGAS AKHIR

**PENGUJIAN MESIN ES BALOK KRISTAL CETAKAN
GANDA DENGAN DX-EVAPORATOR TERINTEGRASI
BIO-PCM**



Oleh:

I KADEK ADI SENTANA

**PROGRAM STUDI
D3 TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN MESIN ES BALOK KRISTAL CETAKAN GANDA DENGAN DX-EVAPORATOR TERINTEGRASI BIO-PCM



Oleh:

I KADEK ADI SENTANA

**PROGRAM STUDI
D3 TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja Mesin Es Balok Kristal cetakan ganda dengan DX-Evaporator yang terintegrasi dengan Bio-Phase Change Material (Bio-PCM). Bio-PCM berfungsi sebagai media penyimpan dan penstabil suhu yang dapat menyerap serta melepaskan energi laten selama proses perubahan fasa, sehingga diharapkan mampu meningkatkan efisiensi sistem pendingin. Pengujian dilakukan di Laboratorium Tata Udara, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali.

Metode penelitian meliputi pemasangan Bio-PCM pada bantalan DX-Evaporator, penempatan sensor termokopel pada titik-titik strategis sistem refrigerasi, dan pencatatan data real-time menggunakan data logger setiap 60 detik. Parameter yang diukur mencakup temperatur refrigeran, temperatur Bio-PCM, tekanan kerja, konsumsi daya, dan laju pertumbuhan ketebalan es balok kristal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Bio-PCM menurunkan temperatur evaporasi dari $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan mempertahankan superheat sekitar $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Konsumsi daya rata-rata sebesar 1,29 Kw dengan waktu operasi 80 jam menghasilkan es balok kristal seberat 250 kg atau $\pm 75\text{ kg/hari}$. Meskipun Bio-PCM meningkatkan kestabilan suhu, kapasitas produksi belum meningkat signifikan akibat perpindahan panas hanya dari satu sisi cetakan.

Kata kunci: DX-Evaporator, Bio-PCM, mesin es balok kristal, efisiensi energi, kapasitas produksi.

TESTING OF A DOUBLE-MOLDED CRYSTAL BLOCK ICE MACHINE WITH A BIO-PCM INTEGRATED DX-EVAPORATOR

ABSTRACT

This study aims to assess the performance of a double-molded Crystal Ice Block Machine with a DX-Evaporator integrated with Bio-Phase Change Material (Bio-PCM). Bio-PCM functions as a storage medium and temperature stabilizer that can absorb and release latent energy during the phase change process, so it is expected to increase the efficiency of the cooling system. The test was conducted at the Air Conditioning Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Bali State Polytechnic.

The research method included installing Bio-PCM on the DX-Evaporator bearing, placing thermocouple sensors at strategic points in the refrigeration system, and recording real-time data using a data logger every 60 seconds. Parameters measured included refrigerant temperature, Bio-PCM temperature, operating pressure, power consumption, and the growth rate of the crystal block ice thickness.

The results showed that the use of Bio-PCM reduced the evaporation temperature from -18°C to -22°C and maintained the superheat at around 8°C . An average power consumption of 1.29 Kw with an operating time of 80 hours produces 250 kg of crystal ice blocks or ± 75 kg/day. Although Bio-PCM improves temperature stability, production capacity has not significantly increased due to heat transfer from only one side of the mold.

Keywords: *DX-Evaporator, Bio-PCM, crystal block ice machine, energy efficiency, production capacity.*

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Proyek Akhir	2
1.4.1 Tujuan umum.....	2
1.4.2 Tujuan khusus.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.5.1 Bagi penulis	3
1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali.....	3
1.5.3 Bagi masyarakat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Analisis	4
2.2 Pengertian Refrigerasi.....	4
2.3 Refrigerasi Kompresi Uap.....	5
2.4 Komponen Sistem Siklus Kompresi Uap.....	5
2.4.1 Komponen utama	6

2.4.2 Komponen bantu	8
2.5 Refrigeran.....	10
2.5.1 Refrigeran primer.....	10
2.5.2 Refrigeran sekunder.....	10
2.6 <i>Phase Change Materials</i> (PCM).....	11
2.7 Aplikasi PCM.	11
BAB III METODE PELAKSANAAN	12
3.1 Jenis Penelitian	12
3.2 DX-Evaporator Terintegrasi PCM	13
3.3 Jenis Penempatan Alat Ukur	14
3.4 Alur Penelitian.....	14
3.5 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.6 Penentuan Sumber Data	16
3.7 Sumber Daya Penelitian	17
3.8 Instrumen Penelitian	17
3.9 Prosedur Penelitian	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Hasil Penelitian.....	19
4.1.1 Kinerja temperatur mesin es balok kristal dengan bio-PCM	22
4.1.2 Kinerja energi mesin es balok kristal	29
4.1.3 Kapasitas produksi mesin balok kristal dengan bantalan bio-PCM	30
4.2 Pembahasan.....	31
4.2.1 Kinerja temperatur	31
4.2.2 Kinerja energi	31
4.2.3 Kapasitas produksi mesin es balok	32
BAB V PENUTUP	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Aplikasi PCM	11
Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan	16
Tabel 3. 2 Data pengujian.....	17
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian mesin es balok kristal dengan bio-PCM.....	17

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus kompresi uap	5
Gambar 2. 2 Kompresor	6
Gambar 2. 3 Kondensor	7
Gambar 2. 4 Katup ekspansi	7
Gambar 2. 5 Evaporator	8
Gambar 2. 6 Filter dryer	8
Gambar 2. 7 Akumulator	9
Gambar 2. 8 Fan motor	9
Gambar 2. 9 Sight glass	10
Gambar 3. 1 Mesin es balok kristal cetakan ganda sebelum pergantian.....	12
Gambar 3. 2 DX-Evaporator terintegrasi PCM	13
Gambar 3. 3 Penempatan alat ukur	14
Gambar 3. 4 Alur penelitian	15
Gambar 3. 5 Lokasi penelitian	16
Gambar 3. 6 Termokopel.....	18
Gambar 4.1 Siklus refrigerasi dalam diagram log P-h dari mesin es balok.....	21
Gambar 4.2 Temperatur refrigeran keluar evaporator (T_1)	22
Gambar 4.3 Temperatur refrigeran keluar kompresor (T_2)	23
Gambar 4.4 Temperatur refrigeran keluar kondensor (T_3).....	24
Gambar 4.5 Temperatur refrigeran masuk evaporator (T_4).....	25
Gambar 4.6 Temperatur bio-PCM 1 pada posisi masuk di bantalan evaporator...	26
Gambar 4.7 Temperatur bio-PCM 2 pada posisi masuk di bantalan evaporator...	27
Gambar 4.8 Temperatur bio-PCM 3 pada posisi keluar di bantalan evaporator ...	27
Gambar 4.9 Temperatur bio-PCM 4 pada posisi keluar di bantalan evaporator ...	28
Gambar 4.10 Variasi daya mesin es balok kristal selama proses produksi	29
Gambar 4.11 Konsumsi energi mesin es balok dengan efek Bio-PCM	30
Gambar 4.12 Laju pertumbuhan es kristal pada cetakan	31
Gambar 4.13 Salah satu contoh hasil es balok kristal pada penelitian ini	33

Gambar 4.14 Bagian dasar cetakan es balok kristal tidak merata.....	33
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

(titiscahaya, 2021) DX (Direct Expansion) adalah salah satu jenis sistem pendingin udara sentral. Selain chilled water, sistem DX juga digunakan sebagai AC sentral yang bertujuan untuk mendinginkan ruangan atau gedung. Industri es kristal di Indonesia terus berkembang seiring meningkatnya permintaan, didorong oleh berbagai sektor seperti kuliner, pabrik, dan distributor. Es kristal, yang berkarakteristik lebih putih, bening, dan tembus cahaya, sangat dibutuhkan sebagai pendingin makanan, minuman, serta bahan makanan seperti daging dan ikan. Tingginya permintaan ini semakin relevan mengingat iklim tropis Indonesia, di mana es kristal berfungsi untuk mengurangi rasa haus dan mendinginkan suhu tubuh. Namun, banyak pelaku usaha menghadapi tantangan dalam memenuhi lonjakan permintaan akibat keterbatasan waktu produksi. Oleh karena itu, ide pengembangan mesin es kristal yang dilengkapi dengan Bio-PCM (*Phase Change Materials*) muncul sebagai solusi inovatif. PCM adalah bahan yang mampu menyerap dan melepas energi termal selama proses peleburan dan pematatan, sehingga dapat membantu menjaga suhu optimal pada sistem pendingin.

Penelitian sebelumnya mendukung potensi PCM dalam meningkatkan efisiensi termal. Cheralathan et al. (2007) menunjukkan bahwa integrasi PCM pada sistem refrigerasi industri dapat meningkatkan kinerja termal dengan pengisian PCM pada suhu kondensasi rendah dan evaporator optimal. Penelitian oleh Oró et al. (2012) menunjukkan bahwa penggunaan PCM pada freezer komersial mampu menjaga suhu produk lebih lama, terutama saat pintu dibuka atau terjadi pemadaman listrik.

Aplikasi PCM pada freezer juga telah diuji menggunakan model kantong aluminium dan model *honeycomb*. Meski model kantong aluminium mengurangi ruang penyimpanan dan meningkatkan konsumsi energi, siklus on/off kompresor menjadi lebih jarang. Sementara itu, model *honeycomb* berhasil menghemat energi

hingga 2% dan juga mengurangi siklus on/off kompresor. Efisiensi sistem ini sangat dipengaruhi oleh pengaturan thermostat.

Berdasarkan inovasi ini, pengintegrasian PCM dalam mesin es kristal diharapkan tidak hanya meningkatkan kapasitas produksi tetapi juga menghemat konsumsi energi, menjadikannya solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja dari Mesin Es Balok Kristal Cetakan Ganda dengan DX-Evaporator Terintegrasi Bio-PCM.
2. Bagaimana produktivitas Mesin Es Balok Kristal Cetakan Ganda dengan DX-Evaporator Terintegrasi Bio-PCM.

1.3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini penulis memberi batasan masalah pada pembahasan penempatan Bio – PCM pada mesin es balok kristal dengan DX-Evaporator yang diuji pada simulasi mesin es balok kristal.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Tujuan proyek akhir terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan umum

Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Pendidikan di Program Studi D3 Teknik Pendingin dan Tata Udara, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan khusus

1. Agar dapat menentukan kinerja energi mesin es balok kristal cetakan ganda dengan DX-Evaporator Terintegrasi Bio-PCM.
2. Dapat menentukan produktivitas mesin es balok kristal cetakan ganda dengan DX-Evaporator Terintegrasi Bio-PCM.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil Pengembangan Analisis Mesin Es Balok Kristal Cetakan Ganda Dengan DX-Evaporator Terintegrasi Bio-PCM ini di harapkan dapat bermanfaat bagi penulis, instansi Pendidikan khususnya di Politeknik Negeri Bali, dan juga bagi masyarakat pada umumnya.

1.5.1 Bagi Penulis

Hasil perancangan ini sebagai sarana untuk menerapkan dan mengembangkan ilmu-ilmu yang di dapat selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali baik secara teori maupun praktek. Selain itu merupakan syarat dalam menyelesaikan pendidikan diploma tiga Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai bahan pendidikan atau ilmu pengetahuan di bidang perancangan saat refrigerasi di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk untuk dapat di kembangkan lebih lanjut.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Adapun manfaat dari mesin es kristal dengan bantalan Bio PCM ini adalah untuk membantu para pedagang kecil untuk memenuhi es mereka yang tidak terlalu besar, dan juga para nelayan untuk mengawetkan ikan hasil tangkapannya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil pengujian dan analisa pada mesin es balok kristal beserta produksinya dengan kapasitas daya sistem refrigerasi 2,05 Kw dan bantalan Bio-PCM pada evaporatornya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian, kinerja mesin es balok kristal dengan DX-Evaporator terintegrasi Bio-PCM menunjukkan bahwa penggunaan Bio-PCM mampu menurunkan temperatur evaporasi dari sekitar -18 °C hingga -22 °C dan mempertahankan superheat pada kisaran ± 8 °C. Untuk COP yang dihasilkan oleh sistem cukup baik yaitu 1,70. Konsumsi daya rata-rata selama operasi sebesar 1,90 Kw dengan total energi 143,6 kWh untuk satu siklus produksi selama 80 jam. Meskipun Bio-PCM meningkatkan kestabilan temperatur sistem, pengaruhnya terhadap percepatan pembekuan dan peningkatan kapasitas produksi tidak signifikan, terutama karena perpindahan panas hanya terjadi dari satu sisi cetakan. Dengan demikian, secara umum kinerja temperatur dan stabilitas termal membaik, tetapi efisiensi total produksi masih dipengaruhi oleh keterbatasan desain mekanis pada cetakan.
2. Kapasitas produksi es balok kristal seberat 250 kg dalam waktu 3 hari 8 jam setara dengan 80 jam atau sekitar 75 kg per hari. Berdasarkan hasil perancangan dan kapasitas produksi es balok kristal yang mampu dihasilkan adalah 250 kg dengan waktu produksi 3,125 jam. Perbedaan ini disebabkan oleh perancangan yang belum memperhitungkan arah heat transfer, dimana pada penelitian ini hanya dari satu sisi bidang perpindahan panas.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis ingin sampaikan berkenaan dengan proses pengujian dan beberapa kendala yang dihadapi khususnya dalam proses pembuatan

mesin es balok kristal dengan DX-Evaporator terintegrasi bio-PCM, dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Permukaan es balok kristal tidak merata disebabkan karena ada celah pada cetakan bagian dasar yang tidak merata, saran penulis yang diharapkan agar cetakan tersebut di perbaiki, supaya posisi cetakan di atas evaporator menjadi presisi dan menghasilkan es yang baik lebih.
2. Utamakan K3 dalam pada saat proses pembuatan alat dan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- GLOBAL PARTS – A/C Accumulator—Part Number: 1411628—Smyth Auto Parts | smythautomotive.partsplus.com.webshopb2c.com. (n.d.). Retrieved January 22, 2025, from <https://www.smythautoparts.com/catalog-2/itemdetail/global-parts/1411628>
- Putra. (2020, June 20). PENGERTIAN ANALISIS: Fungsi, Tujuan dan Jenis Jenis Analisa. Salamadian. <https://salamadian.com/pengertian-analisis/>
- Sari, S. K., Septiani, E. L., & Wulandari, R. (2018). PERENCANAAN SISTEM MEKANIKALCOLDSTARAGESEBAGAI PENYIMPANAN SAYUR PASCAPANEN. 8(2).
- Sartika Hikaru: Instrumentasi termokopel. (n.d.). Retrieved January 21, 2025, from <https://sartikahikaru.blogspot.com/2011/10/instrumentasi-termokopel.html>
- Sekarsari, K., & Azis, H. I. (2024). Kendali Tekanan Refrigerant Menggunakan Metode Logika Fuzzy. TELKA – Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.15575/telka.v10n1.36-46>
- Studios, A., & Buel, Z. (2020, August 25). What Is a Manifold Gauge in HVAC? Refrigeration School, Inc. (RSI). <https://www.rsi.edu/blog/hvacr/what-is-a-manifold-gauge-in-hvac/>
- titiscahaya. (2021, December 15). MENGENAL DIRECT EXPANSION (DX). PT. Titis Cahaya Sejahtera. <https://www.titiscahayasejahtera.com/mengenal-direct-expansion-dx/>
- Solli Dwi Murtyas, S. N. (2018). PEMODELAN PHASE CHANGE MATERIALS PADA DISTRIBUSI TERMAL. Journal of Mechanical Engineering, Vol.2, 2.
- M. Cheralathan, R. Velraj and S. Renganarayanan, 2007. Performance Analysis on Industrial Refrigeration System Integrated with Encapsulated PCM-base cool Thermal Energy Storage System. Int. J. Energy Res, Vol. 31, pp. 398–413.
- E. Oro, L. Miro, M.M. Farid and L.F. Cabeza, 2012. Improving Thermal Performance of Freezers using Phase Change Materials. International Journal of Refrigeration. Vol. 35, pp. 984-991.
- Pudjiastuti, W. (2011). JENIS-JENIS BAHAN BERUBAH FASA DAN APLIKASINYA. J. Kimia Kemasan, Vol. 33, 118 – 123.