

TUGAS AKHIR

PEMBUATAN DX-EVAPORATOR TERINTEGRASI PCM DAN PENGUJIAN KINERJA PADA APLIKASI MESIN ES BALOK KRISTAL CETAKAN TUNGGAL



Oleh

I MADE DWI ADITYA PUTRA

D3 TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

TUGAS AKHIR

PEMBUATAN DX-EVAPORATOR TERINTEGRASI PCM DAN PENGUJIAN KINERJA PADA APLIKASI MESIN ES BALOK KRISTAL CETAKAN TUNGGAL



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE DWI ADITYA PUTRA

NIM. 2215223017

D3 TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Persetujuan.....	iii
Ucapan Terima Kasih.....	iv
Surat Pernyataan Bebas Plagiat.....	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	x
Daftar Gambar.....	xi
Abstrak Dalam Bahasa Indonesia.....	xiii
Abstrak Dalam Bahasa Inggris.....	xiv
Daftar Lampiran	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.4.1 Tujuan Umum.....	2
1.4.2 Tujuan Khusus.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1 Manfaat Teoritis.....	3
1.5.2 Manfaat Praktis.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Direct Expansion (DX).....	5
2.2 Pengertian Kinerja Mesin	5
2.3 Pengertian Kinerja Mesin Es Balok.....	6
2.4 Pengertian Es Balok.....	7
2.4.1 Es Balok Biasa.....	7

2.4.2 Es Balok Kristal.....	7
2.5 Mesin Es	7
2.6 Definisi Refrigerasi.....	7
2.7 Prinsip Dasar Refrigerasi.....	8
2.8 Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	8
2.8.1 Komponen Utama.....	8
2.8.2 Komponen Bantu.....	11
2.9 Refrigeran	13
2.9.1 Refrigeran Primer	13
2.9.2 Refrigeran Sekunder.....	14
2.10 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	14
2.11 PCM (Phase Change Material).....	16
2.12 Aplikasi PCM (Phase Change Material).....	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Jenis Penelitian	23
3.2 Rancangan Awal Evaporator Terintegrasi PCM.....	23
3.3 Alur Penelitian	24
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.5 Penentuan Sumber Data.....	26
3.6 Sumber Daya Penelitian	27
3.7 Instrumen Penelitian	27
3.8 Prosedur Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Rancangan Awal DX-Evaporator Terintegrasi PCM.....	33
4.1.1 Hasil Pembuatan DX-Evaporator Terintegrasi PCM.....	34
4.2 Pembahasan.....	40
4.2.1 Kinerja Temperatur Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal.....	41
4.2.2 Kinerja Temperatur PCM Pada Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal....	43
4.2.3 Kinerja Energi Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal.....	49

4.2.4 Proses Laju pertumbuhan es balok selama proses produksi.....	51
4.2.5 Kinerja Temperatur.....	52
4.2.6 Kinerja Energi.....	52
4.2.7 Kapasitas Produksi Mesin Es Balok Kristal.....	53
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa parafin	17
Tabel 2.2	Titik leleh dan panas peleburan beberapa non parafin	18
Tabel 2.3	Titik leleh dan panas peleburan beberapa asam lemak	18
Tabel 2.4	Titik leleh dan panas peleburan beberapa hidrat garam	20
Tabel 2.5	Titik leleh dan panas peleburan beberapa metalik	20
Tabel 2.6	Daftar PCM kombinasi organik anorganik	21
Tabel 2.7	Aplikasi PCM	27
Tabel 3.1	Penyusunan proposal tugas akhir.....	26
Tabel 3.2	Pengumpulan data.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Es balok biasa	6
Gambar 2.2	Es balok kristal	7
Gambar 2.3	Kompresor	9
Gambar 2.4	Kondensor.....	9
Gambar 2.5	Katup Ekspansi.....	10
Gambar 2.6	Evaporator	10
Gambar 2.7	<i>Filter Drayer</i>	11
Gambar 2.8	Akumulator.....	11
Gambar 2.9	Fan motor	12
Gambar 2.10	<i>Sight glass</i>	12
Gambar 2.11	<i>Liquid receiver</i>	13
Gambar 2.12	Refrigeran R - 404a.....	13
Gambar 2.13	Siklus refrigerasi kompresi uap.....	15
Gambar 2.14	Perubahan fase PCM.....	16
Gambar 3.1	Mesin es balok kristal cetakan tunggal sebelum dilakukan pergantian DX-Evaporator Terintegrasi PCM.....	23
Gambar 3.2	Rancangan awal Evaporator Terintegrasi PCM.....	24
Gambar 3.3	Diagram alur penelitian pembuatan dan pengujian kinerja DX-Evaporator	25
Gambar 3.4	Awal Evaporator yang digunakan.....	25
Gambar 3.5	Produksi Es Balok Kristal.....	29
Gambar 3.6	<i>Clamp meter</i> / tang ampere.....	30
Gambar 3.7	<i>Thermocouple</i>	30
Gambar 3.8	<i>Pressure gauge</i> / manifold	31
Gambar 4.1	Rancangan awal Evaporator Terintegrasi PCM.....	33
Gambar 4.2	Pembuatan pipa PCM.....	34
Gambar 4.3	Pembuatan pipa Evaporator.....	34
Gambar 4.4	Pengeboran Pada Pipa Header Evaporator.....	35

Gambar 4.5	Perakitan Pipa Evaporator dan Pipa PCM.....	36
Gambar 4.6	Proses Brazing Pada DX-Evaporator Terintegrasi PCM	37
Gambar 4.7	Proses Pengaplikasian DX-Evaporator Pada Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal.....	37
Gambar 4.8	Cetakan es balok kristal.....	38
Gambar 4.9	Cetakan plastik es balok kristal.....	39
Gambar 4.10	<i>engine crane</i>	39
Gambar 4.11	kinerja Temperatur pada sistem mesin es balok kristal cetakan Tunggal.....	41
Gambar 4.12	kinerja Temperatur T1 & T4 evaporator cetakan celup.....	42
Gambar 4.13	kinerja Temperatur T3 & T4 evaporator cetakan celup.....	42
Gambar 4.14	Temperatur T1 PCM.....	44
Gambar 4.15	Temperatur T2 PCM.....	45
Gambar 4.16	Temperatur T3 PCM.....	46
Gambar 4.17	Temperatur T4 PCM.....	47
Gambar 4.18	Temperatur T1, T2, T3, T4 PCM cetakan celup.....	45
Gambar 4.19	Variasi daya mesin es balok kristal tipe cetakan tunggal	48
Gambar 4.20	Konsumsi energi mesin es balok kristal	49
Gambar 4.21	Kinerja Daya cetakan celup-bio pcm	50
Gambar 4.22	konsumsi energi evaporator cetakan celup-bio pcm.....	50
Gambar 4.23	Proses Laju pertumbuhan es balok selama proses produksi.....	51
Gambar 4.24	Proses Laju pertumbuhan es cetakan celup-bio pcm.....	51

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan DX-Evaporator yang dipadukan dengan *Phase Change Material* (PCM) guna meningkatkan kinerja mesin pembuat es balok kristal. Pemilihan DX-Evaporator didasarkan pada kemampuannya mentransfer panas langsung dari refrigeran ke media pembekuan, sehingga proses pendinginan dapat berlangsung lebih cepat dan efisien. Sementara itu, penggunaan PCM berfungsi menjaga kestabilan temperatur di sekitar cetakan, mengurangi perubahan suhu yang drastis, serta membantu pembentukan es dengan kejernihan yang optimal.

Rangkaian kegiatan penelitian mencakup tahap perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe DX-Evaporator yang dilengkapi PCM pada mesin pembuat es balok kristal. Evaluasi kinerja dilakukan melalui pengukuran waktu pembekuan, kestabilan temperatur, konsumsi energi, serta kualitas visual es yang dihasilkan. Seluruh hasil pengukuran dibandingkan dengan sistem pembekuan konvensional tanpa PCM untuk menilai keunggulan rancangan yang dikembangkan.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa penerapan DX-Evaporator yang terintegrasi dengan PCM dapat mempercepat waktu pembekuan, mengurangi fluktuasi temperatur, dan menghasilkan es balok kristal dengan kejernihan lebih baik. Selain itu, sistem ini terbukti lebih hemat energi dibandingkan metode konvensional. Temuan ini menjadi salah satu alternatif solusi dalam pengembangan teknologi pembekuan yang efisien dan berkualitas, khususnya bagi industri es balok berskala kecil hingga menengah.

Kata kunci : DX-Evaporator, PCM, dan Es Balok Kristal.

ABSTRAK

This study focuses on the development of a DX-Evaporator combined with Phase Change Material (PCM) to enhance the performance of a crystal ice block manufacturing machine. The DX-Evaporator was selected for its ability to transfer heat directly from the refrigerant to the freezing medium, enabling a faster and more efficient cooling process. Meanwhile, PCM was utilized to maintain temperature stability around the mold, reduce drastic temperature fluctuations, and support the formation of highly transparent crystal ice.

The research stages included the design, fabrication, and testing of a DX-Evaporator prototype integrated with PCM for the crystal ice block machine. Performance evaluation was conducted by measuring freezing time, temperature stability, energy consumption, and the visual quality of the ice produced. The results were compared with those of a conventional freezing system without PCM to assess the effectiveness of the proposed design.

The test results showed that the integration of the DX-Evaporator with PCM significantly accelerated the freezing process, minimized temperature fluctuations, and produced crystal ice blocks with better clarity. Additionally, the system demonstrated higher energy efficiency compared to conventional methods. These findings offer an alternative solution for developing efficient and high-quality freezing technology, particularly for small- to medium-scale crystal ice block industries.

Keywords: DX-Evaporator, PCM, Crystal Ice Block.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bali merupakan pulau di Indonesia yang terkenal akan pariwisatanya, salah satu nya industri perhotelan. Banyak hal yang bisa di sajikan untuk memenuhi kebutuhan dari industri ini misalnya seperti es balok. Kita dapat menyajikan es balok yang eksklusif yaitu adalah es balok kritsal. Dimana es balok kristal ini dapat kita manfaatkan sebagai penyegar buah dan juga bisa diolah dengan memotong menjadi beberapa bagian kecil untuk disajikan pada minuman di bar. Permintaan terhadap es balok kristal meningkat seiring dengan perkembangan sektor kuliner ,khususnya di restoran dan kafe, yang memutamakan kualitas dan estetika dalam penyajian. Selain itu, efisiensi es balok kristal dalam menjaga suhu produk lebih lama menjadikan pilihan utama dalam industri pengawetan makanan (Pratama, I. 2024).

Untuk memproduksi es balok kristal yang dibutuhkan oleh industri tersebut Maka di perlukan mesin es balok kristal. Sebelumnya sudah terdapat mesin es balok kristal di Lab Refrigerasi Politeknik Negeri Bali. Akan tetapi produk es balok yang di hasilkan masih belum sesuai dengan kebutuhan industri, Kemudian pada saat panen es balok kristal. terdapat kendala dalam proses pengangkatan es balok kristal untuk keluar dari cetakan. Hal ini disebabkan karena adanya kebocoran pada bak es yang mengakibatkan bekunya cetakan sehingga mengalami kesulitan pada saat mengangkat es balok kristal. Oleh karena itu maka perlu dilakukan pengecekan pada bak es tersebut. Selain itu, PCM (*Phase Change Material*) pada es balok kristal berfungsi sebagai bahan penyimpan panas, yang memiliki kemampuan untuk melepaskan energi panas dalam jumlah besar dalam waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Suradita, I., Wibolo, A., & Susila, I. 2022).

Setelah itu, mesin es balok krital ini, akan melakukan pembuatan dan pengujian kinerja pada DX-Evaporator. Karena pada pengujian sebelumnya mesin es balok kristal ini pengaplikasian PCM belum optimum, sehingga akan kita

optimumkan untuk pengaplikasian PCM tersebut. Dari segi tampilan mesin es balok kristal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan urian latar belakang maka dapat dirumuskan masalah pada proposal tugas akhir sebagai berikut

1. Bagaimana kontruksi DX-Evaporator Terintegrasi PCM pada Aplikasi Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal?
2. Bagaimana kinerja dan kualitas produk dari DX-Evaporator Terintegrasi PCM Aplikasi Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal setelah dilakukan pergantian?

1.3 Batasan Masalah

Menurut rumusan masalah diatas, peneliti akan membatasi masalah yang telah diidentifikasi

1. Melakukan pembuatan pada DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal.
2. Melakukan pengujian kinerja dari DX-Evaporator yang telah di aplikasikan pada Mesin Es Balok Kristal Cetakan Tunggal.

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan Program Studi D3 Teknik Pendingin Dan Tata Udara pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan Khusus

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan ilmu dan memecahkan masalah–masalah yang ada sehingga adanya penelitian ini diharapkan memberikan pengaruh yang lebih baik, adapun tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini :

1. Dapat membuat DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal sesuai hasil perancangan.

2. Dapat Menentukan kinerja dan kualitas dari DX-Evaporator Terintegrasi PCM pada Aplikasi Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, agar dapat berguna serta memberikan manfaat yang baik. Jika penelitian ini berhasil, akan dapat memberikan manfaat secara teoritis dan praktis, diantaranya:

1.5.1 Manfaat Teoritis

1. Dapat digunakan sebagai referensi, acuan, dan pengembangan dalam pelaksanaan pengujian khususnya DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal bagaimana yang di harapkan .
2. Mengasah peneliti lain untuk mengembangkan lebih dalam hal hal yang perlu di kembangkan dalam optimasi konstruksi, pengujian kinerja, serta kualitas produk dari. khususnya DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal
3. Dijadikan sebagai pembanding dengan referensi lain mengenai konstruksi, kinerja, dan hasil produk DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal

1.5.2 Manfaat Praktis

1. Memberikan manfaat kepada peneliti lain yang bergelut di bidang refrigerasi khususnya pada mesin-mesin es sebagai pedoman dalam melaksanakan optimasi serta pengujian kinerja dan hasil produk DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin Es Balok Cetakan Tunggal yang sesuai dengan kebutuhan.
2. Diperuntukan juga sebagai kebutuhan referensi mengenai acuan penelitian dari bagaimana optimasi serta pengujian kinerja dan hasil produk dari DX-Evaporator Terintegrasi PCM Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal di Perpustakaan Politeknik Negeri Bali yang nantinya digunakan sebagai literatur dalam penulisan karya ilmiah. Bagi peneliti ataupun calon D3 Teknik Pendingin dan Tata Udara sebagai sumber referensi dalam melakukan optimasi serta

pengujian kinerja hasil produksi dari dari DX-Evaporator Terintegrasi PCM
Mesin ES Balok Kristal Cetakan Tunggal.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan Evaporator terintegrasi dengan PCM pada mesin es balok kristal cetakan tunggal dirancang dengan susunan pipa tembaga yang rapat dan merata, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perancangan, dapat disimpulkan bahwa DX-Evaporator terintegrasi PCM pada mesin es balok kristal cetakan tunggal berhasil dibuat dengan baik sesuai rancangan yang telah ditetapkan. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa proses perancangan, pembuatan, hingga perakitan komponen dapat berjalan optimal sehingga menghasilkan sistem pendingin yang sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi PCM juga berpotensi meningkatkan efisiensi pembekuan serta menjaga kestabilan suhu, sehingga mendukung tercapainya kualitas es balok kristal yang diharapkan.
2. Dapat disimpulkan bahwa kinerja dan kualitas DX-Evaporator terintegrasi PCM pada mesin es balok kristal cetakan tunggal berhasil ditentukan, sehingga menunjukkan kemampuan sistem dalam bekerja secara efisien sekaligus menghasilkan es dengan kualitas yang baik sesuai tujuan perancangan.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis ingin sampaikan berkenaan dengan proses pengujian dan beberapa kendala yang dihadapi khususnya dalam proses pengujian mesin es balok kristal hingga selama proses produksi es balok kristal, dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Tambahkan isolasi termal seperti PU foam, sesuaikan penempatan PCM dengan temperatur kerja evaporator, dan atur jarak antar pipa secara presisi untuk distribusi suhu yang merata.

2. Pasang sensor suhu di titik bawah, tengah, dan atas untuk memantau performa sistem secara real-time, serta perkuat struktur penyangga pipa agar lebih tahan lama dan mudah dirawat.
3. Lakukan manajemen kabel Temperatur yang rapi untuk meningkatkan keamanan dan kemudahan operasional sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, A., Djafar, Z., & Piarah, W. H. (2017). Analisa kinerja mesin refrigerasi rumah tangga dengan variasi refrigeran. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 3(2).
- Damar, s. A. (2023). *Analisis penyebab lambatnya air laut pada sistem reliquefaction di kapal gas widuri* (doctoral dissertation, politeknik ilmu pelayaran semarang).
- Faturrochman, d. G. (2018). *Analisis siklus refrigerasi pada prototipe alat pengering-dehumidifier* (doctoral dissertation, undip).
- Kepakisan, A. A. N. D. I. P., Suamir, I. N., & Negara, I. (2022). *Pengujian Dan Analisa Kinerja Mesin Es Balok Kristal Dengan bantalan Bio-PCM* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).
- Mahendra, I. (2024). *Optimasi Konstruksi dan Pengujian Kinerja Mesin Es Balok Kristal Tipe Cetakan Celup Bio-PCM* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).
- Mainil, R. I., Deswita, N., Mainil, A. K., & Aziz, A. (2020). Kondisi Kerja Mesin Refrigerasi Kompresi Uap pada Variasi Massa Refrigeran Hidrokarbon. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 19(2), 63-68.
- Nidha, I. (2024). *Rekondisi Sistem Kelistrikan pada Trainer Unit Mesin Refrigerasi Dasar* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).
- Prasetyo, D., Abrori, M. Z. L., & Pujiyanto, A. (2021). Pengoperasian Mesin Pendingin Untuk Coldstorage Penyimpanan Ikan Beku di Pt. Dwi Bina Utama Sorong. *Buletin Jalanidhitah Sarva Jivitam*, 3(1), 19-27.
- Pratama, I. (2024). *Pembuatan Apurva Old Fashioned Signature Cocktail oleh Bartender pada L'atelier By Cyril Kongo Di the Apurva Kempinski Bali* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).

- Priyambada, K. V. (2024). *Uji Karakterisasi Perubahan Fase pada Material Berubah Fase atau Pcm Jenis Organik untuk Aplikasi Cooler Box (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali)*.
- Riyadi, M., Budiarto, U., & Santosa, A. W. B. (2016). Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Sistem Pendingin Refrigerated Sea Water (RSW) Pada Kapal Ikan Tradisional. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1).
- Rondonuwu, b. (2016). *Penanggulangan gangguan dan masalah yang terjadi pada ac tipe central (doctoral dissertation, politeknik negeri manado)*.
- Setiawan, I., Negara, I., & Arsani, I. A. A. (2023). *Rancang Bangun Ulang Mesin Praktek Refrigerasi Dasar di Lab Refrigerasi (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali)*.
- Setiono, I. (2015). Akumulator, pemakaian dan perawatannya. *Metana*, 11(01).
- Siregar, M. S., Shevchenko, R. Z., & Wiweko, A. (2023). Penyebab Menurunnya Kinerja Mesin Pendingin di MV. Vancouver. *Mutiara: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(2), 89-100.
- Sunardi, C., Sutandi, T., Putra, A. D. D., & Kosasih, A. (2019). Pengaruh Refrigeran R-22 Dan Mc-22 Terhadap Performansi Sistem Refrigerasi Brine Cooling. *EDUSAINTEK*, 3.
- Suradita, I., Wibolo, A., & Susila, I. (2022). *Pengembangan rancangan mesin es balok kristal dengan bantalan bio-PCM (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali)*.
- Wisnawa, O. T. (2024). *Pemodelan Termodinamik Kinerja Energi Mesin Es Tube Kristal Tipe Flooded–Bio Refrigeran Sekunder yang Hemat Energi dan Ramah Lingkungan (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali)*.
- Yana, I., Suamir, I. N., & Midiani, L. P. I. (2022). *Analisa komparasi kinerja mesin es balok kristal dengan dan tanpa bantalan Bio-PCM (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali)*.