

# Pengembangan Mesin es Kristal Dengan Bantalan Bio-PCM

I Gusti Ngurah Yudistira <sup>1\*</sup>, Achmad Wibolo <sup>2</sup>, I Wayan Adi Subagia <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sarjana terapan TRU, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

<sup>2</sup> Sarjana terapan TRU, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

<sup>3</sup> Sarjana terapan TRU, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

\*Corresponding Author: [ngurahyudistira.ny@gmail.com](mailto:ngurahyudistira.ny@gmail.com)

**Abstrak:** Sistem refrigerasi yang salah satunya adalah mesin es balok kristal. Bisnis menjual es kristal di Indonesia semakin hari semakin banyak. Maraknya para pelaku usaha yang menjual es kristal dengan ukuran yang besar membuat konsumsi energi yang digunakan juga semakin tinggi dan mengenai waktu produksi yang dibutuhkan juga cukup lama. Ada banyak faktor yang dapat mengganggu proses dari produksi es salah satunya adalah listrik padam, dimana untuk memproduksi es listrik adalah hal yang paling utama, energi listrik akan digunakan untuk menghidupkan atau mengoperasikan sistem refrigerasi. Metode penelitian yang akan dilakukan adalah proses pembuatan mesin es, dimana pada mesin es ini akan diaplikasikan dengan Bio-PCM. Bio-PCM tersebut akan diletakan pada bagian bawah cetakan lebih tepatnya akan merendam evaporator. Hasil dari penelitian menunjukkan ada beberapa proses dalam pembuatan mesin es kristal, mulai dari gambar rancangan, pembuatan bodi, pembuatan box PCM, pembuatanudukan evaporator, pembuatan evaporator, hingga proses perakitan sistem refrigerasi, perakitan kelistrikan, dan menampilkan hasil perakitan. Pada saat pembuatan bodi bahan yang digunakan adalah besi hollow berukuran 3,5 cm x 3,5 cm dengan tebal 0,12 cm, dan dipotong menggunakan mesin gerinda, kemudian di satukan menggunakan las listrik dan las acetelin. Dalam proses pembuatan evaporator menggunakan bahan pipa stainless steel, dengan diameter 0,8 cm dengan tebal 0,12 cm, yang ditekuk menggunakan bending tool. Dari hasil running test, mesin es kristal belum dapat dikatakan bekerja dengan optimal dikarenakan tempertur PCM yang diukur di beberapa titik box belum merata dalam mencapai suhu kerja.

**Kata Kunci:** Mesin es kristal, proses pembuatan, Bio-PCM

**Abstract:** One of the refrigeration systems is a crystal block ice machine. The business of selling ice crystals in Indonesia is increasing day by day. The rise of business actors who sell ice crystals with large sizes makes the energy consumption used for maintenance higher and the production time required is also quite long. There are many factors that can interfere with the ice production process, one of which is a power outage, where to produce electric ice is the most important thing, electrical energy will be used to turn on or operate the refrigeration system. The research method that will be carried out is the process of making an ice machine, where this ice machine will be applied with Bio-PCM. The Bio-PCM will be placed at the bottom of the mold, more precisely, it will submerge the evaporator. The results showed that there are several processes in the manufacture of ice crystal machines, ranging from design drawings, body manufacture, PCM box manufacture, evaporator holder manufacture, evaporator manufacture, to the refrigeration system assembly process, electrical assembly, and display. from the assembly. At the time of making the body, the material used was hollow iron measuring 3.5 cm x 3.5 cm with a thickness of 0.12 cm, and cut using a grinding machine, then put together using electric welding and acetylene welding. In the process of making the evaporator using a stainless steel pipe with a diameter of 0.8 cm and a thickness of 0.12 cm which is bent using a bending tool. From the results of the running test, the ice crystal machine cannot be said to be working optimally because the PCM temperature measured at several points of the box has not been evenly distributed in reaching the temperature.

**Keywords:** Ice crystal machine, manufacturing process, Bio-PCM

**Informasi Artikel:** Pengajuan Repository pada September 2022/ Submission to Repository on September 2022

## Pendahuluan

Sistem refrigerasi yang salah satunya adalah mesin es balok kristal. Bisnis menjual es kristal di Indonesia semakin hari semakin banyak. Maraknya para pelaku usaha yang menjual es kristal dengan ukuran yang besar membuat konsumsi energi yang digunakan juga semakin tinggi dan mengenai waktu produksi yang dibutuhkan juga cukup lama [1]. Ada banyak faktor yang dapat mengganggu proses dari produksi es dimana salah satunya adalah listrik padam, dimana untuk memproduksi es listrik adalah hal yang paling utama dimana energi listrik

akan digunakan dalam untuk menghidupkan atau mengoperasikan sistem refrigerasi. Sehingga pada saat listrik padam suhu pendinginan akan naik sehingga produksi es akan terganggu dimana saat mesin mati temperatur akan naik yang menyebabkan es akan mencair, yang dimana kita tidak mengetahui lama dari pemadaman yang terjadi [2]. Es kristal merupakan air yang dibekukan dan biasanya dijadikan komponen pelengkap minuman [3]. Es kristal termasuk produk yang penting dalam berbagai bidang usaha seperti usaha kuliner maupun pabrik dan distributor karena dapat digunakan sebagai penyegar minuman dan pendingin makanan seperti daging, ikan dan bahan makanan lainnya [4]. Penggunaan es kristal menjadi lebih sering di Indonesia yang memiliki iklim tropis sehingga es kristal dapat menjadi cara untuk menghilangkan rasa haus dan mendinginkan suhu tubuh [5]. Es kristal ialah es yang lebih putih, bening, dan tembus cahaya [6]. Bio-PCM merupakan *Phase Change Materials* (PCM) merupakan material yang dapat ditempatkan diselubung, yang dapat melepas ataupun menyerap energi termal selama proses pemadatan dan peleburan dan mampu mempertahankan suhu yang sangat lama sehingga dapat memperlama proses on/off pada saat mesin bekerja [7]. Adapun sifat PCM yang memiliki titik beku yang sangat rendah, yang dapat bekerja pada suhu dibawah 0°C sehingga cocok untuk diaplikasikan pada mesin es, contoh dari PCM tersebut adalah *corn oil* yang merupakan PCM jenis organik yang terbuat dari minyak jagung. Bahan organik dari ester minyak jagung dan berbahan dasar air juga berpotensi menjadi PCM organik untuk temperatur di bawah 0°C. Campuran ester tersebut mampu menurunkan titik lebur dan titik beku air, sehingga mampu diterapkan pada aplikasi refrigerasi temperatur medium dan rendah. Disamping itu ester minyak jagung dan kedelai mampu menghilangkan super cooling dari air serta memiliki kalor laten yang masih tinggi, sehingga sangat cocok diterapkan sebagai bahan PCM organik untuk temperatur rendah seperti chest freezer [8]. Hal ini yang diharapkan dapat menjaga temperatur es pada saat terjadinya pemadaman listrik dan mampu meringankan kinerja dari kompresor. Dengan melihat latar belakang di atas, pengembangan mesin es kristal akan menempatkan Bio-PCM pada bagian evaporator, dimana PCM akan merendam evaporator yang akan langsung didinginkan, dimana pada saat suhu kerja telah tercapai PCM dapat mempertahankan suhu pendinginan lebih lama sehingga siklus on/off akan lebih sedikit terjadi [9], harapan dari penelitian ini adalah semoga dalam proses pembuatan alat nanti dapat berjalan dengan lancar dan baik sehingga mendapatkan hasil yang maksimal, agar pelaku usaha seperti kuliner baik untuk makanan ataupun untuk proses produksi es berjalan dengan baik dan dapat terhindar dari beberapa factor yang dapat mengganggu produksi dan hemat dalam mengkonsumsi daya [10].

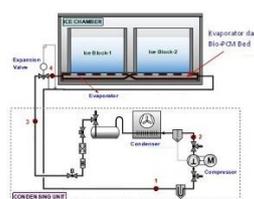
## Metode

Jenis penelitian yang penulis uraikan dalam proyek akhir ini adalah proses pembuatan desain gambar rancangan, proses pembuatan bodi, pembuatan tempat PCM, pemasangan sistem refrigerasi, pemasangan sistem kelistrikan, hingga melakukan tes fungsi pada alat.

Pada penelitian ini, penempatan PCM diletakan pada evaporator, dimana PCM diposisikan merendam evaporator yang akan menyentuh tutup dari box PCM.

## Hasil dan Pembahasan

Berikut merupakan gambaran dari mesin es kristal dengan bantalan Bio-PCM.



**Gambar 1.** Mesin es kristal dengan bantalan Bio-PCM

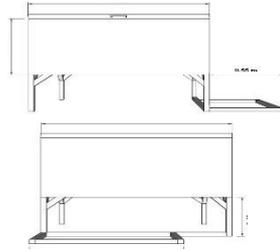
1. Berikut merupakan gambar rancangan dari mesin es Kristal

a. Berikut merupakan gambar rancangan bodi mesin es.

Panjang : 130 cm

Lebar : 128 cm

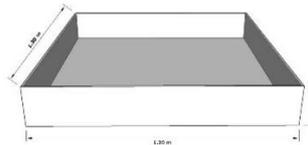
Tinggi : 55 cm



**Gambar 2.** Rancangan bodi mesin es

b. Berikut merupakan gambar rancangan box PCM.

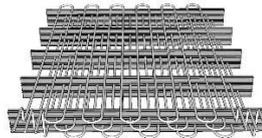
Panjang : 127 cm  
Lebar : 129 cm  
Tinggi : 19,5 cm



**Gambar 3.** Box bawah tempat PCM

c. Berikut merupakan gambar rancangan evaporator.

Panjang : 122 cm  
Lebar u-bend : 8,5 cm  
Tinggi : 15 cm (evaporator 1)  
11 cm (evaporator 2)  
7 cm (evaporator 3)



**Gambar 4.** Evaporator

d. Berikut merupakan gambar rancangan tutup box.

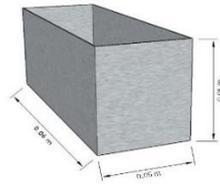
Panjang : 121 cm  
Lebar : 123 cm  
Tinggi : 7 cm



**Gambar 5.** Tutup box bawah

e. Berikut merupakan gambar rancangan cetakan es.

Panjang : 117 cm  
Lebar : 40 cm  
Tinggi : 47 cm



Gambar 6. Cetakan es

2. Berikut merupakan proses pembuatan

a. Pembuatan bodi mesin es

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : mesin las listrik dan las gas, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin *bending*, peralatan kerja pelat (penggaris, penggores, penitik, jangka, dan lain sebagainya), ptop kontak.

Bahan-bahan : besi *hollow*, besi siku, kawat las. Berikut merupakan proses pembuatan:

- 1) 3,5 x 3,5 cm, tebal 1,2 mm dipotong 55 cm sebanyak 4 buah, untuk kaki bodi
- 2) 3,5 x 3,5 cm, tebal 1,2 mm dipotong 74 cm sebanyak 2 buah.
- 3) 3,5 x 3,5 cm, tebal 1,2 mm dipotong 136 cm sebanyak 2 buah, dudukan bodi atas
- 4) 3,5 x 1,5 cm tebal 1 mm dipotong 136 cm sebanyak 2 buah untuk tutup mesin es
- 5) 3,5 x 1,5 cm tebal 1 mm dipotong 74 cm sebanyak 2 buah untuk tutup mesin es
- 6) Besi siku 3,5 mm x 3,5 mm tebal 1,2 mm dipotong 136 cm sebanyak 2 buah untuk bodi bagian atas
- 7) Besi siku 3,5 mm x 3,5 mm tebal 1,2 mm dipotong 74 cm sebanyak 4 buah untuk lebar bodi atas.
- 8) Besi siku 3,5 mm x 3,5 mm tebal 1,2 mm dipotong 62 cm sebanyak 4 buah untuk tinggi bodi
- 9) Mengelas semua bagian dari potongan besi tersebut
- 10) Merapikan hasil dari pengelasan besi tersebut



Gambar 7. Pembuatan bodi

b. Pembuatan box PCM

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : mesin las listrik dan las gas, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin *bending*, peralatan kerja pelat (penggaris, penggores, penitik, jangka, dan lain sebagainya), ptop kontak.

Bahan-bahan : plat *stainless*, kawat las. Berikut merupakan proses pembuatan:

- 1) Memotong *plat stainless* dengan ukuran 127 cm x 19,5 cm sebanyak 2 lembar
- 2) Memotong *plat stainless* dengan ukuran 129 cm x 19,5 cm sebanyak 2 lembar
- 3) Memotong *plat stainless* dengan ukuran 127 cm x 129 cm sebanyak 1 lembar
- 4) Menyatukan semua plat dengan las.



Gambar 8. Pembuatan box PCM

C. Pembuatan evaporator

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : mesin las listrik dan las gas, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin *bending*, peralatan kerja pelat (penggaris, penggores, penitik, jangka, dan lain sebagainya), ptop kontak.

Bahan-bahan : pipa stainless, kawat las. Berikut merupakan proses pembuatan:

- 1) Untuk evap pertama ukur panjang pipa yang akan keluar dari bodi sepanjang 15 cm setelah itu menekuk hingga mencapai sudut  $90^\circ$  buat ketinggian pipa pertama yaitu 15 cm lalu tekuk kembali pipa untuk memulai pembuatan alur eavaporator, buat panjang pipa evaporator 112 cm dan tekuk hingga  $180^\circ$  dengan jarak sisi luar pipa yaitu 10 cm membuat 11 lekukan  $180^\circ$  hingga pipa masuk dan keluar berada dalam posisi yang sama.
- 2) Untuk evap kedua ukur panjang pipa yang akan keluar dari bodi sepanjang 15 cm setelah itu menekuk hingga mencapai sudut  $90^\circ$  buat ketinggian pipa kedua yaitu 11 cm lalu tekuk kembali pipa sebesar  $90^\circ$  untuk memulai pembuatan alur eavaporator, buat panjang pipa evaporator 112 cm dan menekuk hingga  $180^\circ$  dengan jarak sisi luar pipa yaitu 10 cm membuat 11 lekukan  $180^\circ$  hingga pipa masuk dan keluar berada dalam posisi yang sama.
- 3) Untuk evap ketiga ukur panjang pipa yang akan keluar dari bodi sepanjang 15 cm setelah itu tekuk hingga mencapai sudut  $90^\circ$  membuat ketinggian pipa kedua yaitu 7 cm lalu menekuk kembali pipa sebesar  $90^\circ$  untuk memulai pembuatan alur eavaporator, membuat panjang pipa evaporator 112 cm dan tekuk hingga  $180^\circ$  dengan jarak sisi luar pipa yaitu 10 cm membuat 11 lekukan  $180^\circ$  hingga pipa masuk dan keluar berada dalam posisi yang sama.



Gambar 9. Pembuatan evaporator

d. Pembuatan tutup box.

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : mesin las listrik dan las gas, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin *bending*, peralatan kerja pelat (penggaris, penggores, penitik, jangka, dan lain sebagainya), ptop kontak.

Bahan-bahan : plat stainless, kawat las. Berikut merupakan proses pembuatan:

- 1) Memotong plat *stainless steel* dengan ukuran 121 cm x 123 cm sebanyak 1 lembar
- 2) Memotong plat *stainless steel* dengan ukuran 7 cm x 121 cm sebanyak 2 lembar
- 3) Memotong plat *stainless steel* dengan ukuran 7 cm x 123 cm sebanyak 2 lembar
- 4) Memotong plat *satainless steel* dengan ukuran 3 cm x 121 cm sebanyak 2 lembar
- 5) Memotong plat *stainless steel* dengan ukuran 3 cm x 123 cm sebanyak 2 lembar
- 6) Mengelas semua bagian sisi plat yang terhubung
- 7) Setelah itu untuk membuat lipatan pada bagian atas plat, melakukan proses pengelasan plat *stainless steel* dengan ukuran 3 cm x 121 pada bagian atas plat dengan ukuran menyesuaikan panjang plat dan sebagai lebar lipatan adalah 3 cm
- 8) Melakukan proses tersebut dengan plat ukuran 3 cm x 123 cm pada sisi berikutnya.



Gambar 10. Pembuatan tutup box

e. Pembuatan cetakan es

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : mesin las listrik dan las gas, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin *bending*, peralatan kerja pelat (penggaris, penggores, penitik, jangka, dan lain sebagainya), ptop kontak.

Bahan-bahan : plat stainless, kawat las. Berikut merupakan proses pembuatan:

- 1) Memotong plat *stainless* dengan ukuran 40 cm x 47 cm sebanyak 2 lembar
- 2) Memotong plat *satainless* dengan ukuran 117 cm x 47 cm sebanyak 2 lembar
- 3) Memotong plat *satainless* dengan ukuran 117 cm x 40 cm sebanyak 1 lembar
- 4) Memotong plat dengan ukuran 55 cm x 129 cm sebanyak 2 lembar
- 5) Memotong plat dengan ukuran 55 cm x 67 cm sebanyak 2 lembar
- 6) Memotong plat dengan ukuran 67 cm x 129 cm sebanyak 1 lembar
- 7) Lalu menyatukan setiap bagian dengan las.



Gambar 11. Pembuatan cetakan es

3. Perakitan sistem refrigerasi

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : las gas, mesin gerinda tangan, mesin bor, mesin , ptop kontak, refrigeran R404A, mesin *vacum*.

Bahan-bahan : bahan tambah yaitu kuningan dan borak. Berikut merupakan proses pembuatan :

- 1) Mengebor bodi
- 2) Memasang evaporator ke bodi
- 3) Menyambung pipa dari kondensor ke evaporator dengan las
- 4) Melakukan *flashing*
- 5) Melakukan tes kebocoran
- 6) Melakukan proses *vacum*
- 7) Mengisi refrigeran



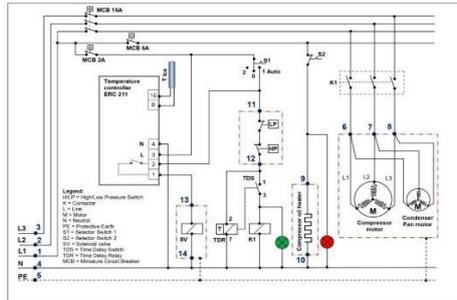
Gambar 12. Perakitan sistem refrigerasi

4. Perakitan sistem kelistrikan

Mempersiapkan alat dan bahan :

Alat-alat : obeng – dan +, kater, tang kombinasi

Bahan-bahan : kabel 3 x 1,5 mm, kabel 4 x 2,5 mm. Berikut merupakan proses pembuatan :

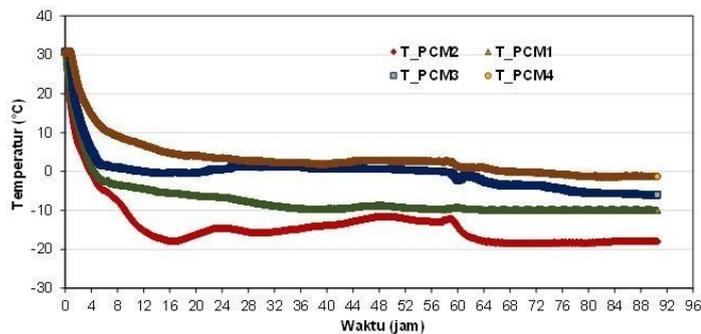


Gambar 13. Wiring kelistrikan

Pada diagram diatas, arus positif dan negatif terletak berjauhan untuk menghindari konsleting arus listrik. Arus listrik positif dari sumber 380 dan 220 volt mengalir melalui MCB (*Mini Circuit Breaker*) 1 phase dan 3 phase. Untuk listrik 3 phase menggunakan MCB 16 ampere. Untuk listrik keluaran satu phase menggunakan 2 macam MCB, yaitu MCB 2 ampere dan MCB 6 ampere. Untuk MCB 2 ampere terhubung ke S1 dan ke control suhu nomer 3, lalu keluaran control suhu nomor 1 akan dimasukan ke kumparan solenoid valve yaitu no 13 dan keluar melalui no 14 dan menuju nol. Kemudian menyambung kabel dari keluaran themprature controller no 2 menuju keluaran S1, setelah itu masuk ke kaki pressure switch no 11 dan keluaran pressure switch no 12 menuju kumparan relay no 2 dan ke relay no 1, dan keluaran relay no 7 menuju ke nol. Dari keluaran relay no 3 masuk menuju kumparan kontaktor dan lampu indikator warna hijau, Untuk MCB 6 ampere digunakan untuk menyalakan compressor oil heater, keluaran MCB 6 ampere pertama masuk menuju S2 (*selector switch 2*) dan masuk menuju heater yang terkoneksi dengan lampu indi kator berwarna merah. Setelah semua rangkaian control terkoneksi, sekarang mengkoneksikan listrik 3 phase menuju kontaktor dimana keluaran dari kontaktor tersebut dikoneksikan ke kompresor dan fan kondensor.

#### 5. Running Test

Running test ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat ini bekerja atau tidak. Cara memastikan mesin ini bekerja dengan normal ialah, jika temperatur sudah mencapai suhu  $-18^{\circ}\text{C}$ . Sensor yang terletak didalam box PCM yaitu terendam oleh PCM, maka kompresor akan terputus (mati), dikarenakan temprature controll yang telah di seting adalah  $-18^{\circ}\text{C}$ ., maka dari itu temprature controll akan memutus aliran listrik untuk selenoid valve. Tekananpun akan naik dan pressure switch akan mematikan sistem. Dan sitem akan kembali hidup jika, suhu PCM sudah naik hingga mencapai  $-16^{\circ}\text{C}$ .. Berikut merupakan gambar grafik tempratur dari PCM dimana ada 4 sudut pengukuran yang di pasang di dalam box.



Gambar 14. Grafik suhu PCM

Keterangan :

- 1) Garis grafik berwarna merah yaitu tempratur PCM yang berada di sudut box sebelah utara, yaitu di pipa masuk evaporator, yang berdampingan dengan sensor suhu dari themprature control.
- 2) Garis grafik berwarna hijau yaitu tempratur PCM yang berada di sudut box utara setelah pipa masuk evaporator.
- 3) Garis grafik berwarna biru yaitu tempratur PCM yang berada di sudut box selatan sebelum pipa keluar evaporator.

- 4) Garis grafik berwarna coklat yaitu temperatur PCM yang berada di sudut box selatan di pipa menuju keluaran evaporator.

Berdasarkan grafik diatas, dapat dijelaskan bahwa temperatur PCM yang diukur di dalam beberapa sudut box belum tercapai  $-18^{\circ}\text{C}$  dengan merata, sehingga mesin belum dapat bekerja dengan optimal

## Simpulan

1. Pada proses pembuatan bodi mesin es kristal bahan yang digunakan untuk pembuatan rangka adalah menggunakan besi hollow dengan 3,5 cm x 3,5 cm tebal 0,12 cm, dan di bungkus dengan plat besi dengan tebal 0,1 cm, yang di potong menggunakan gerinda dan dilakukan pengelasan menggunakan las listrik dan las acetelyne. Pada proses pembuatan evaporator, bahan yang digunakan adalah pipa stainless steel, dengan diameter pipa 8 mm dan dengan tebal 1,2 mm, yang dipotong menggunakan gerinda dan di tekuk menggunakan *bending tool* serta di las dengan las acetelyne, menggunakan bahan tambah kuningan yang dibantu dengan bahan perekat. Pada proses pembuatan box PCM setra tutup box menggunakan bahan plat stainless steel dengan tebal 0,15 cm, yang di potong menggunakan gerinda dan disatukan dengan las stainless.
2. Dari hasil pengukuran pada saat *running test* temperatur PCM yang diletakan 4 titik di dalam box, menyatakan bahwa temperatur PCM belum mencapai suhu kerja dengan merata, sehingga mesin es dapat dikatakan belum bekerja dengan normal atau optimal.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan, bimbingan, arahan dan dukungan dari bapak dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik. Juga teman sejawat yang telah memberikan masukan serta dukungan dan juga seluruh dosen dan staf akademik yang telah membantu memberikan fasilitas dan ilmunya dalam penyelesaian penelitian ini.

## Daftar pustaka

- [1] Abbat, A. (1981). *Development of modular heat exchanger with an integrated latent heat storage*. German: Germany Ministry of Science and Technology.
- [2] Sharma, A. V. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Review* 13, 318 - 345.
- [3] Pudjiastuti, W. (2011). JENIS-JENIS BAHAN BERUBAH FASA DAN APLIKASINYA. *J. Kimia Kemasan, Vol. 33*, 118 - 123.
- [4] Solli Dwi Murtyas, S. N. (2018). PEMODELAN PHASE CHANGE MATERIALS PADA DISTRIBUSI TERMAL. *Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2*, 2.
- [5] Suamir, I. N. (2016). *Refrigrasi dan Tata Udara*. Badung: Politeknik Negeri Bali.
- [6] George A. (1989). Phase change thermal storage materials. In G. C. Ed, *In Hand book of thermal design*. McGraw Hill Book Co.
- [7] kho, D. (2020). *Cara Menggunakan Tang Ampere (Clamp Meter) dan Prinsip Kerjanya*. Retrieved from Teknik Lektrotronika: <https://teknikelektronika.com/cara-menggunakan-tang-ampere-clamp-meter-prinsip-kerja>
- [8] Buddhi, D. a. (1994). Proceedings on thermal energy storage and energy conversion. In *School of Energy and Environmental Studies*. Indore. India: Devi Ahilya University.
- [9] Ardita. (2013). *Praktek Refrigerant Industri dan Komersial*. Badung-Bali: Politeknik Negeri Bali.
- [10] Wikipedia. (2021). *Termokopel*. Retrieved from Wikipedia ensiklopedia bebas: <https://id.wikipedia.org/wiki/Termokopel>