



## Pengembangan Sistem Pendingin Cold Box Penyimpanan Ikan Dengan Pemanfaatan Pcm

Silviana Simbolon<sup>1</sup>, Sigit Bagus Hakim<sup>2</sup>, Marwan<sup>3</sup>, Sukendar<sup>4</sup>, Yuliarman<sup>5</sup>, Kusdi prijono<sup>6</sup>,  
Muhammad Yunus<sup>5</sup>

<sup>123</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Pamulang

<sup>46</sup>Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

<sup>5</sup>Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

<sup>7</sup>Pusat Teknologi Dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

<sup>1</sup>dosen01923@unpam.ac.id <sup>4</sup>muha184@brin.go.id

### Abstract

One of the technologies in the refrigeration system to improve power and cost efficiency is to utilize technology to overcome this problem is to use phase change materials (PCM) to replace standard refrigerants. The purpose of this study is an attempt to reduce the operational cost of fish storage with a cold box cooling system for fish storage by utilizing PCM. The method used in this research is the experimental method. From the results of the study obtained data using a variation of 2 PCM compressor takes 219.7 minutes when mode ON for 7 hours of testing, variation 4 PCM compressor takes 202.7 minutes when mode ON for 7 hours of testing, variation 6 PCM takes 177.4 minutes when mode ON for 7 hours of testing. With this variation 6 PCMs are more optimal in helping to reduce compressor working time. The more the number of PCMs placed in the cold box can help reduce the compressor on/off cycle and the electrical energy required by the compressor is more efficient, the most efficient variation is the 6 PCM variation with a power efficiency of 15.31%. With the use of PCM can save operational costs up to 59.54% compared to using ice blocks. The design of cold boxes using PCM will benefit after 3 months of use compared to using block ice.

Keywords: phase change material, cold box, salt, glycerol, aquades

### Abstrak

Salah satu teknologi pada sistem pendingin untuk meningkatkan efisiensi daya dan biaya adalah memanfaatkan teknologi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan bahan pengubah fasa (PCM) untuk menggantikan pendingin standar. Tujuan dari penelitian ini adalah usaha menekan biaya operasional penyimpanan ikan dengan sistem pendingin *cold box* penyimpanan ikan dengan pemanfaatan PCM. Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda eksperimental. Dari hasil penelitian didapatkan data dengan menggunakan variasi 2 PCM kompresor membutuhkan waktu 219.7 menit saat mode ON selama 7 jam pengujian, variasi 4 PCM kompresor membutuhkan waktu 202.7 menit saat mode ON selama 7 jam pengujian, variasi 6 PCM membutuhkan waktu 177.4 menit saat mode ON selama 7 jam pengujian. Dengan ini variasi 6 PCM lebih optimal membantu penurunan waktu kerja kompresor. Semakin banyak jumlah PCM yang diletakan pada *cold box* dapat membantu penurunan siklus *on/off* kompresor dan energi listrik yang dibutuhkan kompresor semakin efisien, variasi yang paling efisien yaitu variasi 6 PCM dengan efisiensi daya sebesar 15,31%. Dengan pemakaian PCM dapat menghemat biaya operasional hingga 59,54% dibandingkan dengan menggunakan es balok. Perancangan *cold box* menggunakan PCM akan terasa manfaatnya setelah pemakaian selama 3 bulan penggunaannya dibandingkan menggunakan es balok.

Kata kunci: phase change material, cold box, salt, gliserol, aquades

## 1. Pendahuluan

Perkembangan industri kelautan dan perikanan Indonesia sangat besar karena Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan yang dua pertiga wilayahnya merupakan perairan. Hal yang perlu diperhatikan setelah penangkapan ikan pada umumnya adalah menjaga kesegaran ikan sampai ke tangan konsumen. Apabila kesegaran ikan tinggi menunjukkan kualitas ikan sangat baik atau kondisi ikan mirip dengan ikan yang baru ditangkap dilihat dari parameter kemampuan fisik, bau, rasa dan tekstur. Apabila kesegaran ikan rendah maka kualitasnya menurun yang ditandai dengan perubahan fisik atau pembusukan ikan. Salah satu faktor yang mempercepat pembusukan ikan adalah suhu dan kadar air yang tinggi [1]. Menjaga kualitas ikan dilakukan dengan mengawetkan ikan dengan cara didinginkan dan dibekukan dalam kotak penyimpanan. Fungsi kotak penyimpanan adalah untuk menjaga kesegaran hasil tangkapan sehingga hasil ikan tidak kehilangan nilai ekonomisnya [2].

Perahu yang digunakan nelayan tradisional tidak memiliki pendingin atau freezer. Biasanya, balok-balok es yang dipecah kecil-kecil digunakan untuk mendinginkan ikan hingga mencapai daratan. Alasan penggunaan es balok adalah karena harganya yang lebih murah [3]. Salah satu cara memanfaatkan teknologi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan bahan pengubah fasa (PCM) untuk menggantikan pendingin standar [4]. Bahan pengubah fasa (PCM) adalah jenis bahan penyimpanan energi berdasarkan fusi atau pemadatan panas laten. Ketika suatu zat bertransisi dari padat ke cair, dari air ke gas, atau dari padat ke padat [5][6][7]

Penelitian yang dilakukan Jefri Ramadhan (2022) bertujuan untuk membuat kerangka lain yang berfungsi pada chiller atau cool box yang dapat memberikan efektivitas energi dengan menggunakan alat yang menggunakan PCM (*stage change material*), bahan yang digunakan adalah air-garam, propilen glikol dan metanol yang merupakan bahan yang baik untuk membuang panas. varietas yang digunakan adalah 70% Aquades, 12,10,8 wt.% garam dan 22,20,18 wt.% dalam Propylene Glycol dan Metanol dengan varietas tersebut memberikan hasil yang baik dalam efisiensi energi pada pemanfaatan *cold stockpiling* atau *cold box*, dengan variasi tersebut cenderung terlihat bahwa PCM dengan presentasi terbaik adalah PCM dengan campuran Propilen Plikol dengan variasi campuran 70% Aquades, 10%NaCl, 20% Propilen Glikol dengan efisiensi energi mencapai 11,11% selama pengoperasian dalam waktu 90 menit oleh Mochammad soleh.2018 tentang Analisa Kinerja Dan Karakteristik Eutectic Water-Salt [8].

Penelitian lainnya oleh I Nyoman Suamir, I made Rasta, dianalisa *Chest freezer* sebagai sistem pendingin. Agar dapat memenuhi sebagian besar kebutuhan beban pendinginan yang ekstrim, *Chest freezer* umumnya dirancang dengan kapasitas yang lebih besar daripada beban pendinginan yang diperlukan. Oleh karena itu, sistem *Chest freezer* menjadi kurang efektif dan kurang dapat diandalkan karena terus menyala dan

mati selama beraktivitas. Dengan cara ini, penting untuk mengembangkan sistem *Chest freezer* yang dapat

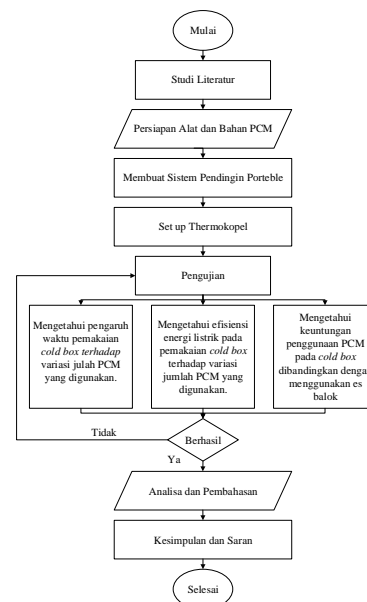
mengurangi siklus nyala-mati *blower* dan menghemat uang dalam penggunaan energi fosil. Eksplorasi ini mengkaji inovasi pendingin *chest cooler* dengan siklus *blower* kecil dan kemungkinan dapat digabungkan dengan sumber daya berkelanjutan. Metodologi inovatif yang diterapkan adalah inovasi *Chest freezer* berdasarkan bahan pengubah tahapan minyak nabati (bio-PCM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan bio-PCM dapat mengurangi siklus *blower* dan dapat menjaga suhu barang di bawah -15°C. Pemanfaatan energi dari inovasi pendingin yang diusulkan setara dengan pendingin tanpa bio-PCM. Namun, bio-PCM dapat menyebabkan pendingin dada mungkin dapat bekerja sama dengan sumber energi berbasis sinar matahari [9].

Penelitian oleh Bintang Fikri, dilakukan untuk mengetahui kapasitas pendinginan *ice gel* yang ada dipasaran. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *ice box*, *ice gel*, *thermocouple*, dan ikan sebagai bebannya. Eksperimen dilakukan dengan menyusun *ice gel* dan ikan secara bertumpuk di dalam *ice box*. Pengukuran temperatur dilakukan selama delapan jam. Selain temperatur *ice box*, temperatur internal ikan juga diukur di awal dan akhir pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *ice gel* dapat menurunkan dan mempertahankan temperatur penyimpanan ikan pada temperatur 5-6 °C dan rata-rata temperatur internal ikan pada 4,23 °C [10].

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan *cold box* dan PCM. Selanjutnya merakit kerangka kotak pendingin agar dapat berfungsi sebagai sistem perangkat pendingin yang memnghasilkan kondisi suhu yang sesuai desain awal pembuatan *cold box* dan pembuatan kotak untuk wadah tempat PCM dimasukkan.

### 2.1 Rancangan Skema Penelitian



Gambar 1. Rancangan Skema Penelitian

Rancangan skema penelitian dapat dilihat pada Gambar 1, pada rancangan dimana tahap pertama yang dilakukan yaitu

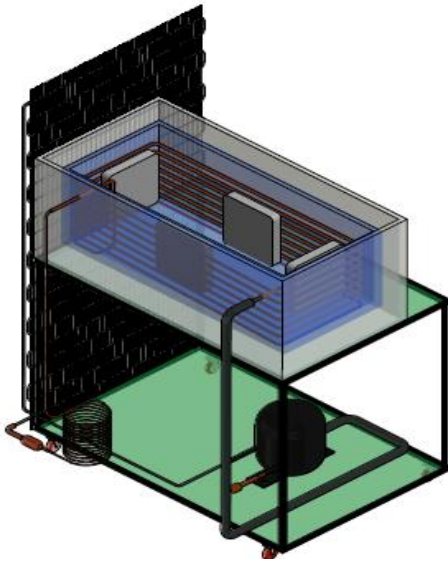
dengan melakukan studi literatur, selanjutnya melakukan persiapan alat dan bahan, dilanjutkan dengan pembuatan kerangka untuk pembuatan *cold box*, setelah selesai dibuat maka akan dilakukan pengujian pada PCM sesuai dengan apa yang mau diuji, setelah pengujian selesai maka kita dapat mengetahui hasil dari pengujian tersebut.

## 2.2 Perancangan Alat

Dalam perancangan *cold box* ini, terlebih dahulu melakukan penyesuaian alat dan bahan yang akan dibuat dengan memerhatikan spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam penelitian ini, dan selanjutnya membuat gambar desain *cold box*.

### 1. Perancangan Rangka Cold Box

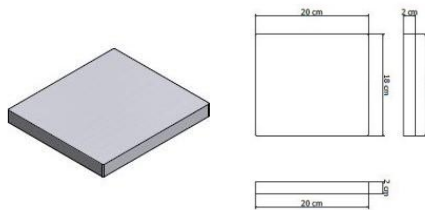
Rangka *cold box* digunakan agar dapat berfungsi sebagai sistem perangkat pendingin yang menghasilkan kondisi suhu yang sesuai sebagai langkah pertama sebelum memulai pengujian kinerja PCM. Rangka *cold box* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan Rangka Cold Box

### 2. Perancangan Wadah PCM

Wadah PCM dibuat menggunakan aluminium dengan ukuran panjang 20 cm, lebar 2 cm, dan tinggi 18 cm, yang akan digunakan sebagai tempat cairan campuran PCM. Wadah PCM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Wadah PCM

### 3. Perhitungan Massa Campuran PCM

Dapat diketahui massa *salt* (2,16 gr/cm<sup>3</sup>), massa *aquades* (1,01 gr/cm<sup>3</sup>) dan massa gliserol (1,26 gr/cm<sup>3</sup>), dengan perbandingan (*aquades* 70%, gliserol 22%, dan *salt* 8%).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Diketahui:

$\rho$  : Massa Jenis ( $\frac{gr}{cm^3}$ )

m : Massa (gr)

V : Volume (cm<sup>3</sup>)

$$m_{total} = 8\% p_{salt} \cdot v + 22\% p_{gliserol} \cdot v + 70\% p_{aquades} \cdot v$$

$$m_{total} = 8\% 2,16gr/cm^3 \cdot 720cm^3 + 22\% 1,26 gr/cm^3 \cdot 720cm^3 + 70\% 1,01gr/cm^3 \cdot 720cm^3$$

$$m_{total} = 8\% 1555,2gr + 22\% 907,2gr + 70\% 727,2gr$$

$$m_{total} = 124,416gr + 199,584gr + 509,04gr$$

$$m_{total} = 833,04 gr$$

### 4. Perhitungan Efisiensi Energi Penggunaan Listrik

Untuk perhitungan efisiensi daya penggunaan listrik pada kompresor dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\eta = \frac{W \text{ tanpa PCM} - W \text{ PCM}}{W \text{ tanpa PCM}} \times 100\%$$

### 5. Perhitungan Rumus Kompresor

Kompresor adalah salah satu komponen utama pada *cold box*, maka dari itu daya kompresor dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$p = v \times I$$

Dimana

p : Daya kompresor (watt)

v : Tegangan (volt)

I : Kuat arus listrik (ampere)

$$p = 220 \text{ volt} \times 1,4 \text{ ampere}$$

$$p = 308 \text{ watt}$$

Rumus energi listrik yang dibutuhkan:

$$W = p \times t$$

Dimana:

W : energi listrik yang dibutuhkan (joule)

p : Daya kompresor (watt)

t : Waktu (jam)

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini menghasilkan beberapa data dan analisa.

#### 3.1 Data Hasil Pengujian Variasi PCM

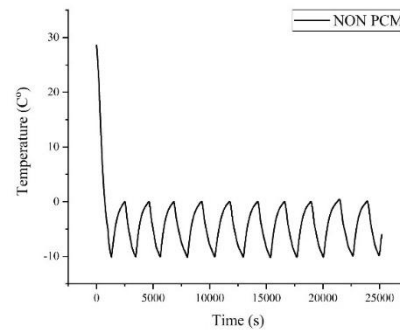
Analisa PCM akan dibandingkan dengan tanpa menggunakan PCM dan menggunakan variasi jumlah 2 PCM, 4 PCM, dan 6 PCM untuk mempelajari seberapa baik kinerja setiap variasi PCM dan seberapa besar efisiensi yang dapat dicapai. Hasil uji kerja ditampilkan dalam bentuk kurva dan tabel yang menunjukkan kinerja setiap variasi PCM berdasarkan pengukuran yang dilakukan dengan kompresor dihidupkan dan dimatikan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui dampak dan efisiensi energi yang dihasilkan variasi PCM. Hasil kerja ditampilkan dalam hitungan menit pada Tabel 1, beserta durasi mode on/off kompresor yang berkorelasi dengan biaya pengoperasian.

##### 1. NON PCM

Tabel 1. Siklus ON/OFF NON PCM

ON/OFF Kompresor	Waktu (Menit)
Kompresor ON	21,58
Kompresor OFF	19,5
Kompresor ON	16,56
Kompresor OFF	19,56
Kompresor ON	16,56
Kompresor OFF	20,13
Kompresor ON	19,53
Kompresor OFF	20,95
Kompresor ON	19,53
Kompresor OFF	20,95
Kompresor ON	19,61
Kompresor OFF	21,7
Kompresor ON	20,06
Kompresor OFF	21,43
Kompresor ON	18,46
Kompresor OFF	21,03
Kompresor ON	17,9
Kompresor OFF	21,1
Kompresor ON	18
Kompresor OFF	21,03
Kompresor ON	23,2
Kompresor OFF	19,96

Dari Tabel 1 dapat dilihat siklus *on/off* pada *NON PCM* relatif sangat stabil dengan jumlah 11 kali selama 7 jam pengambilan data dengan total kompresor *ON* selama 209.5 menit dan kompresor *OFF* selama 210.5 menit.



Gambar 4. Grafik NON PCM

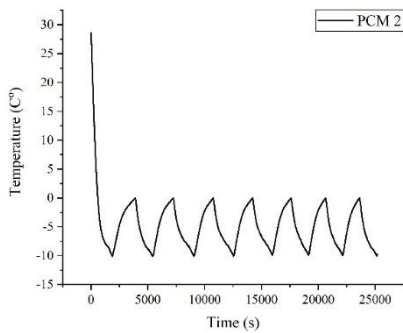
Uji kinerja *NON PCM* dapat dilihat pada Gambar 4. Suhu percobaan terendah adalah  $-10^{\circ}\text{C}$ , dan suhu tertinggi adalah  $0^{\circ}\text{C}$ . Setelah waktunya mencapai sekitar 25200 detik, percobaan ini dilakukan. Terbukti dari hasil kinerja di atas yang *NON PCM*. membutuhkan waktu 21.58 menit pada saat kompresor menyala untuk dapat mencapai suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  dari suhu awal *cold box*  $28.62^{\circ}\text{C}$ , sementara saat kompresor mati memerlukan waktu 19.5 menit sampai mencapai suhu  $0^{\circ}\text{C}$  pada siklus pertama *on/off*.

##### 2. Variasi 2 PCM

Tabel 2. Siklus ON/OFF Variasi 2 PCM

ON/OFF Kompresor	Waktu (Menit)
Kompresor ON	30,78
Kompresor OFF	33,96
Kompresor ON	25,18
Kompresor OFF	30,56
Kompresor ON	29,8
Kompresor OFF	28,93
Kompresor ON	29,46
Kompresor OFF	28,26
Kompresor ON	28,73
Kompresor OFF	27,56
Kompresor ON	25,46
Kompresor OFF	25,1
Kompresor ON	25,1
Kompresor OFF	24,7
Kompresor ON	25,13
Kompresor OFF	1,23

Dari Tabel 2 dapat dilihat siklus *on/off* pada variasi 2 PCM relatif sangat stabil dengan jumlah 8 kali selama 7 jam pengambilan data dengan total kompresor *ON* selama 219.7 menit dan kompresor *OFF* selama 200.03 menit.



Gambar 5. Grafik Variasi 2 PCM

Uji performa kedua variasi 2 PCM ditunjukkan pada Gambar 5. Pada percobaan ini suhu terendah yang dicapai adalah  $-10^{\circ}\text{C}$  dan suhu tertinggi  $0^{\circ}\text{C}$ . Setelah waktu kurang lebih 25200 detik, PCM didinginkan terlebih dahulu selama 15 jam dalam lemari es *freezer* standar sebelum percobaan ini dilakukan. Terbukti dari hasil performa di atas yang merupakan variasi dari 2 PCM membutuhkan waktu 30,78 menit pada saat kompresor menyala untuk dapat mencapai suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  dari suhu awal *cold box*  $28,62^{\circ}\text{C}$ , sementara pada saat kompresor mati memerlukan waktu 33,96 menit sampai mencapai suhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Dibandingkan dengan tanpa menggunakan PCM, variasi 2 PCM ini mengalami penurunan suhu yang begitu lama dan kenaikan suhu yang relatif sama dikarenakan variasi 2 PCM ini malah menjadi beban bagi kompresor, dikarenakan konduktivitas termal yang di keluarkan oleh variasi 2 PCM lebih cepat menyebar yang disebabkan oleh ukuran dari *cold box* yang lebih besar di bandingkan dengan volume atau jumlah PCM yang di gunakan maka kerja kompresor menjadi lebih berat dibandingkan dengan tidak menggunakan PCM walau pun dengan penambahan PCM dapat mengurangi siklus *on/off* kompresor.

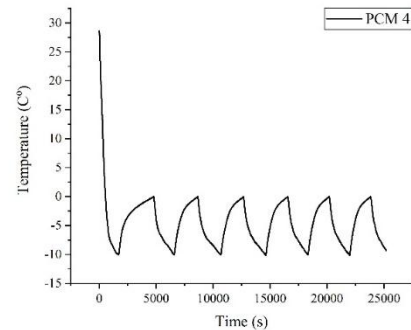
### 3. Variasi 4 PCM

Tabel 3. Siklus ON/OFF Variasi 4 PCM

ON/OFF Kompresor	Waktu (Menit)
Kompresor ON	27,78
Kompresor OFF	51,76
Kompresor ON	29,33
Kompresor OFF	35,26
Kompresor ON	32,8
Kompresor OFF	34,03
Kompresor ON	31,36
Kompresor OFF	33,53
Kompresor ON	29,33
Kompresor OFF	31,53
Kompresor ON	29,33
Kompresor OFF	31,3
Kompresor ON	22,95

Dari Tabel 3 dapat dilihat siklus *on/off* pada variasi 4 PCM ada perlambatan di awal siklus dan relatif sama di siklus berikutnya dengan mengalami siklus sebanyak 6 kali selama 7

jam pengambilan data dengan total kompresor *ON* selama 202,7 menit dan kompresor *OFF* selama 217,3 menit.



Gambar 6. Grafik Variasi 4 PCM

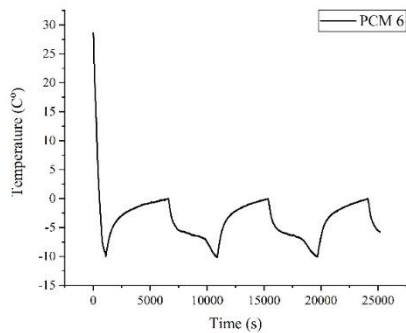
Uji kinerja ketiga variasi 4 PCM ditunjukkan pada Gambar 6. Pada percobaan ini suhu terendah yang dicapai adalah  $-10^{\circ}\text{C}$  dan suhu tertinggi  $0^{\circ}\text{C}$ . Setelah PCM didinginkan selama 15 jam, dan setelah mencapai waktu kurang lebih 25200 detik, percobaan ini dilakukan. Terdapat variasi 4 PCM, terlihat dari hasil performa di atas membutuhkan waktu 27,78 menit dengan kompresor menyala untuk dapat mencapai suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  dari suhu awal *cold box*  $28,62^{\circ}\text{C}$ , sementara saat kompresor mati memerlukan waktu 51,76 menit sampai mencapai suhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Dibandingkan dengan variasi 2 PCM, variasi 4 PCM mengalami penurunan suhu awal lebih cepat dari variasi 2 PCM, dikarenakan variasi 4 PCM lebih lambat dalam mengeluarkan konduktivitas termalnya disebabkan banyaknya volume atau jumlah PCM yang digunakan dengan ukuran *cold box* yang sama, sehingga variasi 4 PCM lebih optimal dalam melepas konduktivitas termalnya, dibuktikan juga dengan pada saat kompresor mati variasi 4 PCM dapat menjaga temperatur dengan sangat baik sehingga cukup lama bagi kompresor untuk kembali menyala. Dengan penambahan volume atau jumlah PCM juga dapat mengurangi siklus *on/off* kompresor.

### 4. Variasi 6 PCM

Tabel 4. Siklus ON/OFF Variasi 6 PCM

ON/OFF Kompresor	Waktu (Menit)
Kompresor ON	18,41
Kompresor OFF	91,33
Kompresor ON	69,86
Kompresor OFF	75,9
Kompresor ON	70,76
Kompresor OFF	75,36
Kompresor ON	18,35

Dari Tabel 4 dapat dilihat siklus *on/off* pada variasi 6 PCM ada perlambatan di awal siklus dan relatif sama di siklus berikutnya dengan mengalami siklus sebanyak 3 kali selama 7 jam pengambilan data dengan total kompresor *ON* selama 177,4 menit dan kompresor *OFF* selama 242,6 menit.



Gambar 7. Grafik Variasi 6 PCM

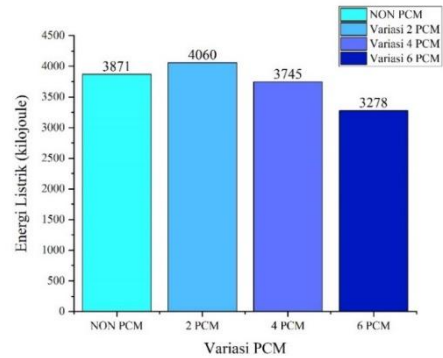
Uji kinerja keempat variasi 6 PCM ditunjukkan pada Gambar 7. Pada percobaan ini suhu terendah yang dicapai adalah  $-10^{\circ}\text{C}$  dan suhu tertinggi  $0^{\circ}\text{C}$ . Setelah PCM didinginkan selama 15 jam, dan setelah mencapai waktu kurang lebih 25200 detik, percobaan ini dilakukan. Terbukti dari hasil performa di atas terdapat variasi 6 PCM membutuhkan waktu 18,41 menit untuk dapat mencapai suhu  $-10^{\circ}\text{C}$  dari suhu awal *cold box*  $28,62^{\circ}\text{C}$  sementara saat kompresor mati memerlukan waktu 91,33 menit sampai mencapai suhu  $0^{\circ}\text{C}$ . Dibandingkan dengan *NON PCM*, variasi 2 PCM, dan variasi 4 PCM, pada variasi 6 PCM lebih cepat menurunkan suhu awal *cold box* di karenakan variasi 6 PCM mampu memperlambat dalam mengeluarkan konduktivitas termalnya di karenakan banyaknya volume atau jumlah PCM yang digunakan dengan ukuran *cold box* yang sama, sehingga variasi 6 PCM lebih optimal dalam mempertahankan suhu di dalam *cold box* dibuktikan juga pada saat kompresor mati variasi 6 PCM mampu menjaga temperatur dengan sangat lama. Dengan menggunakan variasi 6 PCM mampu menurunkan siklus *on/off* yang berkerja pada kompresor.

### 3.2 Kebutuhan Energi Listrik Pada *Cold Box*

Tabel 5. Waktu Kinerja PCM

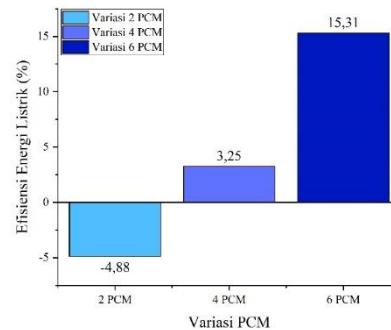
Variasi PCM	Waktu ON (menit)	Waktu OFF (menit)	Total	Persentase ON	Persentase OFF
NON PCM	209,5	210,5	420	49,88%	50,12%
Variasi 2 PCM	219,7	200,3	420	52,31%	47,69%
Variasi 4 PCM	202,7	217,3	420	48,26%	51,74%
Variasi 6 PCM	177,4	242,6	420	42,24%	57,76%

Dari Tabel 5 dapat kita hitung besarnya energi listrik yang di perlukan saat pengoperasian dalam waktu 7 jam pada masing-masing variasi PCM. Semakin lama waktu *on* pada kompresor semakin banyak energi listrik yang dibutuhkan.



Gambar 8. Grafik Energi Listrik Variasi PCM

Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa energi listrik yang paling baik yaitu variasi 6 PCM. Dengan menggunakan variasi 6 PCM mampu menurunkan kebutuhan energi listrik yang digunakan selama 7 jam pengujian masing masing variasi PCM, sehingga dapat menghemat biaya listrik yang digunakan selama pengujian atau pengoprasiannya. Setelah didapatkan energi listrik yang diperlukan pada masing-masing variasi jumlah PCM maka dapat diketahui efisiensi energi listrik pada *cold box* pada masing-masing variasi jumlah PCM.



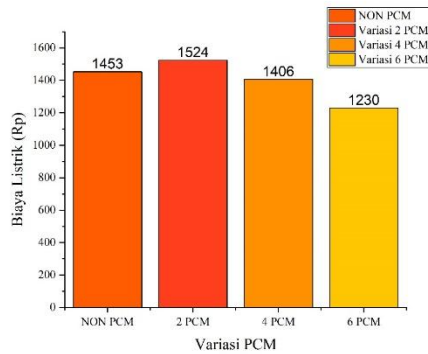
Gambar 9. Grafik Efisiensi Energi Listrik Variasi PCM

Pada Gambar 9 menunjukkan bahwa energi listrik merupakan jenis energi yang paling efisien pada variasi jumlah PCM dibandingkan dengan tanpa PCM yaitu variasi 6 PCM dengan efisiensi daya sebesar 15,31%. Sedangkan variasi jumlah PCM yang kurang efisien yaitu variasi 2 PCM dengan efisiensi -4,88%.

### 3.3 Analisa Ekonomi

Biaya listrik yang diperlukan *cold box* pada saat beroperasi dapat kita tentukan dengan mengetahui kebutuhan energi listrik pada setiap variasi PCM selama 7 jam, dengan perkiraan harga/kWh golongan R-1/TR 900 VA adalah Rp 1.352 /kWh.





Gambar 10. Grafik Biaya Listrik 7 Jam Pengujian

Dari perhitungan biaya variasi PCM di atas dapat diketahui bahwa variasi 6 PCM yang paling murah biaya penggunaan listriknya selama 7 jam pengoperasiannya dengan hanya memerlukan biaya sebesar Rp 1.230, sementara itu penggunaan variasi 2 PCM biaya listrik yang dibutuhkan selama pengoperasiannya memerlukan biaya sebesar Rp 1.524 lebih mahal dibandingkan dengan variasi 6 PCM.

#### 3.4 Perbandingan Penggunaan PCM dengan Es Balok

Tabel 6. Biaya Penggunaan Es Balok Selama 1 Bulan

Nama	Jumlah	Harga
Es Balok	1 pcs	Rp 18.500
	1 pcs x 30 (hari)	Rp 555.000

Table 7. Biaya Pembuatan 6 PCM

Nama	Jumlah	Harga
Aquadest	5 Liter	Rp 12.500
Gliserol	2 Kg	Rp 113.000
Garam Dapur	3 pcs	Rp 9.000
Aluminium	1x1 m	Rp 60.000
Sealant	2 pcs	Rp 30.000
TOTAL		Rp 224.500

Table 8. Perbandingan Biaya ES Balok dan PCM

Nama	Jumlah	Harga
Aquadest	1 pcs x 30 hari	Rp 555.000
Gliserol	6 pcs	Rp 224.500
Penghematan		Rp 330.500 (59,54%)

Dari Tabel 6, 7, 8 dapat diketahui penggunaan PCM dapat menghemat biaya operasional hingga 59,54 % dibandingkan dengan menggunakan es balok (metode pendinginan tradisional) yang akan berdampak pada kenaikan produktivitas penyimpanan ikan.

#### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa data dengan mengacu pada rumusan masalah, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan menggunakan variasi 2 PCM kompresor membutuhkan waktu 219.7 menit saat mode ON selama 7 jam pengujian, variasi 4 PCM kompresor

membutuhkan waktu 202.7 menit saat mode ON selama 7 jam pengujian, variasi 6 PCM membutuhkan waktu 177,4 menit saat mode ON selama 7 jam pengujian. Dengan ini variasi 6 PCM lebih optimal membantu penurunan waktu kerja kompresor.

2. Semakin banyak jumlah PCM yang diletakkan pada cold box dapat membantu penurunan siklus on/off kompresor dan energi listrik yang dibutuhkan kompresor semakin efisien, variasi yang paling efisien yaitu variasi 6 PCM dengan efisiensi daya sebesar 15,31%.
3. Dengan pemakaian PCM dapat menghemat biaya operasional hingga 59,54% dibandingkan dengan menggunakan es balok. Perancangan cold box menggunakan PCM akan terasa manfaatnya setelah pemakaian selama 3 bulan penggunaannya dibandingkan menggunakan es balok.

#### Daftar Rujukan

- [1] K. A. Abbas, A. M. Saleh, A. Mohamed, and O. Lasekan, 2009. The relationship between water activity and fish spoilage during cold storage: A review, *J. Food, Agric. Environ.*, vol. 7, no. 3-4, pp. 86-90.
- [2] A. Winarta, M. Amin, and N. Putra, "Aplikasi PCM Bees Wax sebagai teknologi penyimpan energi (thermal energy storage) pada pemanas air domestik," pp. 205-212.
- [3] Y. A. R. Prasetyo, 2017, Sistem Pendingin Hybrid Thermoelectric Cooler dan Phase Change Material (PCM) pada Cool Box, p. 107, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/44951/>.
- [4] M. Amin and N. Putra, 2016. Karakterisasi Phase Change Material (PCM) Lokal Indonesia, *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XV 2016*, no. 15, pp. 539-545, [Online]. Available: <http://prosiding.bkstm.org/prosiding/seminar/2016>.
- [5] Patel and R. Goyena, 2019. Penggunaan NaCl X H<sub>2</sub>O Sebagai Media Pendingin Udang *Vannamei (Litopenaeus Vannamei)* Dalam Cool Box,"*J. Chem. Inf. Model.*, vol. 15, no. 2, pp. 9-25.
- [6] Sumiati, Ruzita, 2013, Pengaruh Penggunaan Parafin Dan Gemuk Pada Plafon Mobil Dalam Mengelola Temperatur Kabin mobil Saat Parkir. *Poli Rekayasa Volume 8, Nomor 2*.
- [7] Sharma A, V.V. Tyagi, C.R. Chen D. Buddhi, 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 318-345
- [8] S. Simbolon, S. Rizal, A. S. Siregar, 2023. J. Ramadhan, D. I. Zurodin, and M. Yunus, Aplikasi PCM (Water-Salt dan Etano) Pada Sistem Pendingin (Cool Box), *Pist. J. Tech. Eng.*, vol. 6, no. 2, p. 21, doi: 10.32493/pjite.v6i2.25015.
- [9] I. N. Suamir and I. M. Rasta, 2019. Studi Eksperimental Kinerja Temperatur dan Energi Integrasi Bio-PCM Pada Chest Freezer, vol. 9, no. 1.
- [10] B. Fikri, W. Wasum, and D. Dharma, 2022. Studi Eksperimen Penggunaan Phase Change Material, vol. 5587, pp. 119-123.