

Pengujian Dan Analisa Kinerja Mesin Es Balok Kristal Dengan Bantalan Bio-PCM

A.A.Ngr Dwi Indra Putra Kepakisan ^{1*}, I Nyoman Suamir ², Ir. I Putu Sastra Negara³

¹ Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

² Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

³ Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

*Corresponding Author: gungindra324@gmail.com

Abstrak: Penelitian ini mengkaji pengaruh dari bantalan bio-PCM terhadap kinerja energi dan temperatur mesin es balok kristal. Kajian jua mencakup kapasitas produksi dari mesin tersebut. Hasil penelitian menunjukkan kinerja temperatur mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM sudah dapat ditentukan. Diperoleh sistem refrigerasi dari mesin es balok kristal beroperasi pada temperatur refrigeran keluar kompresor dan keluar kondensor berada pada kisaran berturut-turut 70-88 °C dan 28-34 °C; temperatur evaporasi -18 °C pada operasi tanpa efek bio-PCM dan sekitar -25 °C sampai dengan -28 °C dengan efek Bio-PCM dan sistem berhasil menjaga temperatur superheat pada refrigeran masuk kompresor sekitar 12 °C. Sedangkan konsumsi energi mesin es balok kristal dengan efek bantalan bio-PCM relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanpa efek Bio-PCM. Pada penelitian ini konsumsi daya rata-rata dari mesin es balok kristal adalah 1,90 kW dengan waktu operasi 96 jam dan diperoleh konsumsi energi dalam satu kali produksi adalah sebesar 143,6 kWh. Dari aspek kapasitas produksi, es balok kristal mampu memproduksi seberat 215 kg es balok kristal dalam waktu 4 hari atau sekitar 54 kg per hari.kapasitas produksi ini kalau dibandingkan dengan hasil perancangan dan simulasi termodinamik sangat jauh lebih rendah. Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi termodinamik kapasitas produksi es balok kristal yang mampu dihasilkan adalah 215,02 kg dengan waktu produksi 15,6 jam atau setara dengan 0,331 ton es per hari. Perbedaan ini disebabkan oleh karena, dalam perancangan belum memperhitungkan arah heat transfer hanya dari satu sisi bidang perpindahan panas.

Kata Kunci: kinerja temperatur dan energi, mesin es balok kristal, bantalan bio-PCM

Abstract: This study examines the effect of bio-PCM package on the energy performance and temperature of the block ice machine. The study also includes the production capacity of the machine. The results showed that the temperature performance of the crystal block ice machine with Bio-PCM bearings could be determined. The refrigeration system obtained from the crystal block ice machine operates at the temperature of the refrigerant leaving the compressor and leaving the condenser in the range of 70-88 °C and 28-34 °C, respectively; the evaporation temperature was -18 °C at operation without bio-PCM effect and around -25 °C to -28 °C with Bio-PCM effect and the system managed to maintain the superheat temperature of the refrigerant entering the compressor at around 12 °C. Meanwhile, the energy consumption of ice block machine with bio-PCM bearing effect is relatively lower than without Bio-PCM effect. In this study, the average power consumption of the crystal block ice machine is 1.90 kW with an operating time of 96 hours and the energy consumption in one production is 143.6 kWh. From the aspect of production capacity, crystal block ice is capable of producing 215 kg of crystal block ice in 4 days or about 54 kg per day. This production capacity when compared with the results of the design and thermodynamic simulation is very much lower. Based on the results of the design and thermodynamic simulation, the production capacity of crystal block ice that can be produced is 215.02 kg with a production time of 15.6 hours or the equivalent of 0.331 tons of ice per day. This difference is due to the fact that the design has not taken into account the direction of heat transfer only from one side of the heat transfer plane.

Keywords: temperature and energy performance, crystal clear block ice machine, bio-PCM package

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

Pendahuluan

Bisnis yang melibatkan es sangat banyak di Indonesia, Mulai dari minuman di berbagai pedagang kecil sampai restaurant dan juga pengawetan makanan seperti daging dan juga ikan yang selalu akan menggunakan es untuk media pendinginnya. Es yang beredar di pasaran juga beragam, mulai dari bentuk cube, tube, flake, dan juga balok. Ini menyebabkan meningkatnya permintaan dari masyarakat, sehingga setiap pabrik akan terus berinovasi untuk mempercepat proses produksi pada mesin – mesin yang ada[1].

Pengembangan mesin es banyak di lakukan pada setiap pabrik, mulai dari mengedit performa mesin, pelapisan ruang produksi agar proses pembekuannya bisa secara cepat, mengubah desain evaporator dan juga pemakaian PCM ada ruang produksi supaya proses pembekuannya berjalan secara cepat dan maksimal. Selain proses pembekuan yang cepat, modifikasi pada mesin es juga di harapkan menghasilkan es yang berkualitas seperti hasil es yang bening sebening kristal [2]. Fungsi refrigeran pada mesin refrigerasi adalah sebagai media pembawa kalor dengan refrigeran pada kondisi tekanan rendah akan menyerap kalor pada evaporator, kemudian kalor yang diserap akan dilepaskan pada kondensor[3].

Sifat paling penting dari pemilihan refrigeran adalah efek refrigerasinya yaitu jumlah kalor, yang dapat diserap pada evaporator per kg refrigeran. Sifat yang lainnya adalah laju aliran uap hisap per kilowatt-nya, sifat ini akan menentukan pemilihan kompresornya[4]. PCM adalah satu – satunya alternatif untuk memodif mesin es yang sudah ada agar mesin es yang di gunakan di harapkan bisa lebih hemat dari mesin sebelumnya yang ada di perusahaan, PCM yang ratinya Phase change Material memiliki beberapa jenis yaitu organik, inorganik dan juga campuran[5]. Penelitian ini menggunakan PCM organik di karenakan mesin yang di gunakan tidak terlalu besar dan proses pendinginan cukup untuk menggunakan PCM yang organik[6]. Jenis PCM organik yang di pakai adalah PCM corn oil atau minyak jagung, penggunaan PCM jenis minyak jagung sangat ramah lingkungan dan juga cocok diaplikasikan pada mesin es[7].

Bentuk cair dair minyak jagung ini akan di aplikasikan dibagian evaporator, yang nantinya evaporator akan terendam oleh PCM dan akan memenuhi seluruh ruang di bagian evaporator[8]. Aplikasi yang paling penting adalah untuk mengawetkan makanan. Sebagian besar makanan kalau disimpan di temperatur ruangan akan cenderung cepat rusak. Hal ini karena disebabkan oleh sangat cepatnya pertumbuhan bakteri pada temperatur ruang[9]. Temperatur refrigerasi yang umum adalah 4oC, pada temperatur ini makanan akan dapat disimpan lebih lama. Jadi sistem refrigerasi mengawetkan makanan dengan menjaganya tetap dingin [10].

Harapan dari penelitian ini yaitu membantu pelaku usaha kuliner membuat inovasi – inovasi yang baru dan cepat dalam pelayanan, dan juga daging dan hasil tangkapan ikan segar yang di jual nanti di pasar maupun di supermarket nanti. Permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah bagaimana rancangan konstruksi dan evaporator mesin es kristal serta pemakaian katup ekspansi, daya kompresor, beban pendinginan, energi pada mesin es kristal dan kinerja bio – PCM. Dengan tujuan menghasilkan rancangan konstruksi mesin es kristal yang dapat berproduksi lebih cepat dengan mengkonsumsi daya yang efisien

Metode

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Pengujian Dan Analisa Kinerja Mesin Es Balok Kristal Dengan Bantalan Bio-PCM. Dengan melakukan pengujian secara langsung terhadap mesin es balok, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Nantinya dari hasil penelitian ini akan mempermudah dalam mengambil kesimpulan.



Gambar 1. Mesin es

Mesin es balok yang evaporatornya sudah di modifikasi dengan menggunakan bantalan Bio-PCM memiliki daya 2,05 kW (2,75 Pk) dengan menggunakan refrigeran R-404A adalah 215,02 kg dengan waktu produksi total 96 jam atau setara dengan 0,331 ton es per hari.



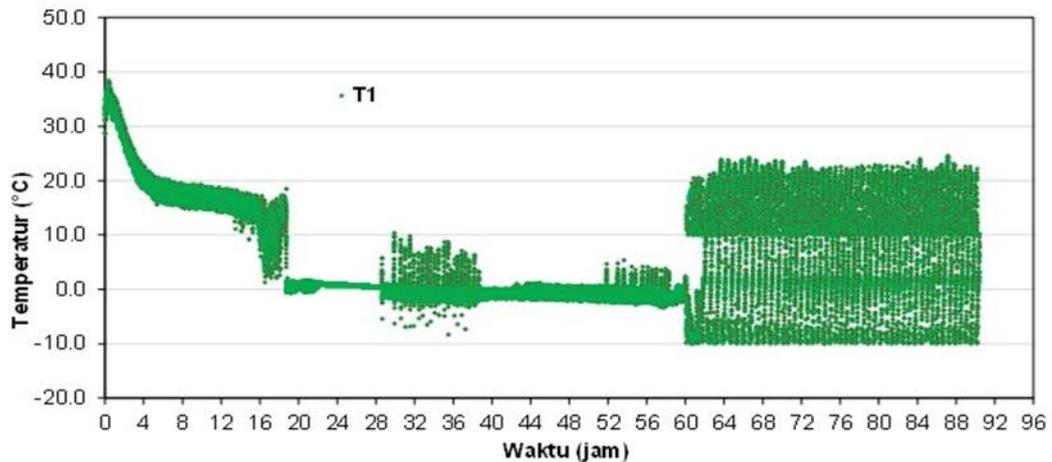
Gambar 2. Modifikasi Evaporator yang akan terendam PCM

Dalam proses pengujian pada mesin es ini ada beberapa alat dan bahan yang dibutuhkan. Bahan yang digunakan berupa air yang nantinya akan dibekukan. Alat ukur yang digunakan berupa *thermocouple*, *manifold gauge*, tang ampere. Prosedur pengujian dalam penelitian yang dilakukan adalah dengan menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Kemudian melakukan persiapan dan memasang alat pada penelitian, seperti *manifold gauge* untuk mendapatkan data tekanan, *thermocouple* untuk mengukur suhu keluar evaporator masuk kompresor(T1), suhu keluar kompresor masuk kondensor(T2), suhu keluar kondensor masuk katub ekspansi(T3), suhu keluar katub ekspansi masuk evaporator(T4), dan tang ampere untuk mengukur tegangan dan arus. Kemudian cetakan es berisi volume air 217 liter. Setelah cetakan terisi penuh dengan air, kemudian hidupkan mesin es agar proses produksi dapat dimulai dan data dapat di ambil.

Hasil dan Pembahasan

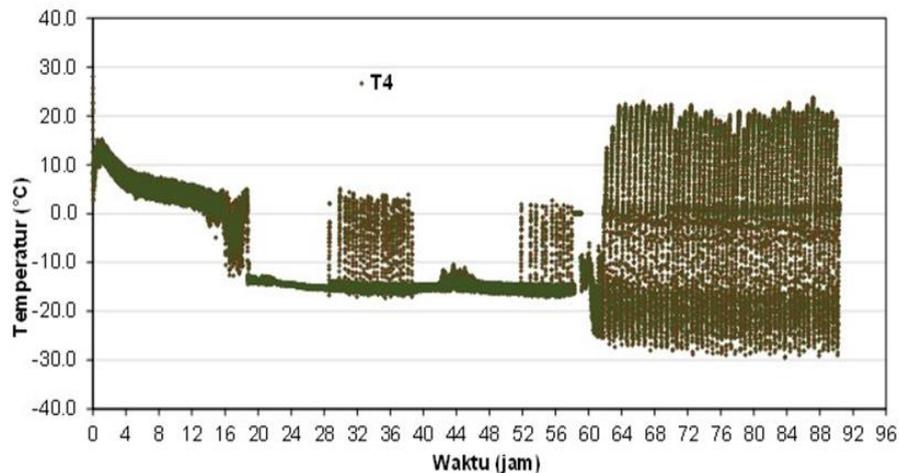
Dari hasil pengujian mesin es balok kristal yang dilakukan di lab Refrigerasi, diperoleh kinerja temperatur mesin es balok kristal dengan bantalan bio-PCM. Adapun kinerja temperatur yang diperoleh dikelompokkan menjadi tiga dengan rincian: (1) Temperatur sistem refrigerasi; (2) Temperatur ruang produksi es dan lingkungan; (3) Temperatur PCM yang merupakan juga temperatur permukaan perpindahan panas untuk cetakan es balok.

Pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 4 disajikan variasi temperatur sistem refrigerasi selama proses produksi es balok kristal. Dimana T1 merupakan temperatur refrigeran yang keluar evaporator dapat dilihat pada Gambar 3.

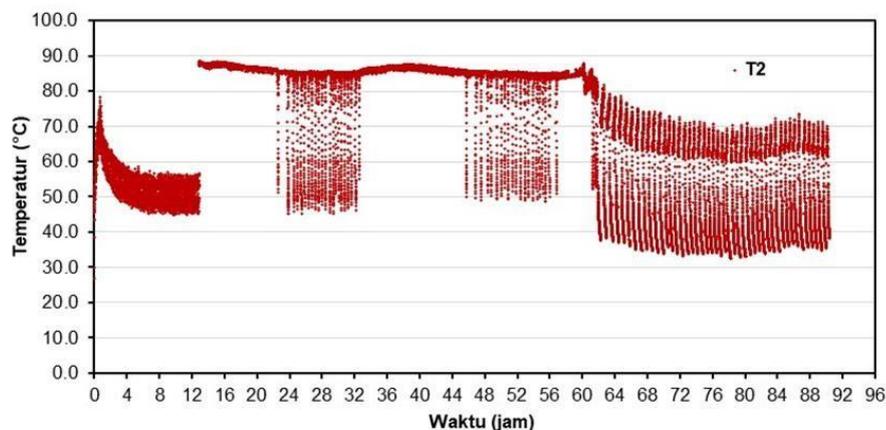


Gambar 3 Temperatur refrigeran keluar evaporator (T1) selama proses produksi es balok kristal

Sedangkan pada Gambar 4 ditampilkan variasi temperatur refrigeran masuk evaporator. Dari kedua gambar tersebut diperoleh kedua temperatur menurun cukup drastis pada tahap pulling down dari awal operasi sampai jam ke 16. Setelah itu relatif stabil dengan beda temperatur atau degree of superheat pada kisaran 12 °C. Kedua temperatur sangat fluktuatif pada saat sistem refrigerasi mengalami siklus hidup-mati (onoff) terutama pada hari keempat dimana pengaruh PCM sangat nampat.

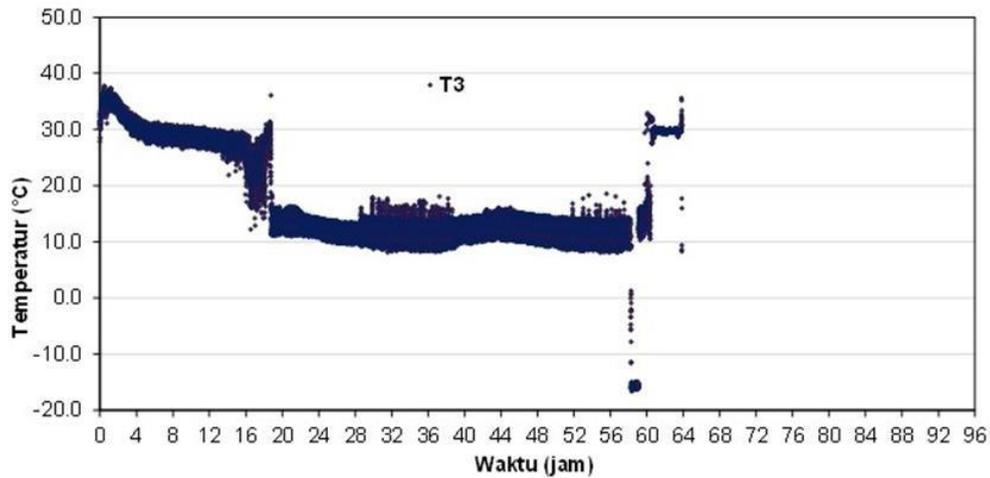


Gambar 4 Temperatur refrigeran masuk evaporator (T4) selama proses produksi es balok kristal



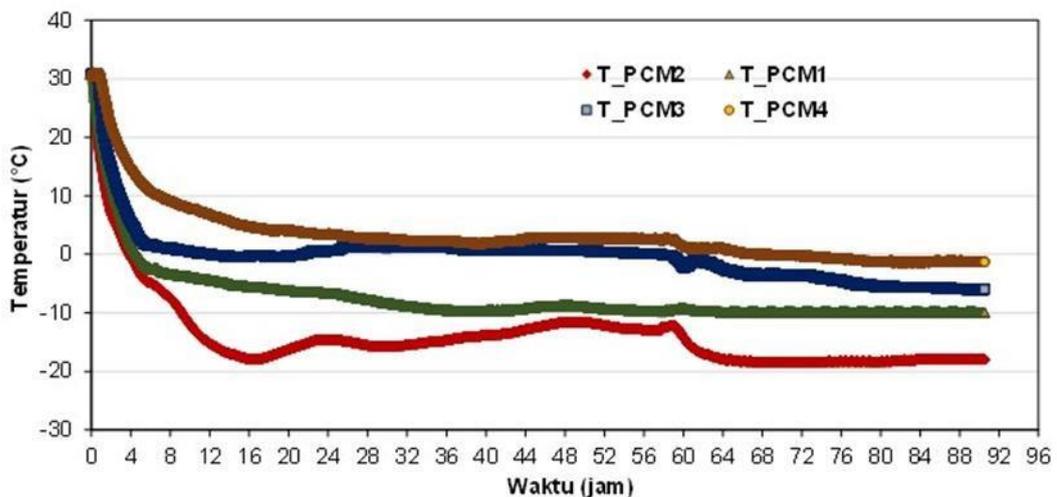
Gambar 5 Temperatur refrigeran keluar kompresor (T2) selama proses produksi es balok kristal

Pada Gambar 5 dan 6 disajikan variasi temperatur refrigeran keluar kompresor dan keluar kondensor. Terlihat dari kedua gambar bahwa kedua temperatur kurang teratur sebagai akibat adanya pengaruh atau imbas medan listrik kompresor terhadap data logger sehingga hasil pengukurannya relatif menyimpang. Tetapi dari kedua gambar tersebut dapat diketahui temperatur refrigeran keluar kompresor dan keluar kondensor berada pada kisaran berturut-turut 70-88 °C dan 28-34 °C.



Gambar 6 Temperatur refrigeran keluar kondensor (T₃) selama proses produksi es balok kristal

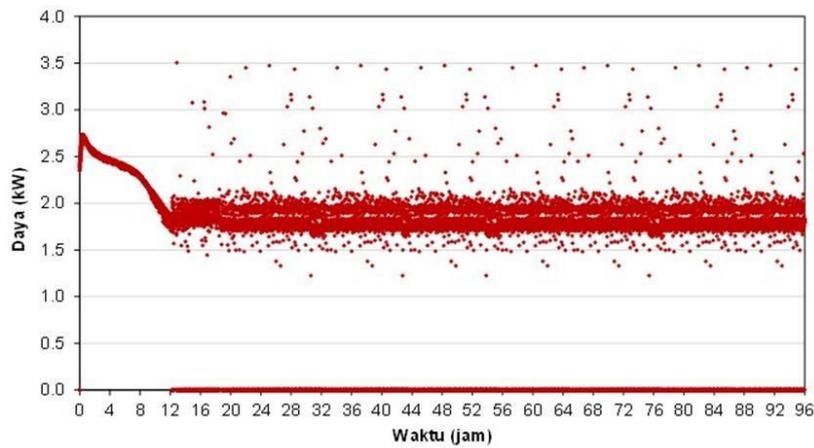
Untuk dapat mengetahui bahwa bantalan PCM dapat berfungsi dengan baik maka pada beberapa posisi di bantalan PCM dilakukan pengukuran temperatur. Pengukuran dipasang menyebar di seluruh bagian bantalan PCM termasuk pada bagian sisi masuk dari evaporator (T_{PCM2}) dan juga sisi keluarnya (T_{PCM4}). Hasil dari pengujian disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Temperatur bio-PCM pada berbagai posisi di sekitar bantalan evaporator

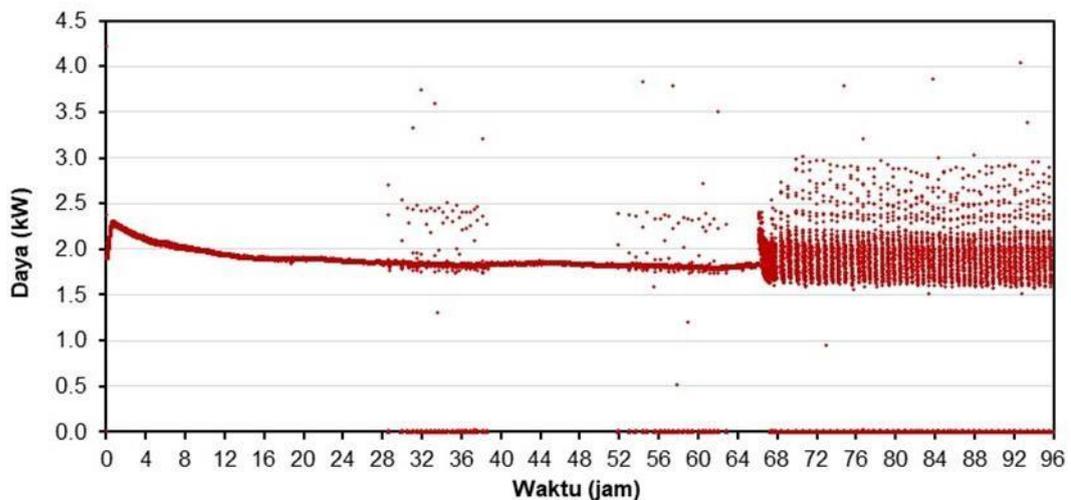
Terlihat dari grafik bahwa PCM di sekitar sisi masuk evaporator dapat mencapai temperatur paling rendah melampaui titik beku dari PCM. Sedangkan pada sisi keluar evaporator, temperatur PCM paling tinggi masih di atas 0 °C selama proses produksi. Juga tampak dengan jelas bahwa ada kenaikan temperatur PCM dari jam ke 17 sampai jam ke 60 yang mengindikasikan adanya penurunan kinerja sistem refrigerasi. Sesudah diidentifikasi sistem kekurangan refrigeran (ada kebocoran). Selanjutnya kebocoran diperbaiki dan selanjutnya sistem refrigerasi dapat beroperasi kembali dengan normal.

Hasil pengujian kinerja energi mesin es balok kristal tanpa bio-PCM disajikan pada Gambar 8. Pada satu jam operasi awal terjadi kenaikan konsumsi daya sampai mencapai 2,75 kW. Setelah itu secara bertahap turun dan pada akhirnya relatif stabil pada siklus operasi on dan off sampai akhir dari proses produksi.



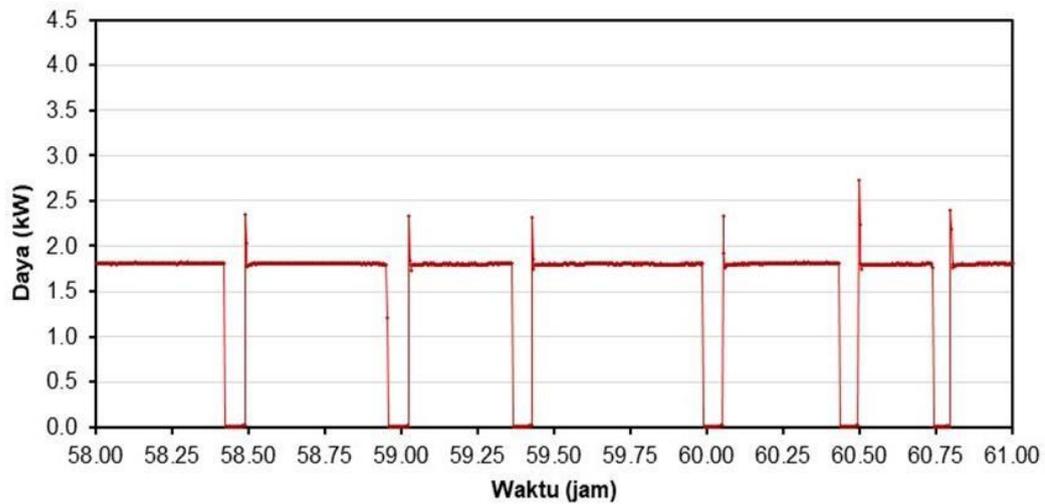
Gambar 8 Variasi daya mesin es balok kristal tanpa Bio-PCM selama proses produksi

Hasil pengujian pada mesin es kristal dengan bio-PCM khususnya pengukuran konsumsi daya selama proses produksi disajikan pada Gambar 9. Pada satu jam operasi awal terjadi kenaikan konsumsi daya sampai mencapai 2,3 kW. Setelah itu secara bertahap turun dan pada akhirnya relatif stabil setelah beroperasi sekitar setengah hari. Pada pengujian ini, siklus on-off sudah mulai terjadi pada jam ke 28-29, tetapi siklus kemudian berhenti pada jam ke 39. Hal ini menunjukkan gejala kapasitas pendinginan sistem refrigerasi dari mesin es balok kristal, mengalami penurunan. Hal ini juga dapat diamati dari data temperatur sistem refrigerasi maupun data temperatur PCM.

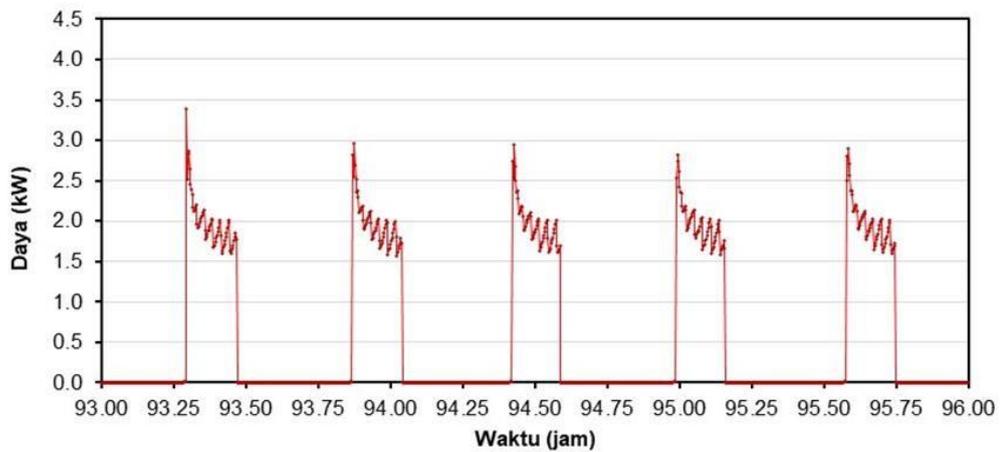


Gambar 9 Variasi daya mesin es balok kristal dengan Bio-PCM selama proses produksi

Perbandingan lebih rinci siklus on-off pada mesin es balok kristal tanpa dan dengan bio-PCM dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11. Pada Gambar 4.18 siklus on-off yang tidak dipengaruhi oleh PCM, karena PCM belum membeku sebagai akibat sistem refrigerasi yang kekurangan refrigeran. Terlihat dengan jelas waktu hidup (on) jauh lebih lama dibandingkan dengan waktu mesin mati (off). Sebaliknya pada Gambar 4.19 menunjukkan efek dari bantalan bio-PCM walaupun belum optimal, tetapi sudah tampak waktu on lebih singkat dari waktu off.

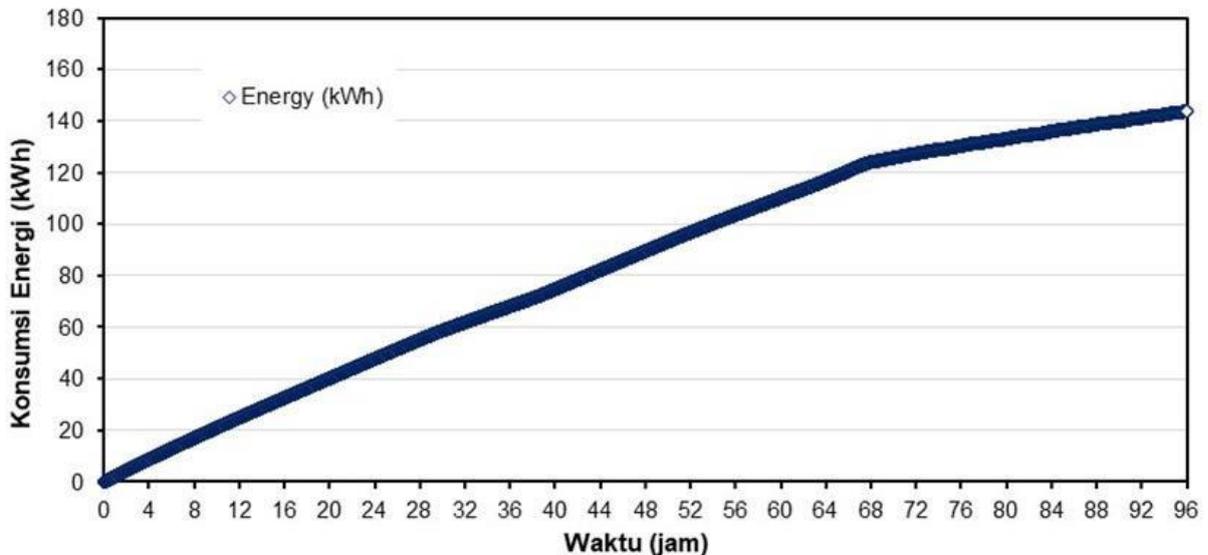


Gambar 10 Variasi daya mesin es balok kristal dengan siklus On-Off tanpa efek Bio-PCM



Gambar 11 Variasi daya mesin es balok kristal dengan siklus On-Off dengan bio-PCM

Pada Gambar 12 diilustrasikan penambahan konsumsi energi seiring berjalannya waktu proses produksi. Peningkatan konsumsi energi dari awal operasi sampai akhir proses produksi relatif tajam. Pada aspek konsumsi energi, terjadi laju konsumsi energi yang stabil ditandai dengan grafik energi semakin tinggi. Total konsumsi energi selama proses produksi es balok kristal tanpa bio-PCM adalah sebesar 170,3 kWh. penambahan konsumsi energi seiring berjalannya waktu proses produksi. Peningkatan konsumsi energi dari awal operasi sampai jam ke 68 pada hari ke tiga relatif tajam. Sudah dijelaskan sebelumnya pada periode operasi ini pengaruh bio-PCM belum ada sebagai akibat kapasitas pendinginan sistem refrigerasi yang turun karena refrigerannya mengalami kebocoran. Mulai jam ke-68 tersebut, setelah sistem refrigerasi diperbaiki, baru muncul efek dan fungsi dari bantalan bio-PCM. Pada aspek konsumsi energi, terjadi penurunan laju konsumsi energi yang ditandai dengan grafik energi semakin landai. Total konsumsi energi selama proses produksi es balok kristal ini menjadi sebesar 143,6 kWh.



Gambar 12 Konsumsi energi mesin es balok selama proses produksi dengan efek Bio-PCM

Simpulan

Jadi dapat disimpulkan, pada pengujian Bio-PCM ini belum berfungsi dengan sempurna karena campuran Bio-PCM belum membeku sepenuhnya, bahwa mesin es balok kristal dengan menggunakan bantalan bio-PCM pada evaporatornya dapat mengkonsumsi energi lebih rendah dibandingkan dengan mesin yang tanpa bantalan bio-PCM. Karna penghematan didapat dari efek Bio-PCM yang mampu melepas kalor di suhu yang relatif konstan.

Ucapan Terima Kasih

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

Referensi

- [1] Wijaya, I. M. (2019). Kajian Pengaruh Integrasi Bio - PCM Pada Evaporator Terhadap Kinerja Energi ChestFreezer. Badung - Bali.: Teknik Mesin. Politeknik Negeri Bali.
- [2] Suamir, I. N. (2016). Refrigerasi dan Tata Udara. Badung - Bali: Politeknik Negeri Bali
- [3] Sharma, A. V. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Review* 13, 318 – 345
- [4] Pudjiastuti, W. (2011). JENIS-JENIS BAHAN BERUBAH FASA DAN APLIKASINYA. *J. Kimia Kemasan*, Vol. 33, 118 - 123.
- [5] Belajar, A. M. (2022). Fungsi Termokopel | Salah Satu Alat Untuk Mengukur Temperatur. Retrieved from *Aku Mau Belajar Tempatnya Ilmu yang Bermanfaat Dunia Akhirat*: <https://akumaubelajar.com/ilmupendidikan/fungsi-termokopel/>.
- [6] Firli, M. (2016). Komponen Utama Refrigerasi Kompresi Uap. Retrieved from *Scribd*: <https://www.scribd.com/doc/310261758/Komponen-Utama-Refrigerasi-Kompresi-Uap>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2021
- [7] Kurai, U. (2013). Jenis - jenis kompresor. Retrieved from *Moses Mico Blog*: <http://mosesgan.blogspot.com/2013/09/jenis-jenis-kompresor.html>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2021

- [8] Himawantriraharjo. (2013). Pengertian Kondensor / Kondenser. Retrieved from Mechanical Engineering Kalimantan: <http://himawantriraharjo.blogspot.com/2013/03/pengertian-kondensorkondenser.html>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2021
- [9] Wahyudi, A. (2019). SISTEM PENDINGIN. Retrieved from TPTUMETRO: <https://www.tptumetro.com/2019/01/sistem-pendingin.html>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2021
- [10] Solli Dwi Murtyas, S. N. (2018). PEMODELAN PHASE CHANGE MATERIALS PADA DISTRIBUSI TERMAL. Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2, 2.