

Pengembangan rancangan mesin es balok kristal dengan bantalan bio-PCM

I Made Suradita ^{1*}, Achmad Wibolo ², I Dewa Made Susila ³

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: suradita41@gmail.com

Abstrak: Es kristal ialah es yang lebih putih, bening, dan tembus cahaya. Namun sekarang ini banyak dari para penjual es kristal tersebut kewalahan dengan permintaan pasar dikarenakan waktu produksi es yang agak lambat membuat suatu pesanan tidak seimbang dengan waktu produksi es kristal, maka dari itu munculah ide untuk merancang mesin es kristal yang akan ditambahkan Bio-PCM. Dengan demikian, hal yang diharapkan dapat meningkatkan kapasitas produksi, dan diharapkan dapat menghemat dari segi konsumsi daya pada mesin es kristal. Metode penelitian yang akan dilakukan adalah pengembangan rancangan dan simulasi mesin es kristal dengan bantalan Bio-PCM. Perancangan dilakukan pada mesin es balok kristal dengan membuat bantalan tempat Bio-PCM. Perancangan ini dilakukan bertujuan untuk menciptakan inovasi baru terhadap mesin es balok agar mengoptimalkan kinerja pada mesin es tersebut. Serta mensimulasikan hasil rancangan untuk penyajian dan menguji sistem hasil rancangan. Hasil penelitian memuat hasil rancangan proses produksi mesin es balok kristal dengan atau tanpa Bio-PCM, yang dimana, pada saat proses produksi es, pompa sirkulasi air dihidupkan, dimana pompa air tersebut mengalirkan air pada cetakan es sehingga air tetap bergerak, kecepatan aliran air harus diatur agar tidak menggerus es yang terbentuk pada cetakan. Fungsi pompa air tersebut adalah untuk mengeluarkan udara atau gas yang terkandung pada air di cetakan es balok, sehingga hasilnya bisa bening seperti kristal. Rancangan kapasitas produksi mesin es balok kristal berbasis simulasi *thermodynamic*. Pada simulasi *thermodynamic* ini dengan menggunakan jenis refrigeran R-404A mendapatkan kapasitas produksi 215 kg, waktu produksi 15,6 jam dan kapasitas pendingin mesin/cooling capacity 2,66 kW. Rancangan konstruksi mesin, cetakan es balok kristal dan bantalan penyimpan dingin Bio-PCM sehingga mampu mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

Kata Kunci: Pengembangan rancangan, mesin es balok kristal, Bio-PCM

Abstract: Crystal ice is ice that is whiter, clearer, and translucent. But now many of these crystal ice sellers are overwhelmed with market demand because the ice production time is a bit slow which makes an order out of balance with the ice crystal production time, therefore the idea arose to design a crystal ice machine to which Bio-PCM will be added. Thus, it is hoped that it can increase production capacity, and it is hoped that it can save in terms of power consumption on the ice crystal machine. The research method to be carried out is to develop a design and simulation of a crystal ice machine with Bio-PCM bearings. The design is carried out on a crystal block ice machine by making Bio-PCM bearings. This design was carried out with the aim of creating new innovations for the block ice machine in order to optimize the performance of the ice machine. As well as simulating the design results for presenting and testing the system design results. The results of the study contain the results of the design of the crystal block ice machine production process with or without Bio-PCM, which, during the ice production process, the water circulation pump is turned on, where the water pump flows water into the ice mold so that the water keeps moving, the water flow velocity must be arranged so as not to crush the ice formed in the mold. The function of the water pump is to remove air or gas contained in the water in the ice block mold, so that the results can be clear like crystals. The design of the production capacity of the ice block machine is based on thermodynamic simulation. In this thermodynamic simulation using the refrigerant type R-404A to get production capacity, production time and cooling capacity. The design of the machine construction, crystal block ice mold and Bio-PCM cold storage bearing so as to be able to adopt the test with or without Bio-PCM.

Keywords: design development, crystal block ice machine, Bio-PCM

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

Pendahuluan

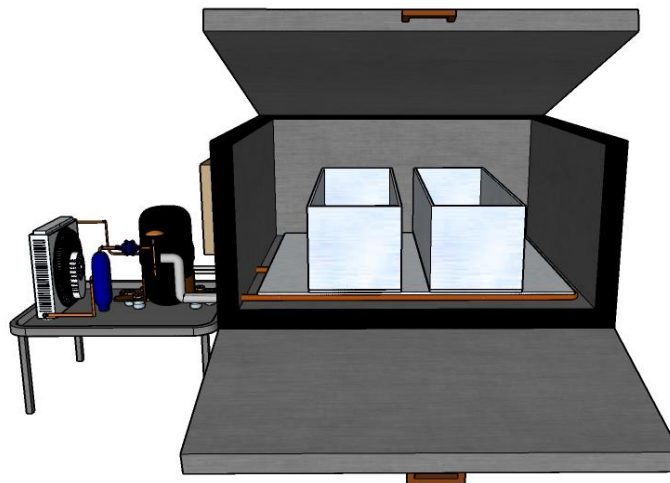
Bisnis menjual es kristal di Indonesia semakin hari semakin banyak. Maraknya para pelaku usaha yang menjual es kristal dengan berbagai ukuran, menjadikan permintaan es kristal juga semakin meningkat[1]. Es kristal termasuk produk yang penting dalam berbagai bidang usaha seperti usaha kuliner maupun pabrik dan distributor karena dapat digunakan sebagai penyegar minuman dan pendingin makanan seperti daging, ikan dan bahan makanan lainnya. 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[2]. Es kristal ialah es yang lebih putih, bening, dan tembus cahaya[3].

Phase Change Materials (PCM) merupakan substansi yang dapat ditempatkan diselubung, yang dapat melepas ataupun menyerap energi termal selama proses pematatan dan peleburan[4]. PCM yang baik yaitu bahan yang memiliki kapasitas termal tinggi dan rentang *temperature* perubahan fase tetap[5]. PCM yang terbuat dari bahan organik saat ini menjadi pilihan yang menarik untuk berbagai aplikasi karena keunggulan-keunggulan sifat-sifat termalnya seperti misalnya paraffin dan lemak jenuh[6]. Parafin merupakan PCM organik yang paling populer karena memiliki *super cooling* yang rendah dan rentang temperatur perubahan fase yang lebar. Struktur kimia Parafin juga stabil pada saat terjadi proses perubahan fase [7]. Tetapi parafin juga memiliki kelemahan antara lain konduktivitas termal dan panas laten yang rendah, mudah terbakar dan perubahan volume yang besar pada saat terjadi perubahan fase [8]. Investigasi aplikasi PCM pada freezer komersial dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja termal dari freezer pada saat pintu dibuka dan pada saat listriknya padam. PCM yang digunakan adalah PCM berbasis larutan garam sehingga PCM ditempatkan pada sebuah panel dari bahan stainless steel yang ditempatkan di dalam freezer[9].

Penggunaan PCM dapat mempertahankan temperatur produk pada tingkat aman lebih lama dibandingkan freezer tanpa PCM. Akhir-akhir ini, penelitian aplikasi PCM berbasis larutan garam pada chest freezer juga sudah dilakukan dengan menempatkan PCM pada dinding evaporator. PCM dikemas dalam dua model, yaitu pertama dengan model kantong PCM yang ditempelkan pada sebuah pelat aluminium kemudian pelat dan PCM bersama-sama ditempelkan pada dinding freezer, kedua dengan model penempatan pada honey comb aluminium. Dilaporkan bahwa penempatan PCM dengan model kantong aluminium dapat mengurangi ruang untuk produk, konsumsi energi meningkat tapi siklus on/off kompresor jauh berkurang. Sedangkan untuk model honey comb dapat menghemat energi sebesar 2%, siklus on/off kompresor juga berkurang. Kinerja chest freezer dengan PCM sangat sensitive terhadap setting dari thermostat[10]. Dengan melihat latar belakang di atas, hal yang diharapkan dapat meningkatkan kapasitas produksi, dan diharapkan dapat menghemat dari segi konsumsi daya pada mesin es kristal.

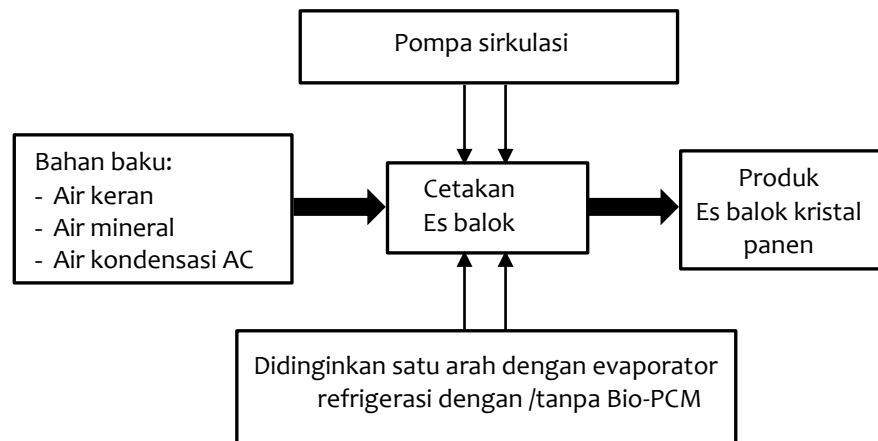
Metode

Metode yang penulis uraikan dalam skripsi ini adalah pengembangan rancangan dan simulasi mesin es kristal dengan bantalan Bio-PCM. Perancangan dilakukan pada mesin es balok kristal dengan membuat bantalan tempat Bio-PCM. Perancangan ini dilakukan bertujuan untuk menciptakan inovasi baru terhadap mesin es balok agar mengoptimalkan kinerja pada mesin es tersebut. Serta mensimulasikan hasil rancangan untuk penyajian dan menguji sistem hasil rancangan.

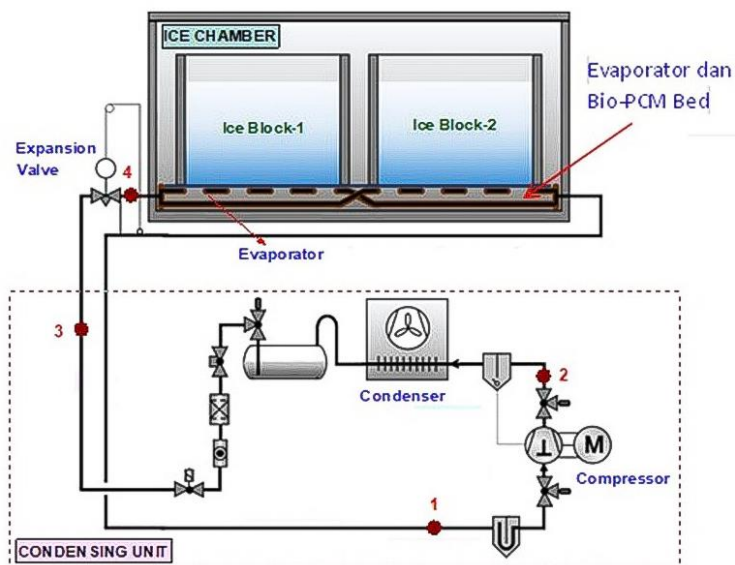


Gambar 1 Desain rancangan mesin es kristal

Dalam rancangan diagram proses pembuatan es balok kristal ini (Gambar 2) dijelaskan bahwa bahan baku yang dapat bersumber dari air keran, air mineral atau air kondensasi AC dimasukkan ke dalam cetakan es balok, kemudian didinginkan satu arah dengan evaporator refrigerasi dengan/tanpa Bio-PCM (Gambar 3), pada saat bersamaan pompa sirkulasi yang berfungsi untuk mengeluarkan udara atau gas yang terkandung pada bahan baku tersebut juga dilengkapi dan dioperasikan, sehingga hasilnya es balok dapat bening seperti kristal.



Gambar 2 Rancangan awal diagram proses pembuatan es balok kristal

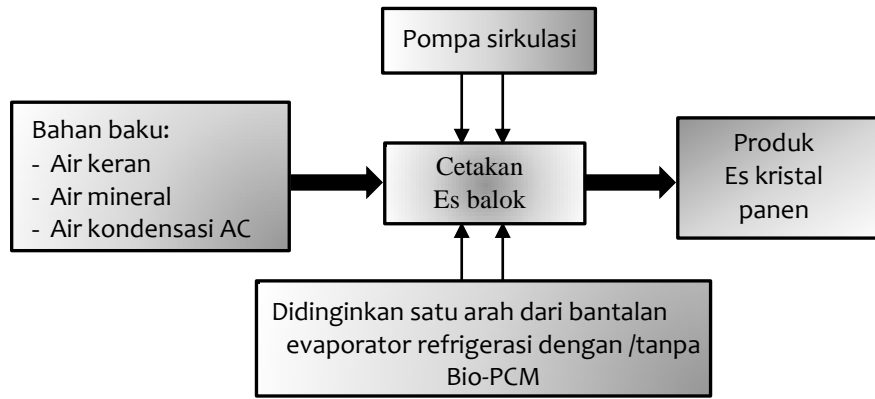


Gambar 3 Skematik mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian memuat hasil rancangan proses produksi mesin es balok kristal dengan atau tanpa Bio-PCM, rancangan kapasitas produksi mesin es balok kristal berbasis simulasi thermodynamic, rancangan konstruksi mesin, cetakan es balok kristal dan bantalan penyimpanan dingin Bio-PCM sehingga mampu mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

Dalam rancangan diagram proses produksi es balok kristal ini yang sudah divalidasi dengan pengujian komisioning seperti yang disajikan pada Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa bahan baku yang dapat bersumber dari air keran, air mineral dan air kondensasi AC dimasukkan ke dalam cetakan es balok. Kemudian, air tersebut didinginkan satu arah dengan evaporator refrigerasi dengan/tanpa Bio-PCM. Pada saat yang bersamaan pompa sirkulasi air harus dihidupkan, dimana pompa air tersebut mengalirkan air pada cetakan es sehingga air tetap bergerak.



Gambar 4 Rancangan akhir diagram proses produksi es balok

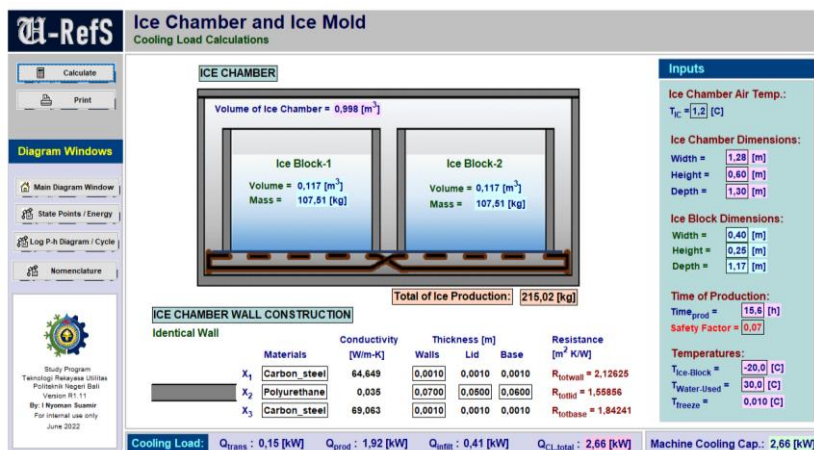
Kecepatan aliran air harus diatur agar tidak menggerus es yang terbentuk pada cetakan. Fungsi pompa air tersebut adalah untuk mengeluarkan udara atau gas yang terkandung pada air di cetakan es balok, sehingga hasilnya bisa bening seperti kristal.

Kapasitas produksi mesin es balok yang menggunakan dimensi mesin dan cetakan es dari mesin yang sudah ada sebestumnya, dan condensing unit 2,75 PK, dihasilkan berdasarkan perhitungan menggunakan program U-RefS V.1.11 dengan menggunakan jenis refrigeran R-404A mendapatkan waktu produksi selama 15,6 jam, sehingga mempercepat waktu produksi yang sebelum mencapai 3 hari dengan menggunakan condensing unit 1 PK. Simulasi untuk mendapatkan hasil kapasitas produksi dilakukan pada menu diagram window turunan 3: load calculation. Berikut input data yang disimulasikan pada program U-RefS V.1.11:

1. Temperatur udara ruang es : 1,2 °C
2. Dimensi ruang es
 - a) Panjang : 1,30 m
 - b) Lebar : 1,28 m
 - c) Tinggi : 0,60 m
3. Dimensi es balok
 - a) Panjang : 1,17 m
 - b) Lebar : 0,40 m
 - c) Tinggi : 0,25 m
4. Temperature es balok : -20°C
5. Temperatur air yang digunakan : 30°C

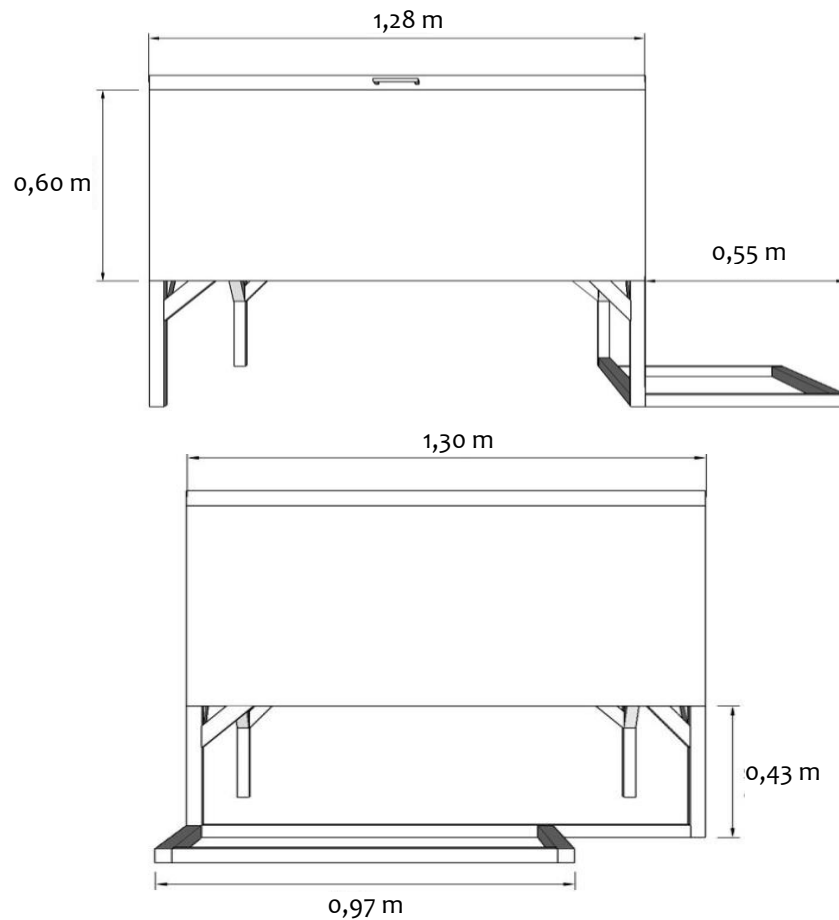
Data atau output yang dihasilkan dari simulasi kapasitas produksi berdasarkan data input yang sudah dimasukkan adalah (Tampilan simulasi menggunakan program U-RefS V.1.11 disajikan pada Gambar 5):

1. $Q_{trans} : 0,15 \text{ kW}$; $Q_{prod} : 1,92 \text{ kW}$; $Q_{infiltr} : 0,41 \text{ kW}$; $Q_{CL,total} : 2,66 \text{ kW}$
2. Kapasitas pendinginan mesin : 2,66 kW
3. Total produksi es balok : 215,02 kg dengan waktu produksi 15,6 jam



Gambar 5 Tampilan simulasi kapasitas produksi es balok menggunakan R-404A

Pada proses pembuatan mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM dilakukan dengan proses pembuatan desain agar pada proses perakitan mendapatkan hasil yang baik dan dapat bekerja dengan optimal. Adapun spesifikasi dari desain mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM, dimensi yang digunakan adalah dimesin mesin es balok yang sebelumnya.



Gambar 6 Frame mesin es balok: tampak depan dan samping

Untuk rancangan evaporator asumsi tertentu dibuat sebagai berikut dengan menggunakan persamaan di bawah, dengan *Overall heat transfer coefficient* (U) dihitung menggunakan *software*, temperature air awal $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperature refrigerant $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan *Refrigeration load* $2,66\text{ kW}$, kemudian luas permukaan evaporator (A) didapat. Dari luas permukaan evaporator (A) dengan diameter pipa $0,0085\text{ m}$, kemudian panjang pipa (L) bisa dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$A = \pi \cdot D \cdot L$$

Keterangan:

Q = Refrigeration load (kW)

U = Overall heat transfer coefficient ($\text{kW m}^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

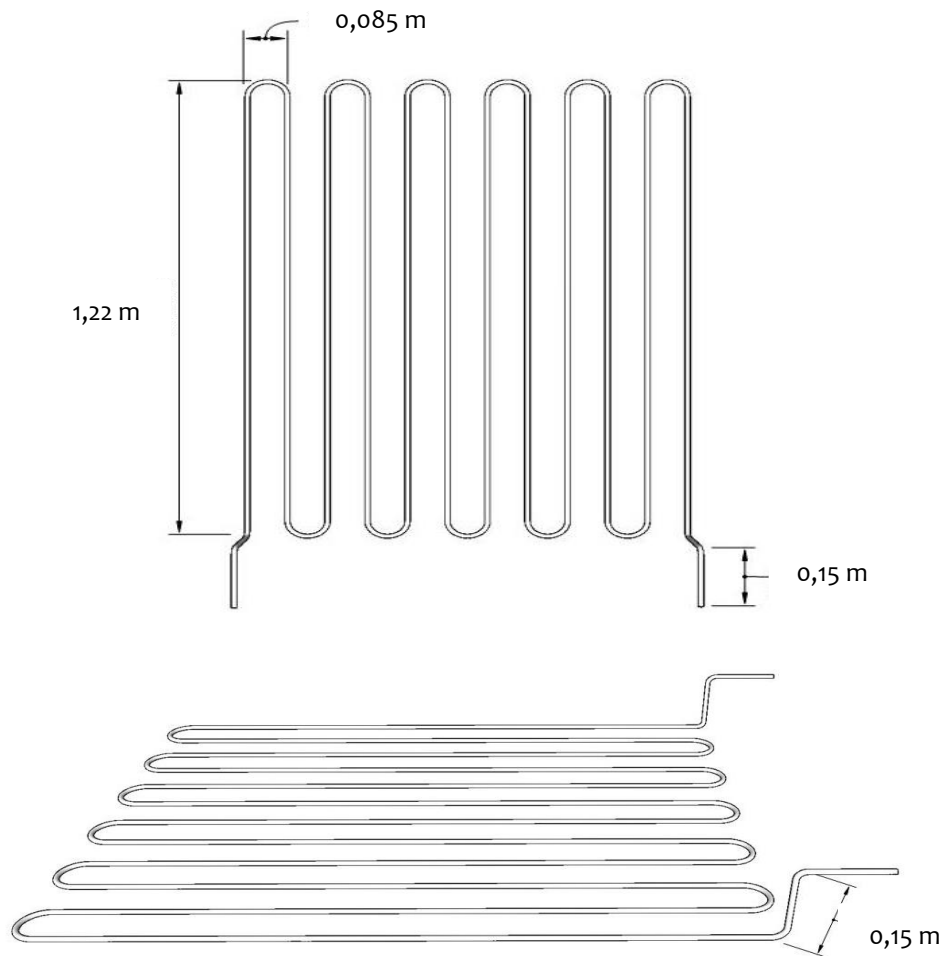
A = Luas permukaan evaporator (m^2)

ΔT = Perbedaan temperature ($^{\circ}\text{C}$)

D = Diameter pipa (m)

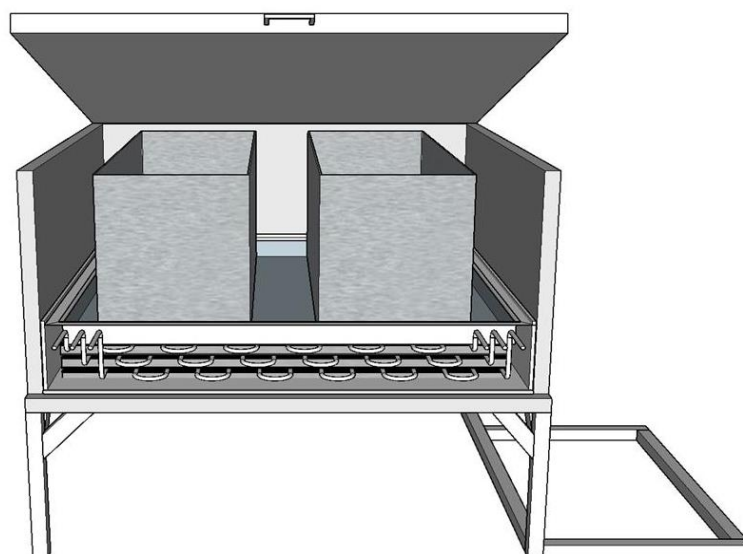
L = panjang pipa (m)

Dari persamaan 4.1 dan 4.2 maka panjang pipa yang didapat ± 43 meter, dengan dibatasi oleh dimensi ruangan mesin es, evaporator terdiri dari tiga sirkuit, dengan panjang dan lebar u-bend sama, dapat dilihat pada gambar 7.



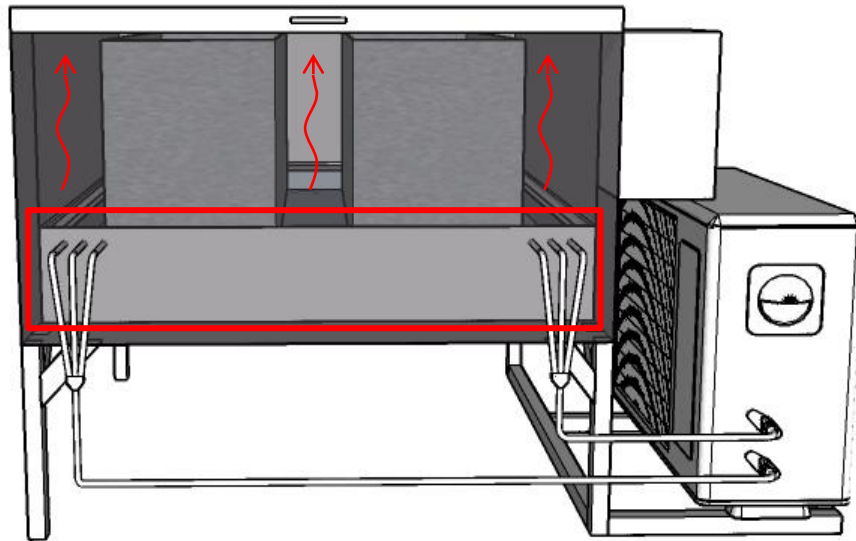
Gambar 7 Evaporator tampak atas dan samping

Hasil akhir rancangan merupakan hasil dari penggabungan dari semua komponen-komponen mesin es yang sudah didesain. Adapun hasil akhir rancangan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil rancangan mesin es balok kristal tampak dalam

Bantalan Bio-PCM merupakan evaporator yang terintegrasi dengan Bio-PCM dan ditempatkan di bawah cetakan es balok sebagai bantalan atau dukungan yang mendinginkan cetakan es dari satu arah, dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Bantalan Bio-PCM

Simpulan

Rancangan proses produksi mesin es balok kristal dengan atau tanpa Bio-PCM sudah dapat dilakukan. Rancangan proses produksi es balok kristal ini sudah juga divalidasi dengan pengujian komisioning. Proses produksi mencakup bahan baku yang dapat bersumber dari air keran, air mineral dan air kondensasi AC dimasukkan ke dalam cetakan es balok. Kemudian, air tersebut didinginkan satu arah dengan evaporator refrigerasi dengan/tanpa Bio-PCM. Pada saat yang bersamaan pompa sirkulasi air harus dihidupkan, dimana pompa air tersebut mengalirkan air pada cetakan es sehingga air tetap bergerak.

Rancangan kapasitas produksi mesin es balok kristal berbasis simulasi *thermodynamic* juga sudah diperoleh. Dengan dimensi ruang es: panjang 1,30 m, lebar 1,28 m, tinggi 0,60 m; dimensi es balok: panjang 1,17 m, lebar 0,40 m, tinggi 0,25 m; dan temperatur es balok $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat diproduksi es balok kristal sebanyak 215 kg dalam waktu 15,6 jam atau setara dengan 0,33 ton es balok kristal per hari.

Rancangan konstruksi mesin mencakup rangka mesin secara keseluruhan, cetakan es balok kristal, evaporator dengan kapasitas pendinginan 2,66 kW, unit refrigerasi dengan daya 2,05 kW serta bantalan penyimpanan dingin Bio-PCM sehingga dapat mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

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 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.

Referensi

- [1] Ega Taqwali Berman. 2013. Modul PLPG Teknik pendingin. Jakarta.
- [2] Latif, Azizul. 2019. Rancang Bangun Mesin Penghancur Es Batu Sebagai Pendingin Ikan. Proyek Akhir. Universitas Jember
- [3] Anomin. 2015. *Mesin Es Batu Kristal*. <https://mesinraya.co.id/mesin-es-batu-kristal.html>. Diakses pada 25 September 2022
- [4] Meng, Q. and Jinlian Hu, 2008. A poly(ethyleneglycol)-based smart phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92: 1260-1268.
- [5] H. S. Xue, "Experimental investigation of a domestic solar water heater with solar collector coupled phasechange energy storage," *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 257-61, 2016.

- [6] W. Su, J. Darkwa and G. Kokogiannakis, "Review of solid-liquid phase change materials and their encapsulation technologies," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 48, 373-391, 2015.
- [7] F. Agyenim, N. Hewitt, P. Eames and M. Smyth, "A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS) ," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 14, pp. 615-28, 2010.
- [8] J. Luo, et al., "Emulsifying ability and cross-linking of silk fibroin microcapsules containing phase change materials," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 147, pp. 144-9, 2016.
- [9] E. Oro, L. Miro, M.M. Farid and L.F. Cabeza, "Improving thermal performance of freezers using phase change materials," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 35, pp. 984-991, 2012.
- [10] A. Raeisi, I. N. Suamir and S.A. Tassou, 2013. Energy Storage in Freezer Cabinets using Phase Change Materials. in *Proc. the 2nd IIR International Cold Chain Conference*. Paris, pp. 187-194.