

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN RANCANGAN MESIN ES BALOK
KRISTAL DENGAN BANTALAN BIO-PCM**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE SURADITA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2022

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN RANCANGAN MESIN ES BALOK
KRISTAL DENGAN BANTALAN BIO-PCM**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE SURADITA

NIM. 1815234010

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN RANCANGAN MESIN ES BALOK KRISTAL DENGAN BANTALAN BIO-PCM

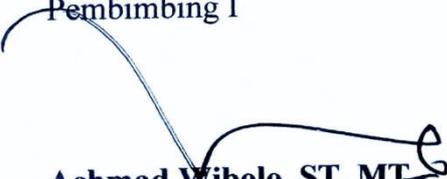
Oleh

I MADE SURADITA
NIM. 1815234010

Diajukan sebagai persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan
Program Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bali

Disetujui oleh:

Pembimbing I


Achmad Wibolo, ST, MT
NIP. 19640501991031002

Pembimbing II


I Dewa Made Susila, ST, MT
NIP. 195908311988111001

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg
NIP. 196609241993031003

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN RANCANGAN MESIN ES BALOK KRISTAL DENGAN BANTALAN BIO-PCM

Oleh

I MADE SURADITA
NIM. 1815234010

Skripsi telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima untuk dapat
dicetak sebagai Buku Skripsi pada hari/tanggal:
1 September 2022

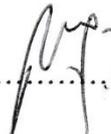
Tim Penguji

Ketua Penguji : Ketut Bangse, ST, MT
NIP : 196612131991031003

Penguji I : I Nengah Ardita, ST, MT
NIP : 196411301991031004

Penguji II : I Wayan Gede Santika, ST, M.Sc.PhD
NIP : 197402282005011002

Tanda Tangan

(.....)


(.....)


(.....)


Surat Pernyataan Bebas Plagiat

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : I Made Suradita

NIM : 1815234010

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas

Judul : Pengembangan Rancangan Mesin Es Balok Kristal dengan Bantalan Bio-PCM

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah Buku Skripsi ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Perundang-undangan yang berlaku.

Badung, 10 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan



I Made Suradita
NIM. 1815234010

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Dengan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis pada kesempatan ini menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, SE, M.eCom, selaku Direktur Politeknik Negeri Bali
2. Bapak Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
3. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, ST, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin
4. Bapak Dr. Made Ery Arsana, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin.
5. Bapak I Dewa Made Susila, ST, MT, selaku dosen pembimbing-1 yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan
6. Bapak Achmad Wibolo, ST, MT, selaku dosen pembimbing-2 yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat dari awal menjadi mahasiswa hingga saat ini.
7. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada penulis hingga dapat menunjang dalam penyelesaian Skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Skripsi ini.
9. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan Skripsi tahun 2022 yang telah banyak memberikan masukan serta dukungan kepada penulis.
10. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses menyelesaikan Skripsi yang tidak bisa peneliti sebutkan satu persatu semoga Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca umumnya, penelitian atau penulis, dan khususnya kepada aktivitas akademik Politeknik Negeri Bali.

Badung, 10 Agustus 2022

I Made Suradita

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

DESIGN DEVELOPMENT OF CRYSTAL ICE BLOCK MACHINE WITH 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*

KATA PENGATAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Buku Skripsi ini yang berjudul Pengembangan Rancangan Mesin Es Balok Kristal dengan Bantalan Bio-PCM tepat pada waktunya. Penyusun Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk kelulusan program pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

Penulis menyadari Buku Skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran sebagai pembelajaran demi penyempurnaan karya-karya penulis di masa yang akan datang.

Badung, 10 Agustus 2022

I Made Suradita

DAFTAR ISI

Sampul	i
Halaman Judul	ii
Pengesahan oleh Pembimbing	iii
Pengesahan oleh Penguji	iv
Pernyataan Bebas Plagiat	v
Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak dalam Bahasa Indonesia	viii
Abstrak dalam Bahasa Inggris	ix
Kata Pengantar	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Lampiran	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Tujuan umum	3
1.4.2 Tujuan khusus	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Bagi penulis	4
1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali	4
1.5.3 Bagi masyarakat	4
BAB II. LANDASAN TEORI	5
2.1 Pengertian Perancangan	5
2.2 Pengerian Refrigerasi	5
2.3 Refrigerasi Kompresi Uap	6
2.4 Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	7

2.4.1	Kompresor	7
2.4.2	Kondensor	8
2.4.3	Alat ekspansi	9
2.4.4	Evaporator	9
2.5	Mesin Es Kristal	10
2.5.1	Komponen mesin es	10
2.5.2	Jenis-jenis mesin es	12
2.6	<i>Phase Change Material (PCM)</i>	16
2.6.1	PCM organik	16
2.6.2	PCM anorganik	18
2.6.3	PCM kombinasi	18
2.7	Aplikasi PCM	20
2.7.1	Aplikasi PCM pada bangunan	21
2.7.2	Aplikasi PCM pada perlindungan dan transportasi produk yang peka terhadap suhu	22
2.7.3	Aplikasi PCM pada <i>Ice storage</i>	22
BAB III. METODE PENELITIAN		24
3.1	Jenis Penelitian	24
3.1.1	Desain rancangan mesin es Kristal	24
3.1.2	Rancangan diagram proses es Kristal	25
3.2	Alur Penelitian	26
3.3	Lokasi dan Waktu Penelitian	27
3.4	Penentuan Sumber Data	28
3.5	Sumber Daya Penelitian	28
3.6	Instrumen Penelitian	29
3.6.1	SketchUp Pro 2021	29
3.6.2	U-Refs	29
3.7	Prosedur Penelitian	30
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Hasil Penelitian	31
4.1.1	Rancangan akhir proses produksi es balok kristal dengan atau	

tanpa Bio-PCM.....	31
4.1.2 Hasil rancangan kapasitas produksi es balok kristal berbasis simulasi <i>thermodynamic</i>	32
4.1.3 Hasil rancangan konstruksi mesin es Kristal dengan bantalan Bio-PCM	34
4.2 Pembahasan	42
4.2.1 Bantalan Bio-PCM	42
4.2.2 Hasil rancangan diproduksi dengan baik dan presisi	42
4.2.3 Program SchetchUp untuk desain rancangan	45
4.2.4 Program U-RefS V.1.11 untuk simulasi	45
4.2.5 Kesulitan atau hambatan pada desain mesin es balok Kristal.....	46
BAB V. PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis paraffin	17
Tabel 2.2	Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non paraffin	18
Tabel 2.3	Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak	18
Tabel 2.4	Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa hidrat garam	19
Tabel 2.5	Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa logam (<i>metallic</i>)	20
Tabel 2.6	Aplikasi PCM	21
Tabel 3.1	<i>Time schedule</i> skripsi	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skematis siklus refrigerasi kompresi uap	7
Gambar 2.2	Kompesor	8
Gambar 2.3	Kondensor	8
Gambar 2.4	Alat ekspansi	9
Gambar 2.5	Evaporator	9
Gambar 2.6	Skematik mesin es Kristal	10
Gambar 2.7	<i>Filter dryer</i>	11
Gambar 2.8	Akumulator	11
Gambar 2.9	Fan	12
Gambar 2.10	<i>Ice flake machine</i>	13
Gambar 2.11	<i>Ice cube machine</i>	14
Gambar 2.12	<i>Ice tube machine</i>	14
Gambar 2.13	<i>Ice block machine</i>	15
Gambar 3.1	Desain rancangan mesin es Kristal	24
Gambar 3.2	Rancangan diagram proses es kristal	25
Gambar 3.3	Rancangan diagram proses es Kristal	25
Gambar 3.4	Alur penelitian	26
Gambar 3.5	Denah Politeknik Negeri Bali	27
Gambar 3.6	SketchUp Pro 2021	29
Gambar 3.7	U-Refs	29
Gambar 4.1	Rancangan diagram proses produksi es balok kristal	31
Gambar 4.2	Tampilan simulasi kapasitas produksi es balok menggunakan R-404A	33
Gambar 4.3	Konsumsi daya spesifik menggunakan R-404A	33
Gambar 4.4	Kapasitas pendingin mesin/cooling capacity menggunakan R-404A	34
Gambar 4.5	Frame mesin es tampak depan dan samping	35
Gambar 4.6	Box bawah tempat Bio-PCM	36
Gambar 4.7	Dudukan evaporator	37

Gambar 4.8	Evaporator tampak atas dan samping	39
Gambar 4.9	Susunan kedudukan evaporator dengan evaporator	39
Gambar 4.10	Box atas tampak samping dan atas	40
Gambar 4.11	Cetakan es	41
Gambar 4.12	Hasil rancangan mesin es balok kristal tampak dalam	41
Gambar 4.13	Bantalan Bio-PCM	42
Gambar 4.14	Perbandingan desain dengan hasil produksi.....	43
Gambar 4.15	Komponen diproduksi di luar kampus	43
Gambar 4.16	Komponen diproduksi di Lab. Tata udara PNB	43
Gambar 4.17	Perakitan komponen mesin es di Lab. Tata udara PNB	44
Gambar 4.18	Proses desain menggunakan program SchetchUp	45
Gambar 4.19	Proses simulasi dengan program U-RefS V1.11	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Lembar Bimbingan Dosen I

Lampiran 2 : Lembar Bimbingan Dosen II

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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. 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. 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.

Phase Change Materials (PCM) merupakan substansi yang dapat ditempatkan diselubung, yang dapat melepas ataupun menyerap energi termal selama proses pepadatan dan peleburan. Cheralathan *et al.* (2007) melakukan penelitian eksperimental kinerja sistem refrigerasi industri yang diintegrasikan dengan kapsul PCM yang ditempatkan pada tangki penyimpanan dimana evaporator dari sistem refrigerasi juga dipasang. Ditemukan bahwa kinerja termal dari sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan pengisian PCM pada temperatur kondensasi yang rendah dan juga pada temperatur evaporator yang optimal. Investigasi aplikasi PCM pada *freezer* komersial sudah dilakukan oleh Oró *et al.* (2012) dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja termal dari *freezer* pada saat pintu dibuka dan pada saat listriknya padam. 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. (A. Raeisi *et al.*, 2013)

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.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan proses produksi mesin es balok kristal dengan atau tanpa Bio-PCM.
2. Bagaimana rancangan kapasitas produksi mesin es balok kristal berbasis simulasi *thermodynamic*.
3. Bagaimana rancangan konstruksi mesin, cetakan es balok kristal dan bantalan penyimpan dingin Bio-PCM sehingga mampu mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi penulis hanya membahas mengenai tentang perancangan mesin es kristal dengan bantalan bio-PCM. Berdasarkan rumusan masalah di atas maka batasan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Perancangan proses produksi mesin es balok kristal dengan atau tanpa Bio-PCM.

2. Menentukan kapasitas dan dimensi mesin es balok kristal dengan program U-RefS.
3. Perancangan cetakan es balok kristal, evaporator dengan bantalan Bio-PCM dan konstruksi mesin serta *condensing unit*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang penulis harapkan dari penyusunan Skripsi yang bertemakan Pengembangan Rancangan Produk Industri Mesin Es Balok Kristal dengan Bantalan Bio-PCM. Dalam pembuatan Skripsi ini terdapat dua tujuan, yaitu tujuan umum dan tujuan khusus.

1.4.1 Tujuan Umum

Adapun tujuan umum dari pembuatan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.
2. Untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu yang di peroleh selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, baik secara teori maupun praktek.
3. Menguji dan mengembangkan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh di bangku kuliah menerapkan ke dalam bentuk perancangan.

1.4.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dari pembuatan Skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu merancang proses produksi mesin es balok kristal dengan atau tanpa Bio-PCM.
2. Mampu menentukan rancangan kapasitas produksi mesin es balok kristal berbasis simulasi *thermodynamic*.
3. Mampu menentukan rancangan konstruksi mesin, cetakan es balok kristal dan bantalan penyimpan dingin Bio-PCM sehingga dapat mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil Pengembangan Rancangan Mesin Es Balok Kristal dengan Bantalan Bio-PCM ini di harapkan dapat bermanfaat bagi penulis, instansi pendidikan khususnya di Politeknik Negeri Bali, dan juga bagi masyarakat pada umumnya.

1.5.1 Bagi Penulis

Hasil perancangan ini sebagai sarana untuk menerapkan dan mengembangkan ilmu-ilmu yang di dapat selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali baik secara teori maupun praktek. Selain itu merupakan syarat dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai bahan pendidikan atau ilmu pengetahuan di bidang perancangan alat refrigerasi di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk untuk dapat di kembangkan lebih lanjut.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Adapun manfaat dari mesin es kristal dengan bantalan Bio PCM ini adalah untuk membantu para pedagang kecil untuk memenuhi es mereka yang tidak terlalu besar, dan juga para nelayan untuk mengawetkan ikan hasil tangkapannya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Perancangan

Perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisis, menilai memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik sistem fisik maupun non fisik yang optimum untuk waktu yang akan datang dengan memanfaatkan informasi yang ada. Perancangan suatu alat termasuk dalam metode teknik, dengan demikian langkah-langkah pembuatan perancangan akan mengikuti metode teknik. Perancangan teknik adalah suatu aktivitas dengan maksud tertentu menuju kearah tujuan dari pemenuhan kebutuhan manusia, terutama yang dapat diterima oleh faktor teknologi peradaban kita.

2.2 Pengertian Refrigerasi

Refrigerasi merupakan sebuah proses memindahkan kalor/panas dari media atau ruangan dengan temperatur rendah ke temperatur yang lebih tinggi. Sistem refrigerasi menyerap kalor pada media atau ruangan dengan temperatur yang relatif rendah dan membuang kalor tersebut pada ruang atau lingkungan yang temperaturnya lebih tinggi. Refrigerasi memanfaatkan sifat-sifat panas (*thermal*) dari bahan refrigerant selagi bahan itu berubah keadaan dari bentuk cairan menjadi bentuk gas atau uap dan sebaliknya dari gas kembali menjadi cairan.

Ada beberapa jenis siklus refrigerasi, yaitu: siklus kompresi uap, siklus absorpsi, siklus adsorpsi, refrigerasi termoelektrik, refrigerasi magnetik, refrigerasi dengan ejektor, refrigerasi dengan gelombang suara dan lain-lainnya. Sampai saat ini, siklus refrigerasi kompresi uap masih mendominasi sistem refrigerasi yang ada termasuk pada aplikasi AC. Sistem refrigerasi sudah digunakan secara luas pada berbagai bidang. 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. Temperatur refrigerasi yang umum adalah 4°C. Pada temperatur ini makanan akan dapat

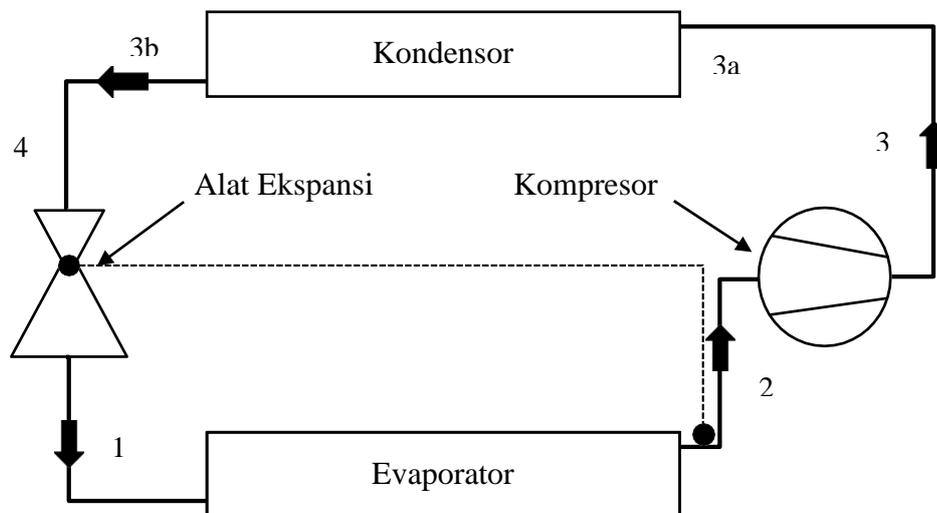
disimpan lebih lama. Jadi sistem refrigerasi mengawetkan makanan dengan menjaganya tetap dingin (Ryan. E, 2019).

2.3 Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan suatu sistem yang menggunakan kompresor sebagai alat kompresi refrigeran, yang dalam keadaan bertekanan rendah akan menyerap kalor dari tempat yang didinginkan, kemudian masuk pada sisi penghisap (*suction*) dimana uap refrigeran tersebut ditekan didalam kompresor sehingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi yang dikeluarkan pada sisi keluaran (*discharge*). Dari proses ini kita menentukan sisi bertekanan tinggi dan sisi bertekanan rendah.

Pada dasarnya siklus refrigerasi terdiri atas empat komponen dasar dengan empat proses yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Proses 1-2: Penyerapan kalor, Cairan refrigeran dalam evaporator menyerap panas dari sekitarnya, biasanya udara, air atau cairan proses lain. Selama proses ini cairan berubah wujudnya dari cair menjadi gas, dan pada keluaran evaporator gas ini diberi pemanasan lanjut menjadi *superheated* gas.
- b. Proses 2-3: Kompresi, uap panas lanjut masuk menuju kompresor dimana tekanannya dinaikkan. Temperatur juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran.
- c. Proses 3-4: Pembuangan kalor, *superheated* gas bertekanan tinggi mengalir dari kompresor menuju kondenser. Bagian awal proses (3-3a) menurunkan panas *superheated* gas (pelepasan kalor sensibel) dan selanjutnya gas jenuh mengalami kondensasi (pelepasan kalor laten) menjadi wujud cairan (3a-3b). Proses pembuangan panas ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan temperatur lebih lanjut terjadi pada pipa dan *receiver* (3b-4), sehingga cairan refrigeran didinginkan (pelepasan panas sensibel) ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju alat ekspansi.
- d. Proses 4-1: Ekspansi, cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi mengalir melalui alat ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan mengontrol aliran menuju evaporator.



Gambar 2.1 Skematik siklus refrigerasi kompresi uap
Sumber: Ryan. E (2019)

2.4 Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Komponen yang digunakan pada sistem refrigerasi kompresi uap terdapat empat komponen, jika salah satu dari keempat komponen tersebut tidak ada atau tidak terpenuhi maka sistem tidak akan dapat bekerja. Dengan hanya menggunakan keempat komponen tersebut kita sudah dapat membuat suatu sistem refrigerasi kompresi uap sederhana. Namun demikian, sistem tentunya tidak dapat bekerja secara sempurna, walaupun menggunakan komponen tambahan yang lengkap, kondisi ideal (teoritis) tidak akan dapat dicapai karena banyaknya variabel yang menyebabkan adanya penyimpangan dalam sistem aktual dari idealnya (Saesar, 2012). Berikut komponen utama sistem refrigerasi beserta fungsinya.

2.4.1 Kompresor

Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam mesin pendingin. Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrigerant dari tekanan dan temperatur rendah menjadi tekanan dan temperature tinggi, refrigeran dalam fase uap dikompresikan pada alat ini. Dengan adanya kompresi ini, maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (*discharge*) dengan sisi masuk (*suction*) yang menyebabkan refrigerant dapat

mengalir dalam sistem mesin pendingin. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrigeran dan suhu lingkungannya.



Gambar 2.2 Kompesor
Sumber: Agung P. (2019)

2.4.2 Kondensor

Didalam sistem refrigerasi kompresi uap, kondenser adalah suatu komponen yang berfungsi untuk merubah fasa refrigeran dari gas bertekanan tinggi menjadi cairan bertekanan tinggi atau dengan kata lain pada kondenser initerjadi proses kondensasi. Refrigeran yang telah berubah menjadi cair tersebut kemudian dialirkan ke evaporator melaluikatup ekspansi. Agar proses perubahan fasa yang diinginkan ini dapat terjadi, maka kalor/panas yang ada dalam gas refrigeran bertekanan tinggi harus dibuang keluar dari sistem.



Gambar 2.3 Kondensor
Sumber: Vestref, 2018

2.4.3 Katup ekspansi

Setelah refrigeran terkondensasi di kondenser, refrigeran cair tersebut masuk ke alat ekspansi yang mengontrol jumlah refrigeran yang masuk ke evaporator agar sesuai dengan laju aliran atau penguapan cairan refrigeran di evaporator. Selain itu, katup ekspansi juga berfungsi menurunkan tekanan hal ini pada sistem.



Gambar 2.4 Katup ekspansi
Sumber: Danfoss (2021)

2.4.4 Evaporator

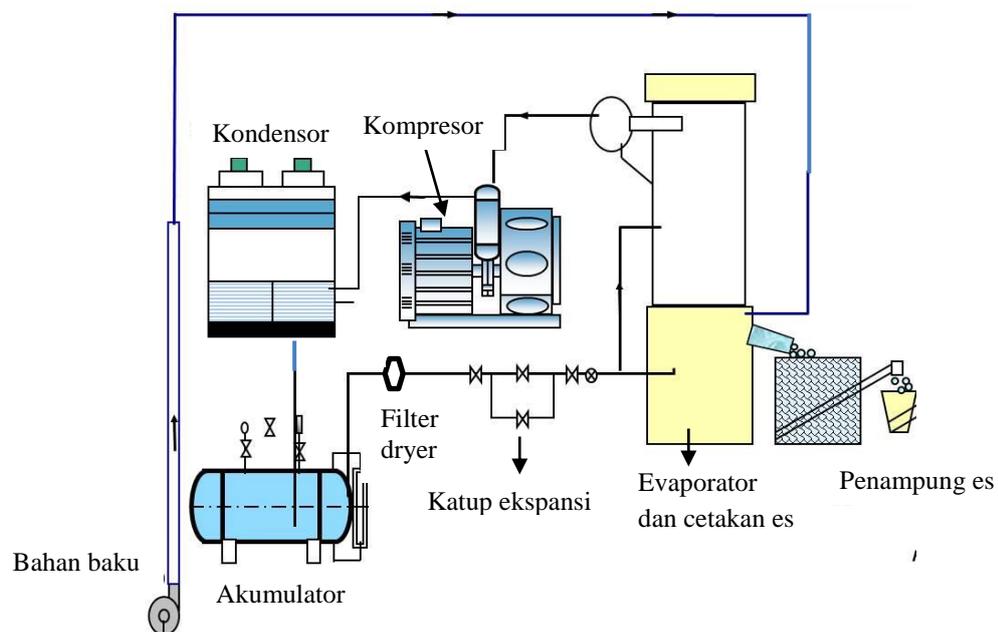
Evaporator merupakan sebuah media penguapan cairan refrigeran yang berasal dari alat ekspansi. Penguapan ini bertujuan untuk menyerap panas dari kabin atau ruang yang akan didinginkan melalui perpindahan panas dari dinding-dindingnya.



Gambar 2.5 Evaporator
Sumber: Ruang Mesin, 2020

2.5 Mesin Es Kristal

Mesin es kristal adalah mesin yang digunakan untuk membuat kristal es batu. Kristal es batu ini digunakan untuk bahan campuran minuman. Alat pembuat kristal es batu ini sangat cocok untuk digunakan dalam bisnis seperti. Kafe, restoran, rumah makan maupun menjual langsung kristal es batu juga tempat usaha lainnya. Cara kerja alat tersebut Anda cukup mengaliri air pada saluran khusus yang ada dalam mesin. Kemudian menghidupkan mesin lalu tunggu sampai mesin bekerja. Sehingga Anda pun akan memperoleh produk es batu sesuai dengan keinginan. Proses pembuatan es batu dengan alat ini hanya bermodalkan air bersih dan listrik saja. Alat yang berfungsi sebagai pembuat kristal es batu ini memang kini sudah begitu populer. Karena memiliki bentuk yang unik, proses penyajian yang cepat dan mudah dioperasikan sehingga bisa menarik minat konsumen. (Padma, 2019)



Gambar 2.6 Skema mesin es kristal
Sumber: Padma (2019)

2.5.1 Komponen mesin es

Komponen mesin es terbagi menjadi 2 (dua) yaitu, komponen utama dan komponen tambahan. Komponen utama dari mesin es menggunakan komponen

sistem kompresi uap pada 2.4. Fungsi komponen tambahan dari mesin es sebagai berikut:

a. *Filter dryer*

Bagian ini memiliki fungsi untuk menyaring segala kotoran atau partikel-partikel halus yang bersirkulasi bersama freon. Selanjutnya bagian ini juga berfungsi dalam menyaring sekaligus mengeringkan uap yang dihasilkan sistem pendingin.



Gambar 2.7 Filter dryer
Sumber: Polarin (2021)

b. Akumulator

Akumulator adalah penampung bahan pendingin yang telah menguap dan bahan pendingin cair yang tidak sempat menguap di evaporator. Bahan pendingin cair ditampung pada bagian bawah akumulator, hanya bahan pendingin uap dari bagian atas yang dapat mengalir ke saluran hisap kompresor.



Gambar 2.8 Akumulator
Sumber: Vestref, 2018

c. *Fan*

Fan (kipas) berfungsi membantu kondensator membuang panas ke udara luar.



Gambar 2.9 Fan
Sumber: Vestref, 2018

2.5.2 Jenis-jenis mesin es kristal

Mesin pembuat es atau *ice maker* adalah peralatan penting yang banyak digunakan perusahaan atau usaha sedang yang banyak menggunakan es batu, seperti hotel, restaurant, supermarket, bar, penyimpanan ikan ataupun usaha penyimpanan daging. Mesin pembuat es batu di desain khusus untuk membuat es batu dengan waktu singkat, sehingga akan lebih mudah di gunakan walaupun untuk pemakaian banyak. Banyak jenis *ice maker* yang di jual dan tentu saja mempunyai fungsi dan kegunaan yang berbeda beda pula. (Webadmin, 2014)

a. *Ice flake machine*

Ice flake machine atau mesin pembuat es serpihan menggunakan sistem menggunakan evaporator berbentuk tubular khusus dimana dipasang *auger* yang berputar pelan dengan *clearance* dinding yang kecil. *Auger* adalah *belt* yang digerakan melalui *gear box* jenis cacing (*worm*). Daya motornya berkisar 0,3 kW dan *gear box* memerlukan pemeriksaan dan penggunaan minyak pelumas *gear box* yang *heavy duty* selama pemeliharaan. Ketebalan es yang dihasilkan oleh *ice flake machine* dapat divariasikan dengan mengatur kecepatan dari bagian yang berputar pada mesin, memvariasikan temperature evaporator, atau mengatur aliran air pada permukaan beku. *Ice flake* dihasilkan secara kontinyu, tidak seperti

tubular ice yang dihasilkan dalam suatu siklus intermiten (antar waktu) atau pada saat panen. Ketebalan dari es yang dihasilkan antara 1 sampai 4,5 mm. pengoperasian yang terus menerus (tanpa siklus panen) memerlukan kapasitas refrigerasi yang kurang untuk menghasilkan 1 kg es dibandingkan dengan jenis mesin pembuat es lainnya dengan air tambahan dan temperature evaporasi yang sama.



Gambar 2.10 *Ice flake machine*
Sumber: Ramesia (2016)

b. *Ice cube machine*

Ice cube machine adalah mesin yang berfungsi untuk membuat es batu berbentuk kubus dengan skala yang besar dan waktu yang singkat. Mesin ini banyak di aplikasikan di tempat tempat yang selalu membutuhkan es batu, misalnya hotel, bar, restoran, ataupun supermarket. Dengan produksi es yang cepat dan banyak tentu saja akan lebih memudahkan kita dalam pembuatan es, karena selain tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak juga dapat menghemat waktu pengerjaan kita.



Gambar 2.11 *Ice cube machine*
Sumber: Webadmin (2014)

c. *Ice tube machine*

Sesuai dengan namanya, mesin es yang satu ini menghasilkan es berbentuk tube (tabung yang tengahnya bolong). Es jenis ini banyak digunakan untuk sajian minuman di hotel, restoran, atau cafe. Bentuknya yang cantik menjadi salah satu alasan bentuk es ini banyak dicari. Komponen dari mesin ini antara lain evaporator, *cooling tower*, kompresor, dan yang lainnya.



Gambar 2.12 *Ice tube machine*
Sumber: Astro (2018)

d. *Ice block machine*

Mesin es balok atau *ice block machine* merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk membuat dan mencetak es batu balok. Mesin juga sering disebut dengan *plug in ice block maker*, yaitu mesin yang dirancang secara khusus untuk memudahkan proses pembuatan es balok dengan cara yang paling mudah dan cepat. Di Indonesia sendiri, penggunaan mesin pembuat es balok cukup meningkat, hal ini dikarenakan Indonesia menjadi salah satu negara dengan kepulauan dan daerah pantai yang sangat luas. Wajar saja, jika banyak pebisnis yang ingin mencoba peruntungan yang sama dengan menyediakan es balok kebutuhan masyarakat, biasanya es balok digunakan sebagai bahan untuk mengawetkan ikan hasil tangkapan nelayan agar tetap segar. Pada pembuatan es balok dikenal 2 proses pembuatan es balok, yaitu *brine system* dan *direct system*. *Brine system* adalah proses pembuatan es dengan menggunakan air garam dalam metode pendinginannya. Es yang dihasilkan dengan *brine system* tidaklah higienis dan tidak layak untuk dikonsumsi karena diproduksi secara terbuka. Sedangkan es yang dihasilkan dengan *direct system* menggunakan sistem refrigerant untuk pendinginannya. Es yang dihasilkan pun sudah layak untuk dikonsumsi.



Gambar 2.13 *Ice block machine*
Sumber: Astro (2018)

2.6 *Phase Change Material (PCM)*

Bahan-bahan berubah fasa atau selanjutnya dikenal sebagai *Phase Change Material (PCM)* yang juga seringkali disebut sebagai bahan-bahan penyimpan panas laten adalah bahan yang mempunyai kemampuan untuk melepaskan energi panas yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa perubahan suhu (Meng, 2008). *Phase Change Material (PCM)* merupakan substansi yang dapat ditempatkan diselubung, yang dapat melepas ataupun menyerap energi termal selama proses pemadatan dan peleburan. Pelepasan dan penyerapan kalor oleh substansi akan berpengaruh terhadap suhu yang ada di dalam ruangan. Keuntungan menggunakan PCM adalah kemampuan penyimpanan panas yang kuat dengan minimal perubahan desain dari bangunan yang sudah ada. Dengan menggunakan konsep kapasitas panas laten maka, bahan yang mengandung PCM dapat menyerap dan melepaskan panas lebih efektif daripada selubung bangunan biasa (Murtyas *et al.*, 2018). Secara luas PCM diklasifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu organik dan anorganik. Pengelompokan ini didasarkan pada titik leleh dan panas peleburan laten. Namun karena tidak ada satu bahan yang dapat memenuhi seluruh sifat yang diinginkan, maka dikembangkan juga PCM yang merupakan kombinasi antara 2 kelompok bahan. (Sharma, 2009)

2.6.1 **PCM organik**

PCM organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya PCM organik mempunyai rentang suhu rendah. PCM organik mahal dan mempunyai rata-rata panas laten per satuan volume serta densitas rendah. Sebagian besar PCM organik mudah terbakar di alam. PCM organik dapat dibedakan sebagai parafin dan non parafin.

a. **Parafin**

Parafin terdiri dari campuran sebagian besar rantai lurus n-alkana $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Kristalisasi dari rantai $\text{(CH}_3\text{)-}$ melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualitas parafin sebagai bahan penyimpan panas peleburan disebabkan oleh rentang suhunya yang cukup luas. (Pudjiastuti, 2011)

Tabel 2.1 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa jenis paraffin.

Jumlah atom C	Titik leleh (°C)	Panas peleburan laten (kJ/kg)
14	5,5	228
15	10	205
16	16,7	237,1
17	21,7	213
18	28,0	244
19	32,0	222
20	36,7	246
21	40,2	200
22	44,0	249
23	47,5	232
24	50,6	255
25	49,4	238
26	56,3	256
27	58,8	236
28	61,6	253

Sumber: Sharma *et al.*, (2009)

b. Non parafin

PCM dari bahan non parafin merupakan PCM yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing-masing bahan ini mempunyai karakteristik/sifat khusus tidak seperti parafin yang mempunyai sifat hampir sama. Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari PCM. Di antara bahan-bahan non parafin tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis-jenis glikol. Kelompok ini seringkali dibedakan lagi menjadi kelompok asam lemak dan organik nonparafin lain. Bahan-bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada suhu tinggi, dekat nyala dan bahan pengoksidasi. Gambaran dari PCM nonparafin dapat dilihat pada Tabel 2.2, sedangkan PCM asam lemak dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non paraffin.

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
Formic acid	7,8	247
Caprylic acid	16,3	149
Glycerin	17,9	198,7
α -Lactic acid	26	184
Methyl palmitat	29	205
Phenol	41	120
Bee wax	61,8	177
Gyolic acid	63	109
Azobenzene	67,1	121
Acrylic acid	68,0	115
Glutaric acid	97,5	156
Catechol	104,3	207
Quenon	115	171
Benzoic acid	124	167
Benzamide	127,2	169,4
Oxalate	54,3	178
Alpha naphthol	96	163

Sumber: Sharma *et al.*, (2009)

Tabel 2.3 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa asam lemak.

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
Acetic acid	16,7	184
Polyethylene glycol	20-25	146
Capric acid	36	152
Eladic acid	47	218
Lauric acid	49	178
Pentadecanoic acid	52,5	178
Tristearin	56	190
Mirystic acid	58	199
Palmatic acid	55	163
Stearic acid	69,4	199
Acetamiide	81	141

Sumber: Sharma *et al.*, (2009)

2.6.2 PCM anorganik

PCM anorganik diklasifikasikan sebagai hidrat garam (*salt hydrate*) dan logam (*metallic*). PCM jenis ini tidak terlalu dingin dan panas peleburan tidak akan berkurang selama perputaran.

a. Hidrat garam

Hidrat garam dapat dilihat sebagai campuran garam anorganik dengan air membentuk padatan kristal tertentu dari formula umum $AB.nH_2O$. Perubahan bentuk padat-cair dari hidrat garam merupakan sebuah proses dehidrasi dari hidrasi garam. Hidrat-hidrat garam biasanya meleleh menjadi sebuah hidrat garam dengan mol air yang sangat kecil. Pada titik lelehnya, kristal-kristal hidrat terpecah menjadi garam anhidrat dan air atau ke dalam hidrat yang lebih rendah dan air. Hidrat-hidrat garam merupakan jenis PCM yang paling penting dan banyak dipelajari pada sistem penyimpanan energi. Sifat-sifat yang paling menonjol dari PCM jenis ini adalah: panas peleburan laten per-satuan volume tinggi, konduktivitas panas relatif tinggi (hampir dua kali parafin) dan perubahan volume selama meleleh kecil. PCM jenis ini juga tidak terlalu korosif, kompatibel dengan plastik dan hanya beberapa jenis yang beracun. Banyak jenis hidrat garam yang harganya tidak terlalu mahal untuk digunakan sebagai penyimpan panas. (Pudjiastuti, 2011)

Tabel 2.4 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa hidrat garam.

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
$K_2HPO_4.6H_2O$	14,0	109
$FeBr_3.6H_2O$	21,0	105
$Mn(NO_3)2.6H_2O$	25,5	148
$FeBr_3.6H_2O$	27,0	105
$CaCl_2.12H_2O$	29,8	174
$LiNO_3.2H_2O$	30,0	296
$LiNO_3.3H_2O$	30	267
$Na_2O_3.10H_2O$	32,0	241
$Na_2SO_4.10H_2O$	32,4	173
$KFe(SO_4)2.12H_2O$	33	138
$CaBr_2.6H_2O$	34	124
$LiBr_2.2H_2O$	34	134
$Zn(NO_3)2.6H_2O$	36,1	223

Sumber: Sharma *et al.*, (2009)

b. Logam (*Metallic*)

Jenis ini juga mencakup logam dengan titik leleh rendah dan campuran logam. PCMs jenis ini belum banyak menjadi perhatian sebab sangat berat. Namun, jika volume menjadi perhatian, jenis ini menjadi pilihan karena

mempunyai panas peleburan laten per-satuan volume yang tinggi. Di samping itu mereka juga mempunyai konduktivitas panas tinggi sehingga tidak diperlukan tambahan bahan pengisi yang berat. (Pudjiastuti, 2011)

Tabel 2.5 Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa logam (*metallic*).

Material	Titik leleh (°C)	Panas laten (kJ/kg)
Gallium-gallium	29,8	-
Antimony eutectic	29,8	-
Gallium	30,0	80,3
Cerrolow eutectic	58	90,9
Bi-Cd-In eutectic	61	25
Cerrobend eutectic	70	32,6
Bi-Pb-In eutectic	70	29
Bi-In eutectic	72	25
Bi-Pb-tin eutectic	96	-
Bi-Pb eutectic	125	-

Sumber: Sharma *et al.*, (2009)

2.6.3 PCM kombinasi

PCM kombinasi adalah sebuah komposisi dengan lelehan terendah dari dua komponen atau lebih, masing-masing meleleh dan membeku membentuk campuran dari komponen-komponen kristal selama proses kristalisasi. PCM jenis ini hampir selalu meleleh dan membeku tanpa pemisahan karena mereka membeku menjadi sebuah campuran kristal, memberikan sedikit kesempatan pada komponen-komponennya untuk memisahkan diri. Pada saat meleleh kedua komponen mencair secara berurutan dengan pemisahan yang tidak diinginkan. (Pudjiastuti, 2011)

2.7 Aplikasi PCM

Secara umum aplikasi PCM ditunjukkan pada Tabel 2.6. Aplikasi-aplikasi ini dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok utama yaitu perlindungan panas dan penyimpanan. Perbedaan kedua aplikasi tersebut berkaitan dengan konduktivitas panas dari bahan. Dalam beberapa hal perlindungan panas dibutuhkan nilai konduktivitas panas rendah, sedangkan pada sistem penyimpanan nilai tersebut dapat menimbulkan masalah karena dapat mengeluarkan energi yang memadai

tetapi tidak mempunyai kapasitas yang memadai untuk membuang energi secara cepat. (Pudjiastuti, 2011)

Tabel 2.6 Aplikasi PCM.

No	Aplikasi
1	Penyimpan panas dari energi matahari.
2	Penyimpan pasif pada <i>bioclimstic building</i> .
3	Pendingin pada bank es.
4	Pemanas dan sanitasi air panas dalam ruang dengan dengan peralatan computer atau elektrik.
5	Perlindungan panas pada makanan selama transportasi, es krim, makanan produk agro, produk susu.
6	<i>Green house</i> .
7	Perlindungan panas untuk elektronik.
8	Aplikasi medis (transpor darah, vaksin).
9	Pendingin mesin.

Sumber : Zalba *et al.*, (2003)

2.7.1 Aplikasi PCM pada bangunan

Penggunaan PCM untuk penyimpanan panas pada bangunan merupakan aplikasi pertama yang dipelajari, bersamaan dengan tangki penyimpan. Aplikasi pertama dari PCM ini dijelaskan di literatur untuk penggunaan sebagai pemanas dan pendingin pada bangunan. Hal yang sangat penting dalam aplikasi PCM pada bangunan adalah faktor keamanan. Satu hal yang menjadi kelemahan adalah memiliki berat termal rendah. Mereka juga cenderung mengalami fluktuasi yang tinggi sehingga memerlukan pemanasan dan pendinginan yang tinggi.

Aplikasi PCM dalam bangunan dapat mempunyai dua tujuan yaitu memanfaatkan sumber panas alam yaitu energi panas matahari pemanasan atau dingin malam untuk pendinginan serta memanfaatkan sumber panas atau dingin. Pada dasarnya ada tiga cara untuk menggunakan PCM sebagai pemanas atau pendingin bangunan, yaitu: PCM dalam dinding bangunan, PCM dalam komponen bangunan lain selain dinding, dan PCM dalam unit pemanas atau pendingin. Penggunaan PCM untuk melepaskan dingin sudah dikembangkan untuk *air conditioning* (AC) dimana dingin diambil dari udara pada malam hari dan dikeluarkan pada saat yang paling panas di siang hari. Konsep ini dikenal

sebagai pendinginan bebas. Aplikasi lain PCM pada bangunan adalah *refrigerator thermoelectric*. (Diaconu *et al*, 2009)

2.7.2 Aplikasi PCM pada perlindungan dan transportasi produk yang peka terhadap suhu

Jika produk makanan ditransportasikan, suhu makanan tersebut harus dijaga di atas suhu tertentu atau bila produk beku harus dihindari *defrosting*. Situasi yang sama berlaku untuk aplikasi medis. Kedua aplikasi tersebut sangat pas dengan menggunakan PCM sebab PCM mempunyai kemampuan untuk melepaskan panas dan dingin dalam rentang yang hanya beberapa derajat. Komponen elektronik cenderung mengalami kerusakan sangat cepat jika dioperasikan pada suhu di atas suhu kritisnya. Aplikasi PCM untuk produk ini sangat menjanjikan terutama karena PCM dapat beraksi secara pasif tanpa memerlukan sumber energi tambahan.

Aplikasi yang lain adalah pada mesin *engine* dan mesin-mesin hidraulik seperti kendaraan bermotor. Dalam aplikasi ini pelepasan panas dipanaskan dengan cairan pendingin karena mesin sedang jalan. Ketika mesin berhenti, panas dilepaskan dan dapat digunakan untuk pemanas awal pada mesin saat menyala baru. Sebagai contoh nyata, untuk aplikasi ini, Balai Besar Kimia dan Kemasan bekerja sama dengan KITECH, Korea telah melakukan penelitian dengan menggunakan PCM yang diproduksi oleh KITECH. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa PCM yang digunakan mampu mempertahankan suhu produk selama transportasi kira-kira 18-22 jam. (Pudjiastuti, 2011)

2.7.3 Aplikasi PCM pada *Ice storage*

Aplikasi ini dapat dilihat dalam berbagai bentuk seperti bulat, es dalam pipa yang mengandung air dengan glikol, atau pada evaporator. Bentuk-bentuk ini digunakan oleh berbagai pabrikan dan merek dagang seperti *Sedical*, *Ciat*, *Baltimore Aircool*, atau *Calmac*. Cold storage juga banyak dikembangkan untuk aplikasi-aplikasi lain seperti mendinginkan sayuran, pre-cooling udara masuk pada turbin gas, atau menjaga suhu dalam ruangan yang berisi peralatan komputer atau elektrik. Demikian juga penggunaan PCM untuk menghemat energi pada

green house telah banyak dipelajari. Penggunaan PCM pada pembangkit tenaga matahari juga sudah diteliti. Demikian juga penggunaan PCM sebagai insulasi pada pakaian. (Pudjiastuti, 2011)

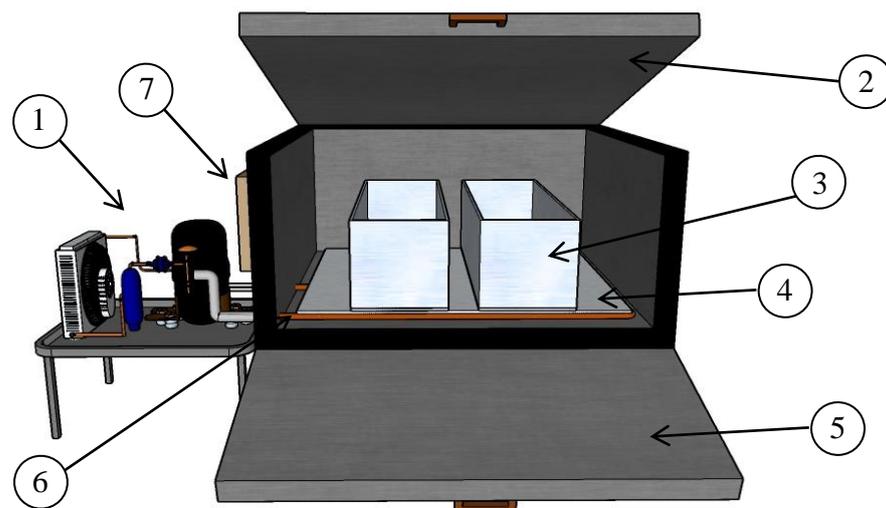
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian 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.

3.1.1 Desain mesin es balok kristal



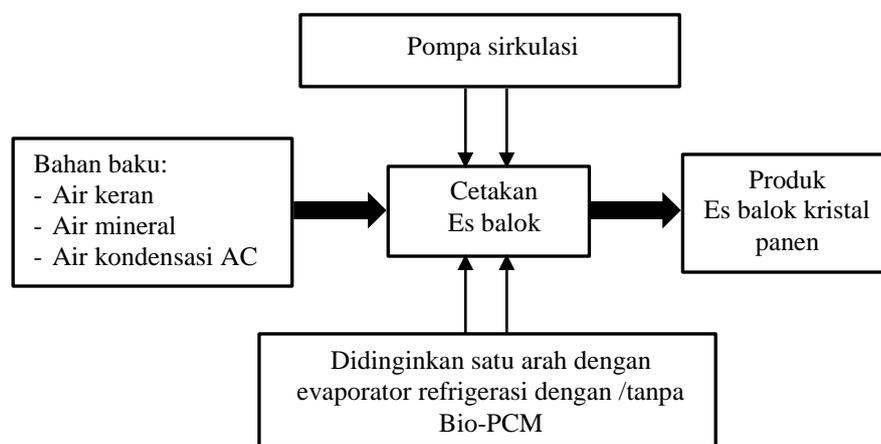
Gambar 3.1 Desain rancangan mesin es kristal

Keterangan gambar 3.1:

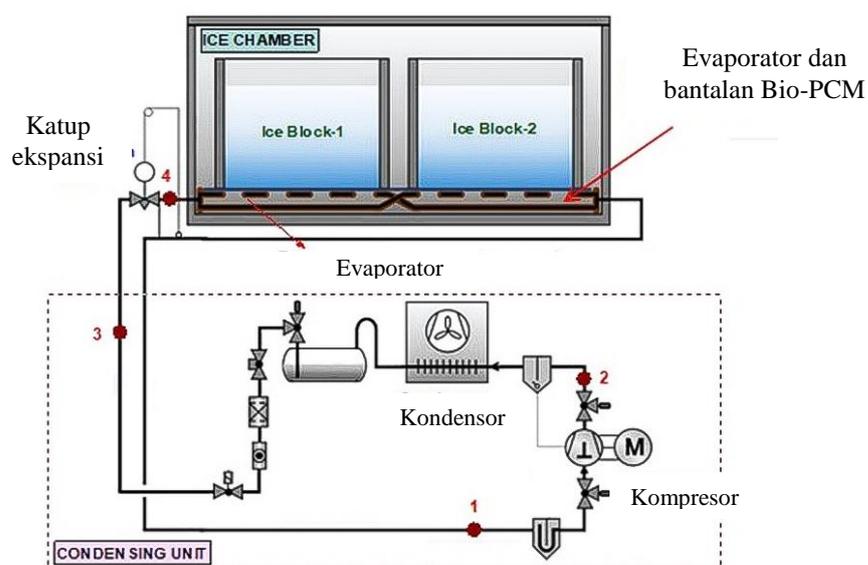
- | | |
|---|--|
| <p>1. <i>Condensing unit</i>, komponen ini meliputi:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Kompresor b) Kondensor c) Katup ekspansi d) <i>Filter dryer</i> e) Akumulator | <ul style="list-style-type: none"> 2. Tutup atas <i>box</i> 3. Cetakan es 4. Plat 5. Tutup depan <i>box</i> 6. Evaporator 7. Kontrol panel |
|---|--|

3.1.2 Rancangan awal diagram proses es balok kristal

Dalam rancangan diagram proses pembuatan es balok kristal ini (Gambar 3.2) 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 3.3), 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.

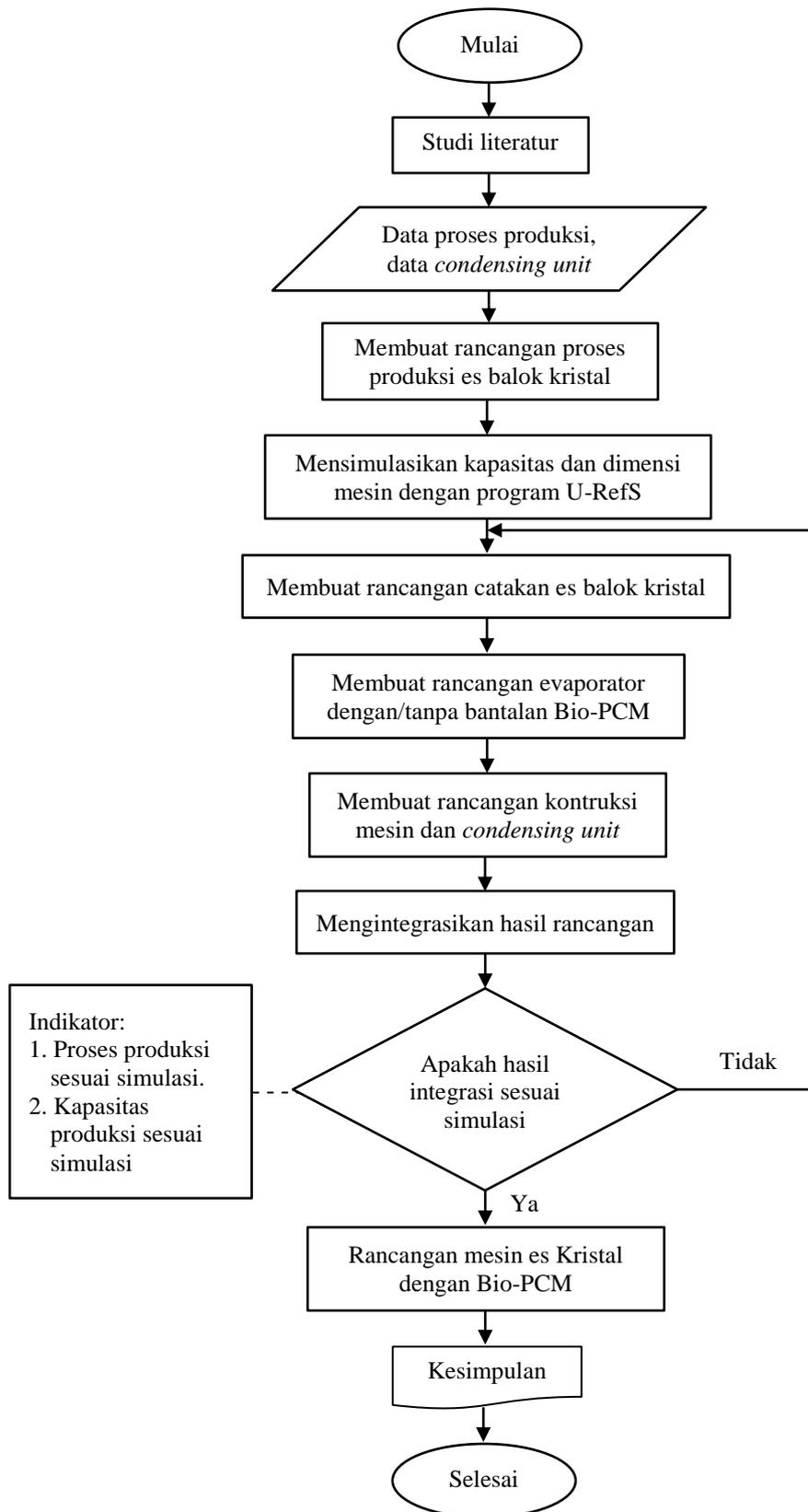


Gambar 3.2 Rancangan awal diagram proses pembuatan es balok kristal



Gambar 3.3 Skematik mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM

3.2 Alur Penelitian



Gambar 3.4 Alur penelitian

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini bertempat di lingkungan Politeknik Negeri Bali, tepatnya yaitu di Lab. Refrigerasi Jurusan Teknik Mesin, dimana letak dari Politeknik Negeri Bali seperti digambarkan pada Gambar 3.5 Pelaksanaan penelitian terkait dengan waktu dalam melakukan penelitian dijelaskan pada Tabel 3.1 dibawah.



Gambar 3.5 Denah Politeknik Negeri Bali

Tabel 3.1 *Time schedule skripsi.*

No	Uraian Kegiatan	Tahun 2022																																			
		Jan				Feb				Mar				Apr				Mei				Jun				Jul				Agu							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Pengajuan judul	■	■																																		
2	Penyusunan proposal		■	■	■																																
3	Seminar ujian proposal					■	■																														
4	Membuat rancangan proses produksi es kristal									■	■																										
5	Mensimulasikan kapasitas dimensi mesin dengan program U-Refs													■	■																						
6	Membuat rancangan cetakan es kristal																	■	■																		
7	Membuat rancangan evaporator dengan bantalan Bio-PCM																					■	■														
8	Membuat rancangan kontruksi mesin dan <i>condensing unit</i>																									■	■	■	■								
9	Mengintegrasikan hasil rancangan																													■	■	■	■				
10	Pembuatan skripsi																																	■	■	■	■
11	Ujian skripsi																																				■

3.4 Penentuan Sumber Data

Pada penelitian ini data-data yang diperoleh dengan melakukan perancangan pada mesin es kristal dengan bantalan Bio-PCM. Penentuan sumber data yang dilakukan melalui survey lapangan dan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan mesin es kristal, PCM (*Phase Change Material*), jurnal, *e-book*, maupun informasi yang bersumber dari internet lainnya.

3.5 Sumber Daya Penelitian

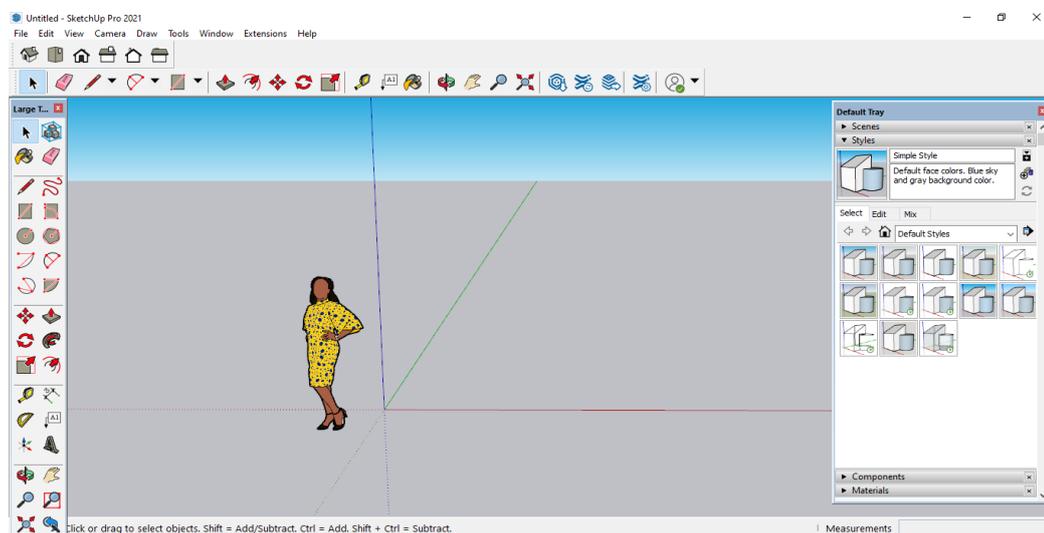
Dalam pengujian ini dibutuhkan *software* untuk melakukan pengembangan rancangan, yaitu dosen sebagai pembimbing, atau tim Lab. Refrigerasi sebagai menuntun dalam proses pengembangan rancangan dan simulasi ini dan saya sebagai mahasiswa yang membuatnya. Tempat pembuatan rancangan dan simulasi ini adalah di Lab. Refrigerasi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali. Agar lebih mudah untuk melakukan bimbingan dan mengarahkan agar mempermudah pada saat proses pengembangan rancangan dan simulasi ini.

3.6 Instrumen Penelitian

Untuk membantu proses pengembangan rancangan maka diperlukan beberapa instrumen yang akan di gunakan, yaitu:

3.6.1 SketchUp Pro 2021

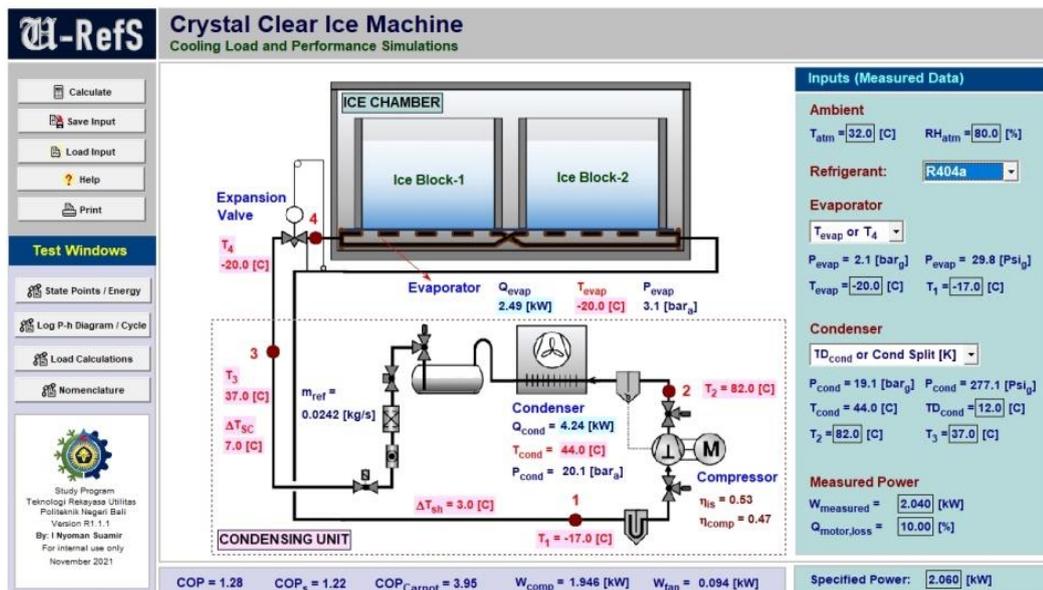
SketchUp merupakan aplikasi berupa model 3D intuitif yang memungkinkan pengguna membuat dan mengedit model 2D dan 3D menggunakan teknik cara “*push and Pull*” yang telah dipatenkan. Pada penelitian ini SketchUp digunakan untuk mendesain konstruksi mesin, cetakan es, dan bantalan penyimpan Bio-PCM.



Gambar 3.6 SketchUp Pro 2021

3.6.2 Program U-RefS V.1.11

U-RefS merupakan *distributable software* yang dikembangkan pada sebuah program *platform EES (Engineering Equation Solver)* yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi mesin es balok secara umum. Kemampuan simulasi program U-RefS V.1.11 mencakup kinerja energi dan temperatur, *cooling load* dan *cooling capacity*, serta kapasitas produksi sebuah mesin es balok. Sistem refrigerasi dari mesin es balok dapat disimulasikan dengan menggunakan berbagai jenis refrigeran. Program U-RefS V.1.11 juga diaplikasikan pada penelitian ini untuk melakukan simulasi kapasitas produksi, dimensi mesin dan cetakan es balok berdasarkan kapasitas produksi.



Gambar 3.7 Tampilan program U-RefS V.1.11

3.7 Prosedur Penelitian

Prosedur pengembangan rancangan produk industri mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Studi literatur, mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan.
2. Membuat rancangan proses produksi es kristal.
3. Setelah perancangan proses produksi, selanjutnya menjalankan *software* program U-RefS V.1.11 untuk menentukan kapasitas dan dimensi mesin es.
4. Setelah mendapatkan data-data kapasitas dan dimensi mesin dengan *software* program U-RefS V.1.11, selanjutnya melakukan desain rancangan cetakan es kristal, desain rancangan evaporator dengan bantalan Bio-PCM dan desain rancangan konstruksi mesin dan *condensing unit*.
5. Setelah selesai mendisain rancangan, selanjutnya mengintegrasikan hasil rancangan.
6. Desain rancangan mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM.

BAB IV

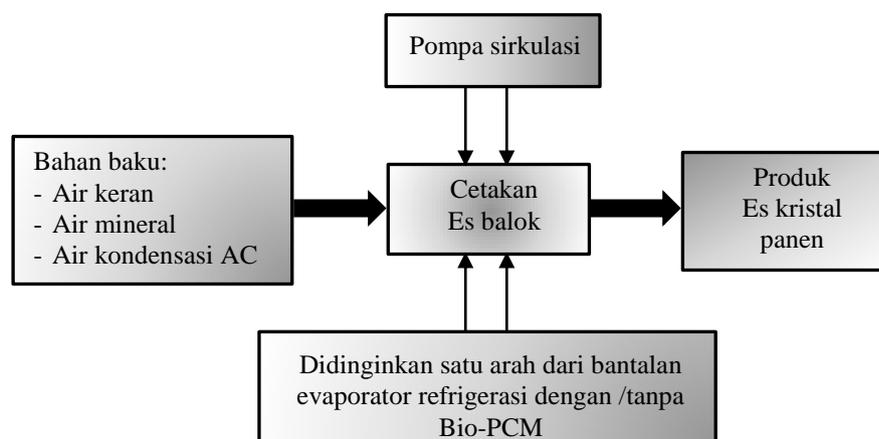
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

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 penyimpan dingin Bio-PCM sehingga mampu mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

4.1.1 Rancangan akhir proses produksi es balok kristal 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 4.1 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 4.1 Rancangan akhir diagram proses produksi es balok kristal

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.

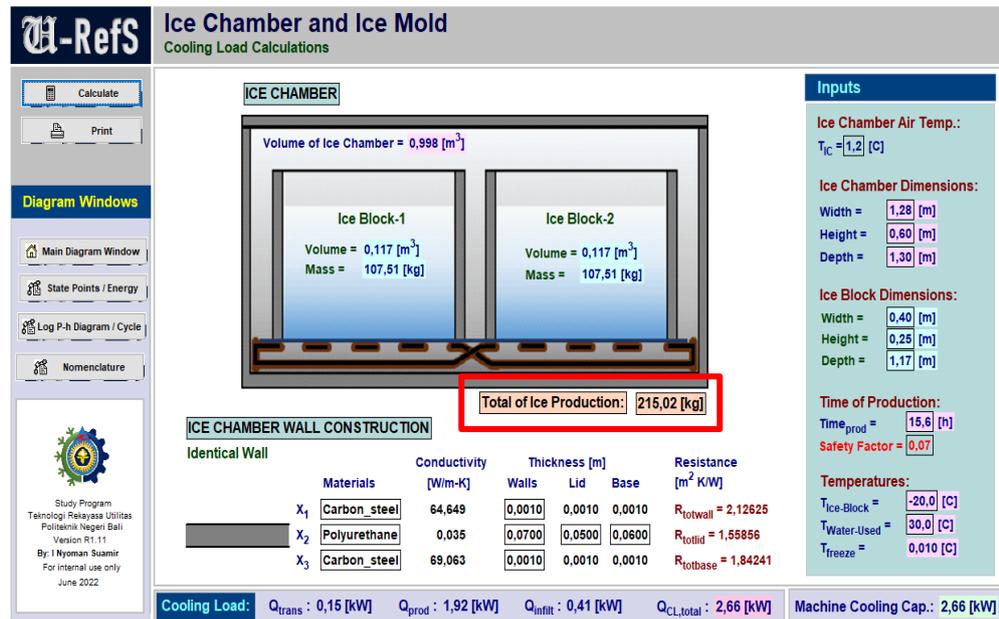
4.1.2 Hasil rancangan kapasitas produksi es balok kristal berbasis simulasi *thermodynamic*

Kapasitas produksi mesin es balok yang menggunakan dimensi mesin dan cetakan es dari mesin yang sudah ada sebeumnya, 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 4.2):

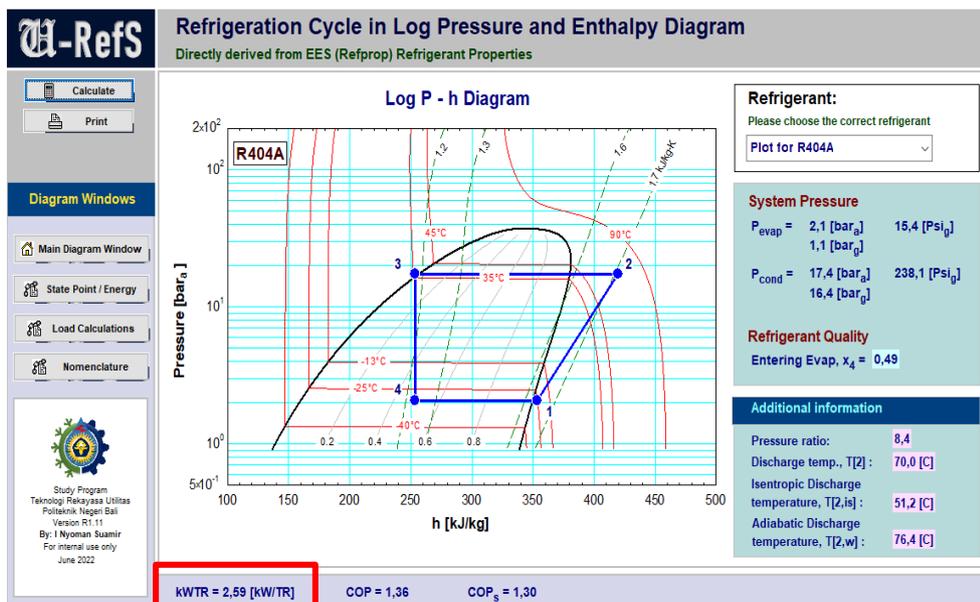
1. Q_{trans} : 0,15 kW; Q_{prod} : 1,92 kW; Q_{infil} : 0,41 kW; $Q_{CL,total}$: 2,66 kW
2. Kapasitas pendinginan mesin : 2,66 kW
3. Total produksi es balok : 215,02 kg dengan waktu produksi 15,6 jam



Gambar 4.2 Tampilan simulasi kapasitas produksi es blok menggunakan R-404A

a. Konsumsi daya spesifik

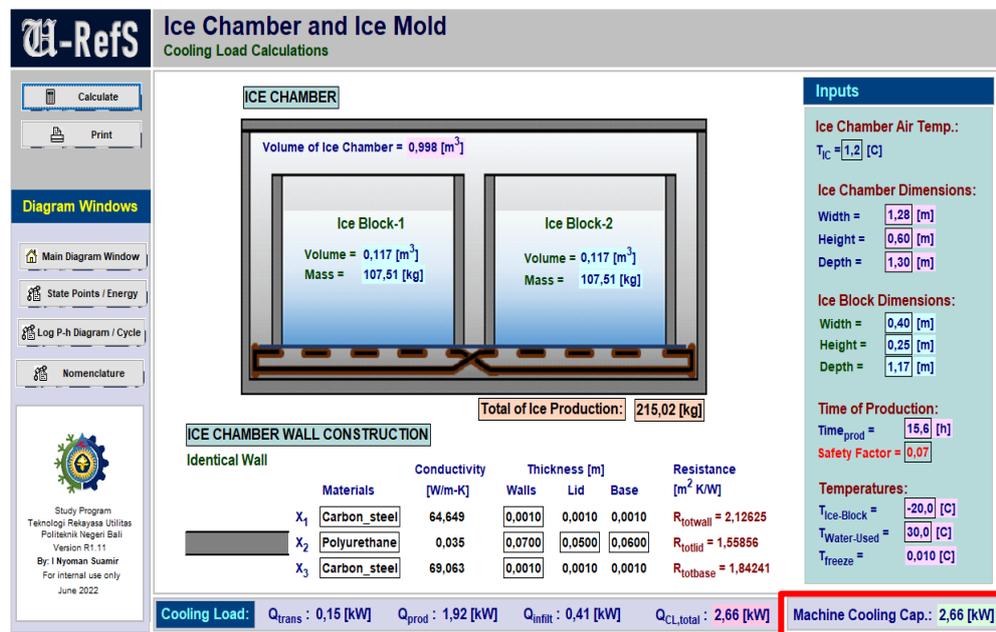
Konsumsi daya spesifik yang didapat dari hasil simulasi dengan jenis refrigeran R-404A menggunakan program U-RefS adalah 2,59 kW/TR. Hasil konsumsi daya spesifik dapat dilihat pada diagram window turunan 2 pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Konsumsi daya spesifik menggunakan R-404A

b. Kapasitas pendingin mesin/*cooling capacity*

Hasil simulasi perhitungan kapasitas pendinginan mesin es balok menggunakan refrigeran R-404A, hasilnya kapasitas pendinginan mesin dengan R-404A, yakni 2,66 kW. Kapasitas pendinginan atau *cooling capacity* dapat dilihat pada diagram window turunan 3: *load calculation*. Kapasitas pendinginan yang dihasilkan berdasarkan simulasi relatif lebih tinggi dibandingkan spesifikasi pabrikan dari sistem refrigerasinya. Dimana untuk mesin refrigerasi yang digunakan pada mesin es balok ini memiliki spesifikasi kapasitas pendinginan sebesar 2,5 kW.



Gambar 4.4 Kapasitas pendingin mesin/*cooling capacity* menggunakan R-404A

4.1.3 Hasil rancangan konstruksi mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM

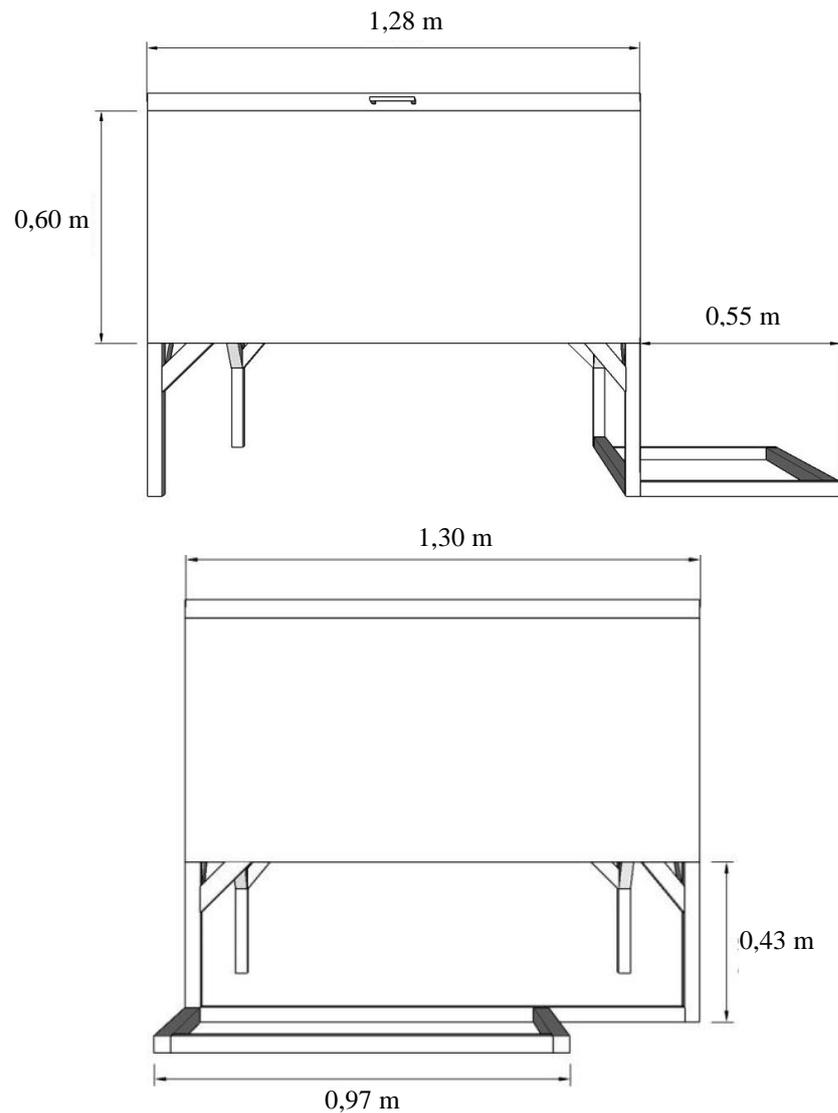
Pada proses pembuatan mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM dilakukan dengan proses pembuatan desain agar pada proses perakitan mendapatkan hasil yang baik dan dapat bekerja dengan optimal. Adapun spesifikasi dari desain mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM, dimensi yang digunakan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

Dimensi *frame* dalam mesin es:

Panjang : 1,30 m

Lebar : 1,28 m

Tinggi : 0,60 m



Gambar 4.5 *Frame* mesin es balok: tampak depan dan samping

Adapun keterangan mengenai bagian dalam yang ada pada perancangan mesin es kristal dengan bantalan Bio-PCM sehingga mampu mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

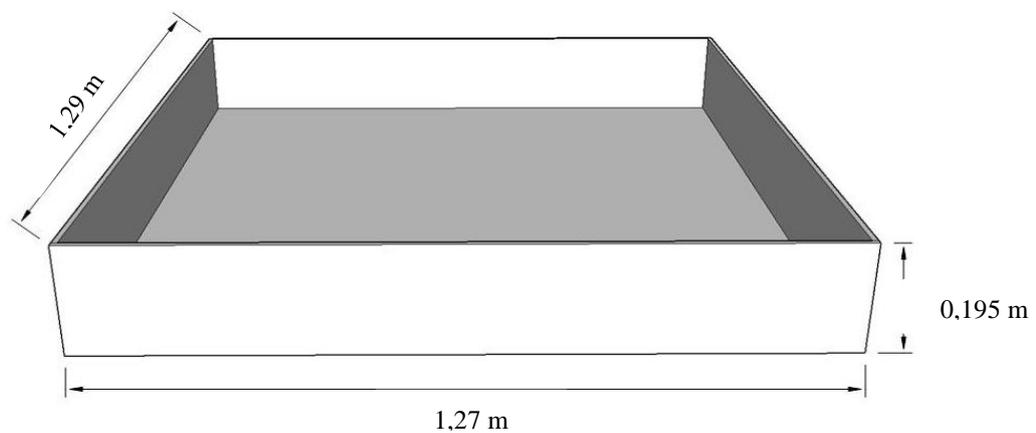
a. Box bawah tempat Bio-PCM

Box bawah pada mesin es balok ini (Gambar 4.6) bertujuan untuk ditematkannya Bio-PCM. Bahan box ini adalah *stainless steel* yang dimana sifatnya yang kuat dan juga tahan korosi. Dimensi dari box ini menyesuaikan dari dimensi ruangan mesin es balok. Dimensi dari box bawah ini sebagai berikut:

Panjang : 1,27 m

Lebar : 1,29 m

Tinggi : 0,195 m



Gambar 4.6 Box bawah tempat Bio-PCM

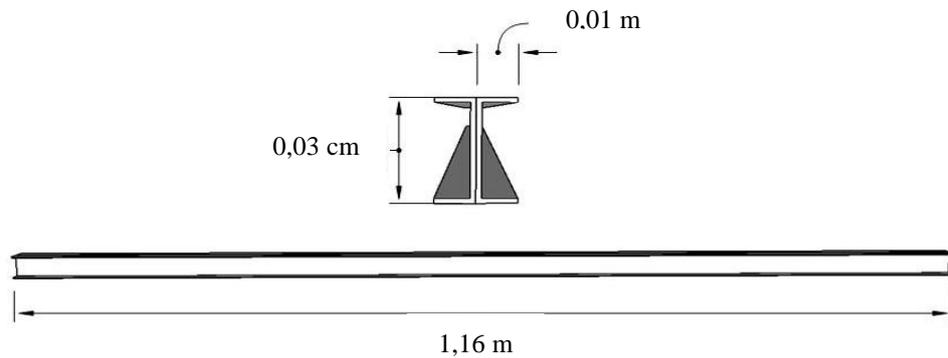
b. Dudukan evaporator

Dudukan evaporator pada mesin (Gambar 4.7) ini bertujuan untuk penyangga evaporator, agar evaporator terkunci dan tidak berubah bentuk. Bahan dari dudukan evaporator ini adalah *stainless steel* yang dimana sifatnya yang kuat dan juga tahan korosi. Dimensi dari dudukan evaporator bawah ini sebagai berikut:

Panjang : 1,16 m

Lebar : 0,01 m

Tinggi : 0,03 m



Gambar 4.7 Dudukan evaporator

c. Evaporator

Untuk rancangan evaporator asumsi tertentu dibuat sebagai berikut dengan menggunakan persamaan 4.1, 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 4.2.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

$$A = \pi \cdot D \cdot L \quad (4.2)$$

Keterangan:

$Q =$ *Refrigeration load* (kW)

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

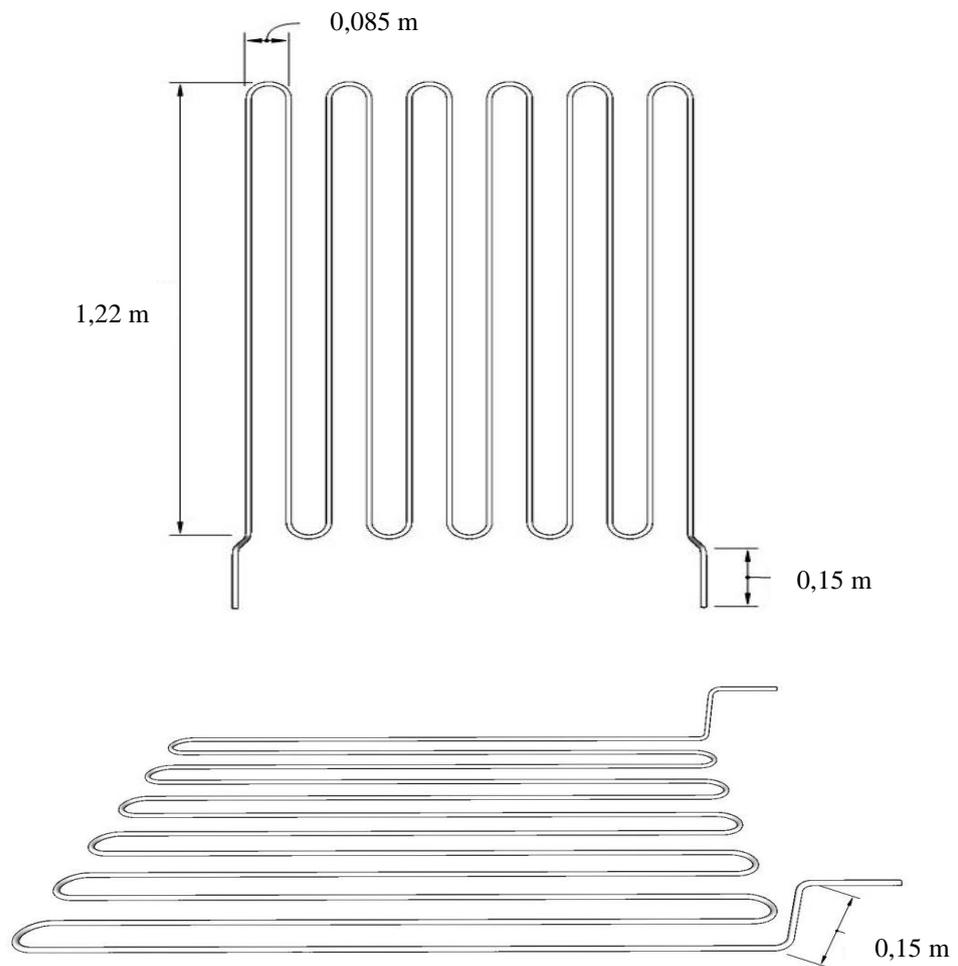
$A =$ Luas permukaan evaporator (m²)

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

$D =$ Diameter pipa (m)

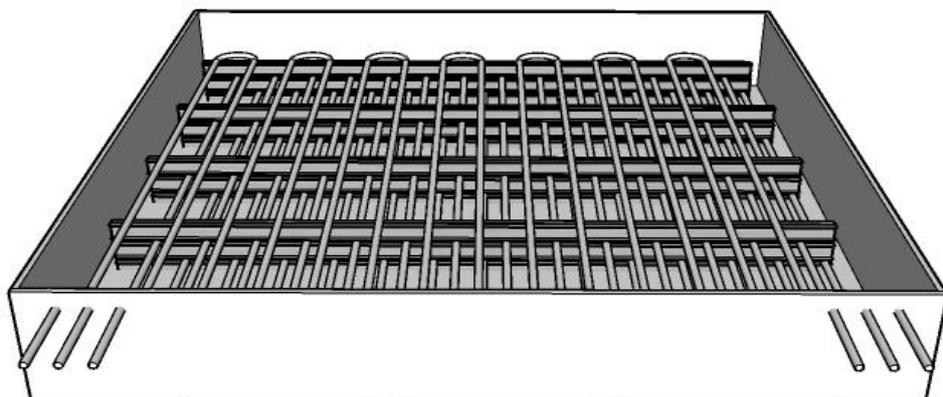
$L =$ panjang pipa (m)

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 4.8.



Gambar 4.8 Evaporator tampak atas dan samping

Maka susunan *box* atas, evaporator danudukan evaporator dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Susunan *box* atas, dudukan evaporator dan evaporator

d. Box atas

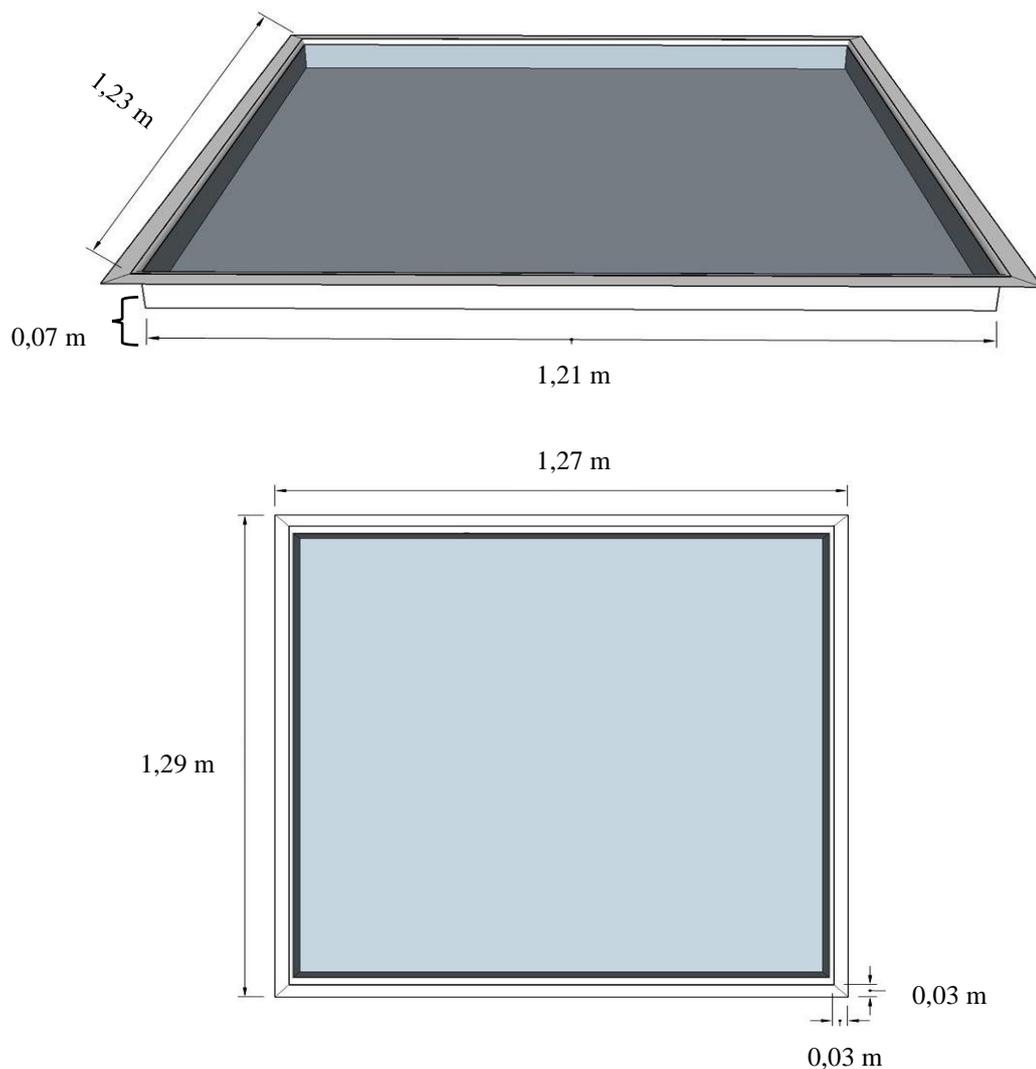
Box atas terdapat lipatan di bagian pinggir atas sepanjang 3 cm di semua sisinya, ini bertujuan agar cairan Bio-PCM tidak naik ke *box* atas yang akan ditempatkannya cetakan es. Bahan *box* atas ini adalah *stainless steel* yang dimana sifatnya yang kuat dan juga tahan korosi. Dimensi dari *box* ini menyesuaikan dari dimensi ruang mesin es dan didesain agar PCM tidak naik ke cetakan es. Berikut juga dapat dilihat pada Gambar 4.10:

Dimensi *box* atas:

Panjang : 1,21 m

Lebar : 1,23 m

Tinggi : 0,07 m



Gambar 4.10 *Box* atas tampak samping dan atas

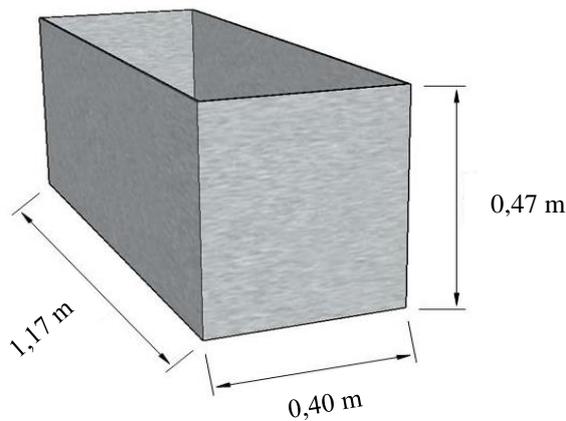
e. Cetakan es

Cetakan es ini berbentuk balok. Bahan cetakan es ini adalah stainless steel yang dimana sifatnya yang kuat dan juga tahan korosi. Dimensi dari cetakan es ini sebagai berikut:

Panjang : 0,40 m

Lebar : 1,17 m

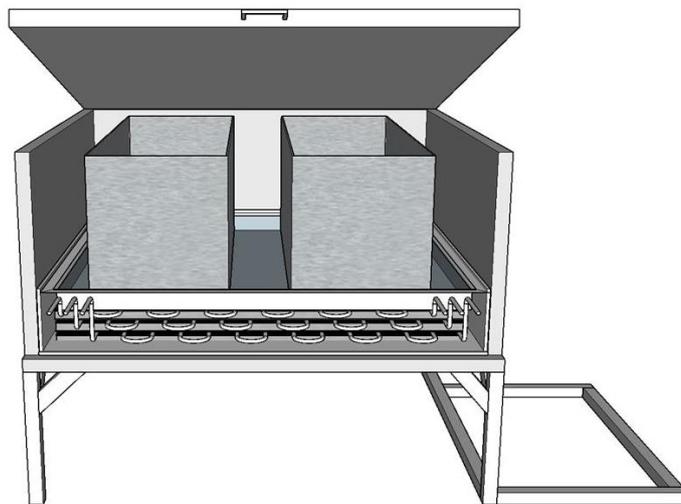
Tinggi : 0,47 m



Gambar 4.11 Cetakan es

f. Hasil akhir rancangan mesin es balok kristal

Hasil akhir rancangan merupakan hasil dari penggabungan dari semua komponen-komponen mesin es yang sudah didesain. Adapun hasil akhir rancangan dapat dilihat pada Gambar 4.12.

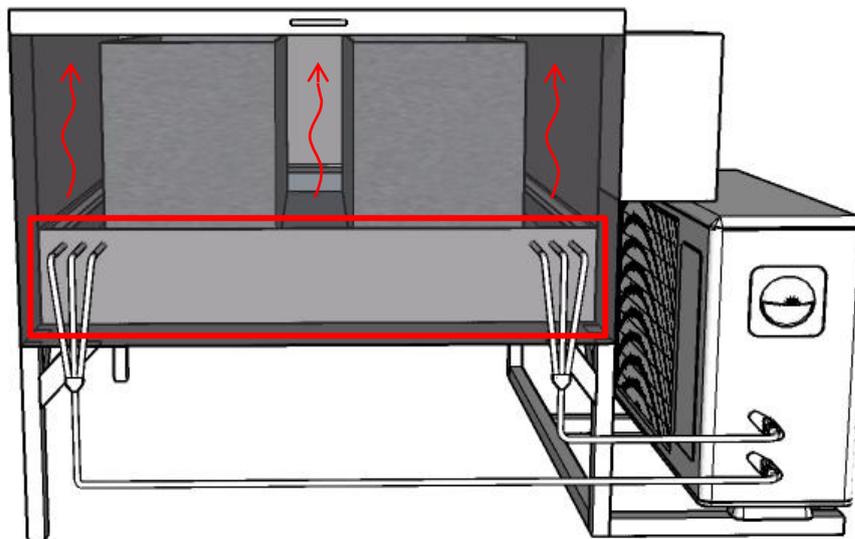


Gambar 4.12 Hasil rancangan mesin es balok kristal tampak dalam

4.2 Pembahasan

4.2.1 Bantalan Bio-PCM

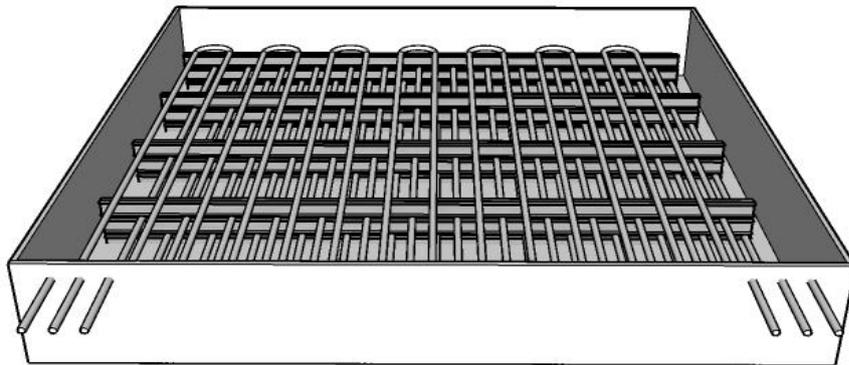
Bantalan Bio-PCM merupakan evaporator yang terintegrasi dengan Bio-PCM dan ditempatkan di bawah cetakan es balok sebagai bantalan atau dudukan yang mendinginkan cetakan es dari satu arah, dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Bantalan Bio-PCM

4.2.2 Hasil rancangan diproduksi dengan baik dan presisi

Hasil perancangan menggunakan program SketchUp Pro 2021 dapat diproduksi dengan baik dan presisi sesuai hasil dari rancangan dapat dilihat pada Gambar 4.14. Pada saat produksi mesin es dilakukan, bahwa produksi dilakukan sebagian komponen masih di luar kampus Politeknik Negeri Bali dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan sebagian dilakukan di dalam kampus Politeknik Negeri Bali dapat dilihat pada Gambar 4.16, karena adanya keterbatasan peralatan yang dimiliki di Jurusan Teknik Mesin PNB. Walaupun demikian komponen yang diproduksi di dalam kampus dan di luar kampus dapat dirakit dengan sempurna dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.14 Perbandingan desain dengan hasil produksi



Gambar 4.15 Komponen diproduksi di luar kampus



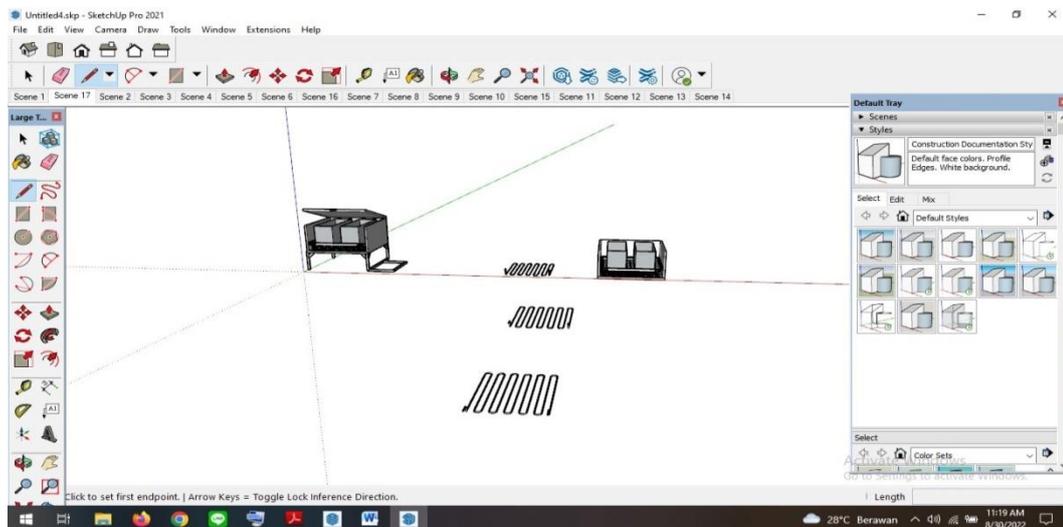
Gambar 4.16 Komponen diproduksi di Lab. Tata udara PNB



Gambar 4.17 Perakitan komponen mesin es di Lab. Tata udara PNB

4.2.3 Program SketchUp Pro 2021 untuk desain rancangan

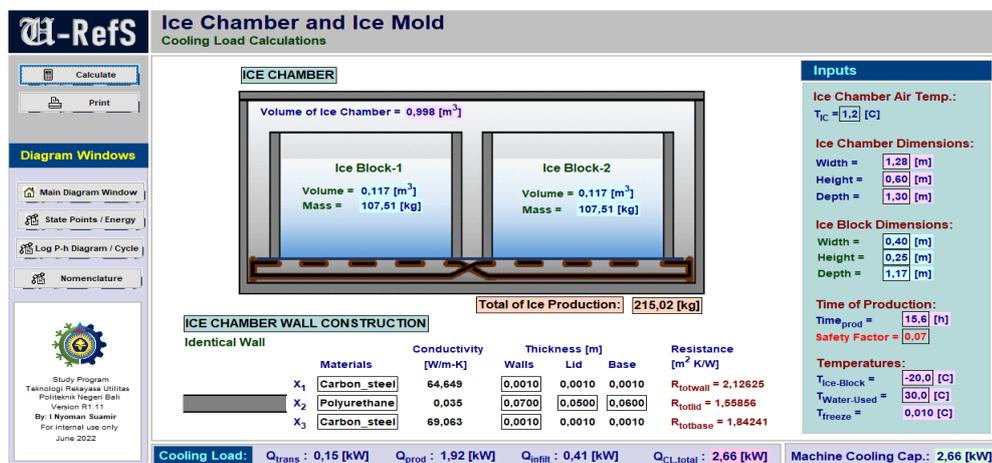
Pada saat pembuatan desain dengan program SketchUp dapat memberikan hasil desain yang akurat dan dengan penampilan yang lengkap baik dua dimensi maupun tiga dimensi serta *tools* di dalamnya cukup lengkap. Penyajian desain dapat dilakukan dengan lebih mudah dan memerlukan fasilitas komputer yang ringan.



Gambar 4.18 Proses desain menggunakan program SketchUp

4.2.4 Program U-RefS V.1.11 untuk simulasi

Dalam melakukan simulasi program U-RefS V.1.11 ini sangat membantu. Sehingga simulasi dapat dilakukan dengan cepat untuk menentukan kapasitas produksi dan dimensi dari mesin es balok yang dirancang.



Gambar 4.19 Proses simulasi dengan program U-RefS V1.11

4.2.5 Kesulitan atau hambatan pada desain mesin es balok kristal

Saat melakukan desain menggunakan program SketchUp, adapun hambatan seperti bayangan-bayangan yang mengganggu yang mengakibatkan konsentrasi hancur dan juga terkadang terdapat bug pada sistem yang disebabkan karena penggunaan terlalu lama, yang diharuskan untuk merestart kembali programnya. Itu adalah beberapa catatan yang mungkin bisa disebut kesulitan dalam mendesain menggunakan program SketchUp.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengembangan rancangan mesin es balok kristal dengan bantalan Bio-PCM dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. 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.
2. 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.
3. 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 penyimpan dingin Bio-PCM sehingga dapat mengadopsi pengujian dengan atau tanpa Bio-PCM.

5.2 Saran

Menggunakan program SketchUp untuk perancangan desain sangat mudah digunakan karena antarmuka yang menarik dan sederhana, mudah digunakan bahkan untuk pemula, banyak macam open source serta *plugin* yang mendukung

kinerja SketchUp, ada fungsi untuk bisa mengimpor ekstensi file seperti 3D, dwg, pdf, jpg dan lain lain, serta aplikasi ringan dijalankan pada komputer standar. Adapun hambatan saat mengoperasikan program ini seperti bayangan-bayangan yang mengganggu yang mengakibatkan konsentrasi hancur dan juga terkadang terdapat bug pada sistem yang disebabkan karena penggunaan terlalu lama, yang diharuskan untuk merestart kembali programnya.

Diharapkan kedepannya untuk melakukan perancangan desain menggunakan program yang lebih profesional dibandingkan program SketchUp ini sehingga menghasilkan desain yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Raeesi, 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.
- Agung, P. 2019. *Jenis-jenis Kompresor Kulkas*. <https://serviceacjogjapro/kompresor-kulkas/>. Diakses pada 6 Februari 2022.
- Astro. 2018. *Mesin Pembuat Ice & Minuman*. <https://astromesin.com/harga-mesin-es-kristal/>. Diakses pada 5 Februari 2022.
- Danfoss. 2021. *T2/TE2 Thermostatic Expansion Valves, Exchangeable Orifice*. <https://www.danfoss.com/en-us/products/dcs/valves/thermostatic-expansion-valves/thermostatic-expansion-valves/t2-te2/>, Diakses pada 7 Februari 2022.
- Diaconu, B.M., S. Varga, A.C. Oliviera. 2009. Experimental Assessment Of Heat Storage Properties And Heat Transfer Characteristics Of Phase Change Materials Slurry For Air Conditioning Application. *Applied Energy*, 87 (2): 620-628.
- E. Oro, L. Miro, M.M. Farid and L.F. Cabeza, 2012. Improving Thermal Performance of Freezers using Phase Change Materials. *International Journal of Refrigeration*. Vol. 35, pp. 984-991.
- M. Cheralathan, R. Velraj and S. Renganarayanan, 2007. Performance Analysis on Industrial Refrigeration System Integrated with Encapsulated PCM-base cool Thermal Energy Storage System. *Int. J. Energy Res*, Vol. 31, pp. 398–413.
- Meng, Q. and Jinlian Hu, 2008. A poly(ethyleneglycol)-based smart phase change material. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92: 1260-1268.
- Mesin, Ruang. 2020. *Struktur Dan Cara Kerja Evaporator Dan Thermostat*. <http://www.ruangmesin.com/struktur-dan-cara-kerja-evaporator-dan-thermostat/>. Diakses pada 7 Februari 2022.
- Murtyas, S. D., Cholida, S. N., & Ridwan, M. K. (2018). Pemodelan Phase Change Materials Pada Distribusi Termal Selubung Bangunan Hotel. *Journal of Mechanical Engineering*, 2 (1), 1–7.
- Padma. 2019. *Prinsip Kerja Pabrik Es dan Komponen-Komponennya*, <https://www.dinginaja.com/2019/02/prinsip-kerja-pabrik-es-dan-komponen.html>, diakses pada 17 Januari 2022.
- Pudjiastuti, W. 2011. Jenis-Jenis Bahan Berubah Fasa dan Aplikasinya. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 33 (1): 118-123.

- Ryan, E, Pramayodha. 2019. *Sistem Pengoperasian dan Perawatan Alat Pendingin Makanan di TB. alim PT. Kaltim Shipyard Samarinda*. Karya Tulis. Universitas Maritim AMNI Semarang.
- 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 Review*, 13 (2): 318-345.
- Vestref. 2018. *Komponen Bagian Mesin Es Kristal*. <http://www.mesin-es-kristal.com/2018/04/bengkel-mesin-es-vestref.html>. Diakses pada 6 Februari 2022.
- Wahyudi, A. 2018. *Fan Motor Unit Pendingin*. <https://www.tptumetro.com/2018/09/fan-motor-unit-pendingin.html>, diakases tanggal 18 Januari 2022.
- Webadmin. 2014. *Macam-Macam Mesin Pembuat Es*. <https://mesinraya.co.id/macam-macam-mesin-pembuat-es.html>, diakases tanggal 18 Januari 2022.
- Zalba, B., J.M. Marin, L.F. Cabeza, H. Mehling, 2003. Review On Thermal Energy Storage With Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis And Applications. *Applied Thermal Engineering*, 23 (3): 251-283.

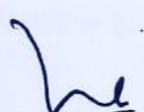
LAMPIRAN

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI

POLITEKNIK NEGERI BALI
JURUSAN TEKNIK MESIN

FORM BIMBINGAN TUGAS AKHIR TAHUN AKADEMIK 2021/2022

NAMA	: 1 Made Suradita
NIM	: 1815234010
PROGRAM STUDI	: Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
PEMBIMBING (1/1)	: Achmad Wibolo, ST, MT

NO.	TGL/BLN/THN	URAIAN PERKEMBANGAN	PARAF PEMBIMBING
1	Senin 01/08 2022	Membahas tentang isi hasil penelitian	
2	Senin 08/08 2022	Pembahasan urutan hasil pengujian	
3	Selasa 16/08 2022	Pembahasan tentang uraian masing-masing gambar proses	
4	Kamis 18/08 2022	Pembahasan tentang uraian hasil pengujian	
5	Jumat 25/08 2022	Pembahasan tentang Tata letak	
6	Senin 29/08 2022	Acc	

POLITEKNIK NEGERI BALI
JURUSAN TEKNIK MESIN

FORM BIMBINGAN TUGAS AKHIR TAHUN AKADEMIK 2021/2022

NAMA	: I Made Suradita
NIM	: 1815234010
PROGRAM STUDI	: Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
PEMBIMBING	: I Dewa Made Susila, S.T., M.T.
	(I/II)

NO.	TGL/BLN/THN	URAIAN PERKEMBANGAN	PARAF PEMBIMBING
1	3/8 2022	Membahas tentang isi hasil penelitian	
2	9/08 2022	Membahas tentang Bab V kesimpulan dan saran	
3	19/08 2022	Periksa secara keseluruhan Bab I-V	
4	29/08 2022	Revisi data tulis	
5	31/08 2022	ACC	