

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KALOR

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang akan terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*). Dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten (*latent heat*).

2.1.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur. Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Dimana: Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat [J]

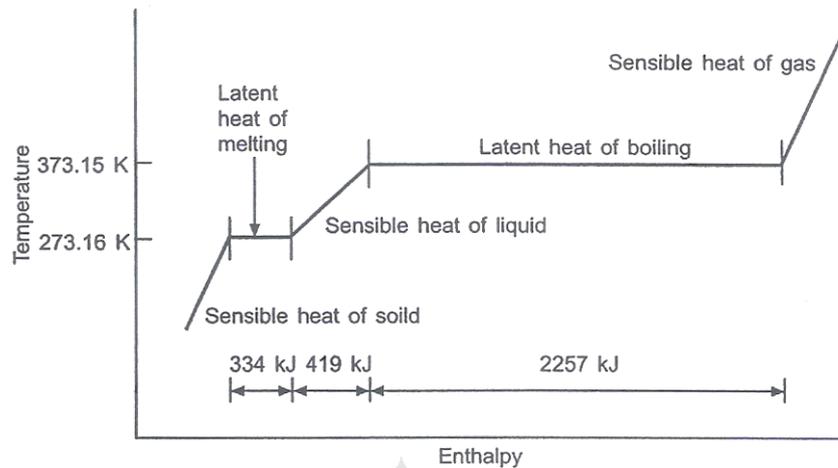
m = massa zat yang mengalami perubahan temperatur [kg]

C_p = Kalor jenis zat [J/kg.K]

ΔT = Perubahan temperatur yang terjadi [K]

2.1.2 Kalor Laten (*Latent Heat*)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaan jenuhnya dan menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu kalor laten peleburan atau pembekuan dan kalor laten penguapan atau pengembunan. Kalor laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fase suatu zat.



Gambar 2.1: Energi yang dibutuhkan untuk merubah temperatur dan fase air.

Sumber: Trot, A.R., & Welch, T. (3th ed.). (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*. Woburn: Butterworth-Heinemann

Secara umum kalor laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat dirumuskan dengan:

$$Q = m \cdot h_l \quad (2.2)$$

Dimana: Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat [J]

h_l = Kalor laten [kJ/kg]

Hubungan antara energi kalor dengan laju perpindahan kalor yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$Q = q \cdot \Delta T \quad (2.3)$$

Dimana: Q = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat [J]

q = Laju perpindahan kalor [Watt]

Δt = Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan energi kalor [s]

2.2 PERPINDAHAN KALOR

Secara natural perpindahan kalor terjadi akibat perbedaan temperatur, dimana kalor bergerak dari suatu zat dengan temperatur tinggi ke suatu zat dengan temperatur yang lebih rendah. Perpindahan energi kalor ini akan terus berlangsung

hingga kedua zat tersebut mencapai kesetimbangan temperatur. Perpindahan kalor dapat terjadi dalam tiga cara yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi.

2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi melalui perogolakan molekular suatu material tanpa diikuti perpindahan material secara menyeluruh. Contoh dari konduksi adalah ketika suatu batang logam yang dipanaskan pada salah satu ujungnya, maka panas tersebut lama kelamaan akan dapat dirasakan diujung yang lain.

2.2.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor melalui gerakan massa dari fluida seperti air atau udara, ketika fluida yang dipanaskan bergerak menjauhi sumber panas dan menuju daerah dengan temperatur lebih rendah dengan membawa energi. Contoh dari peristiwa konveksi adalah ketika proses memasak air, dimana air yang berada pada bagian bawah wadah akan bergerak menjauhi sumber panasnya.

Perpindahan kalor dengan cara konveksi ini dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu konveksi bebas (*free convection*), dimana aliran terjadi akibat dari gaya apung yang timbul dari perbedaan densitas fluida karena variasi temperatur dalam fluida. Yang selanjutnya adalah konveksi paksa (*forced convection*), dimana aliran yang terjadi akibat adanya kerja dari luar seperti kipas, pompa ataupun pergerakan angin.

2.3 REFRIGERASI

Dalam kondisi alami, kalor berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Untuk memindahkan kalor dari medium bertemperatur rendah ke medium dengan temperatur lebih tinggi diperlukan suatu sistem yang disebut refrigerasi. Proses refrigerasi terjadi antara media penyerap/pelepas kalor dengan lingkungan. Media yang digunakan untuk membawa untuk memindahkan kalor disebut dengan *refrigerant*. Selama terjadinya proses refrigerasi, *refrigerant* mengalami perubahan fase, yaitu dari fase cair ke uap (proses penguapan) dan dari fase uap kembali lagi ke fase cair (proses pengembunan).

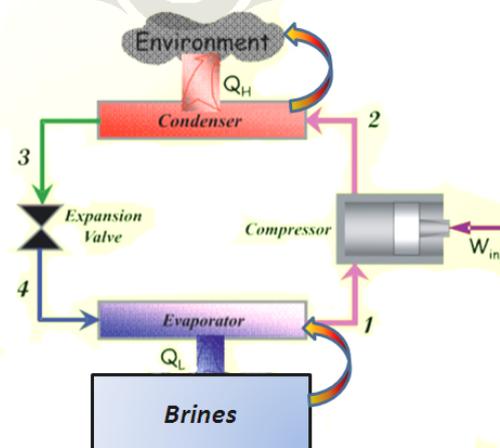
Pada proses penguapan, *refrigerant* membutuhkan sejumlah kalor yang diambil dari lingkungan, sehingga suhu lingkungan menjadi lebih dingin atau yang biasa disebut dengan efek pendinginan (*refrigeration effect*).

Pada proses pengembunan (kondensasi), *refrigerant* melepas sejumlah kalor ke lingkungan, sehingga temperatur lingkungan menjadi lebih hangat atau yang biasa disebut dengan efek pemanasan (*heating effect*).

Sistem refrigerasi terdiri dari beberapa komponen yang disusun berdasarkan urutan tertentu untuk dapat mengambil kalor dari suatu tempat dan melepaskannya ke tempat yang lain. Sistem refrigerasi yang menghasilkan pendinginan dikelompokkan ke dalam beberapa kategori utama berikut ini:

- Siklus Kompresi Uap

Pada sistem refrigerasi dengan siklus kompresi uap, *refrigerant* yang merupakan media untuk pemindah kalor melewati katup ekspansi yang kemudian mengalami penurunan tekanan hingga mencapai tekanan penguapannya. Setelah itu *refrigerant* mengalami perubahan fase dari cair menjadi uap didalam evaporator. Pada saat inilah terjadi efek pendinginan terjadi. Kemudian *refrigerant* melewati kompresor dan mengalami peningkatan tekanan hingga mencapai tekanan pengembunannya, sehingga pada saat *refrigerant* melalui kondensor terjadi pengembunan dan pelepasan kalor. Berikut merupakan gambar siklus kompresi uap.



Gambar 2.2: Skema sistem refrigerasi dengan siklus kompresi uap.

2.4 REFRIGERANT

Refrigerant adalah suatu fluida yang dapat menyerap kalor saat menguap pada temperatur dan tekanan rendah serta melepaskan kalor saat mengembun pada temperatur dan tekanan tinggi. Sebuah *refrigerant* harus dapat melakukan proses ini secara berulang-ulang tanpa mengalami perubahan pada karakteristiknya.

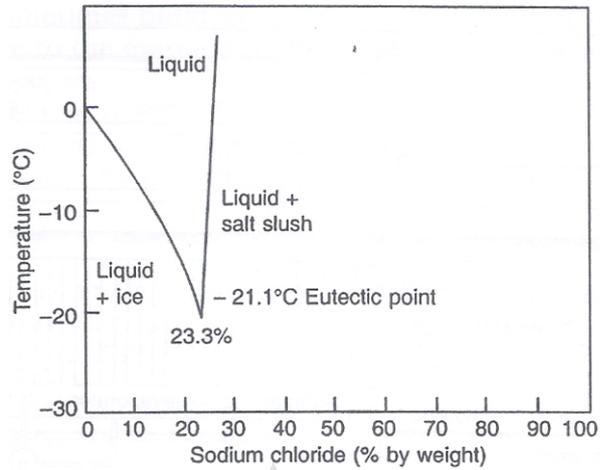
Saat ini yang sering dijadikan pertimbangan dalam memilih *refrigerant* untuk suatu sistem refrigerasi, amat dipengaruhi oleh permasalahan lingkungan seperti berlubangnya lapisan ozon dan pemanasan global. Pada umumnya *refrigerant* yang sering digunakan dipasaran adalah jenis R11, R12, R22, R502 dan ammonia (R717). Diantara *refrigerant-refrigerant* tersebut, yang termasuk kedalam *refrigerant* ramah lingkungan hanya ammonia. Namun demikian ammonia kurang cocok untuk digunakan pada refrigerasi komersial, hal ini karena sifat ammonia yang beracun dan mudah terbakar.

Karakteristik ideal sebuah *refrigerant* adalah sebagai berikut:

- Memiliki kalor jenis yang tinggi
- Saat di *suction* memiliki densitas yang tinggi
- Tidak korosif, tidak beracun dan tidak mudah terbakar
- Cocok dengan material dari komponen dan minyak pelumas
- Tekanan kerjanya yang masuk akal (tidak terlalu tinggi atau dibawah tekanan atmosfer)
- Mudah di deteksi jika mengalami kebocoran.
- Ramah lingkungan.

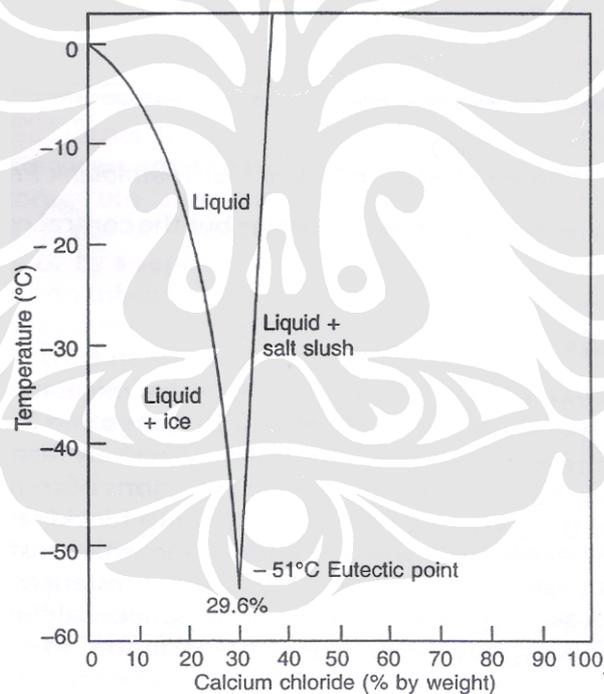
2.5 REFRIGERANT SEKUNDER

Refrigerant sekunder adalah fluida kerja yang berfungsi untuk mengambil kalor dari suatu tempat, dimana kalor tersebut akan diambil lagi oleh *refrigerant* utama. Salah satu contoh dari *refrigerant* sekunder adalah *brines* yang merupakan larutan garam inorganik dalam air. *Brines* akan digunakan saat temperatur kerja pada sistem refrigerasi dibawah 0 °C. Pada umumnya larutan garam yang sering digunakan sebagai *brines* adalah sodium klorida dan kalsium klorida. Gambar berikut merupakan kurva *eutectic* dari kedua larutan garam tersebut.



Gambar 2.3: Kurva *eutectic* sodium klorida dalam air

Sumber: Trot, A.R., & Welch, T. (3th ed.). (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*. Woburn: Butterworth-Heinemann

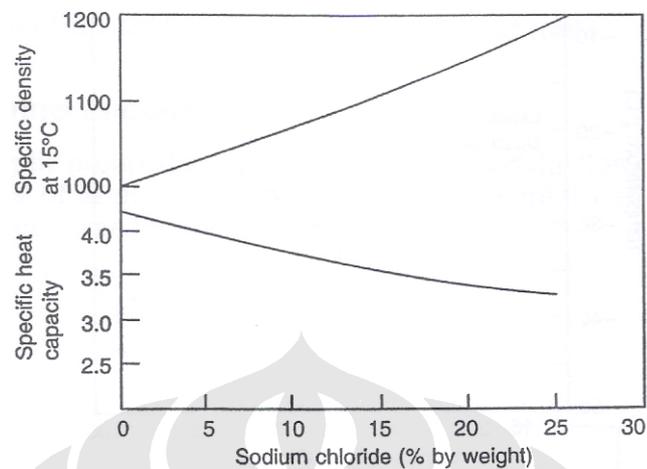


Gambar 2.4: Kurva *eutectic* kalsium klorida dalam air.

Sumber: Trot, A.R., & Welch, T. (3th ed.). (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*. Woburn: Butterworth-Heinemann

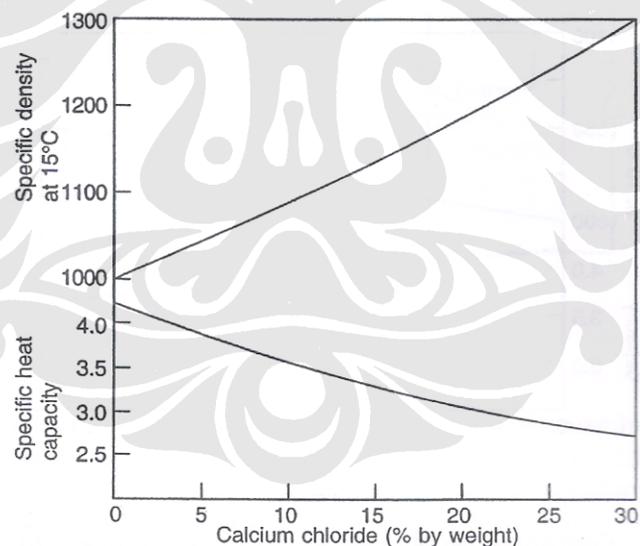
Dengan alasan ekonomi dan untuk mengurangi viskositas (sehingga meningkatkan perpindahan panas), kadar garam yang digunakan dalam larutan biasanya dibawah batas titik *eutectic*.

Berikut ini adalah kurva *specific density* dan *specific heat capacity* terhadap kadar garam dalam larutan.



Gambar 2.5: *Specific density* dan *specific heat capacity* sodium klorida

Sumber: Trot, A.R., & Welch, T. (3th ed.). (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*. Woburn: Butterworth-Heinemann



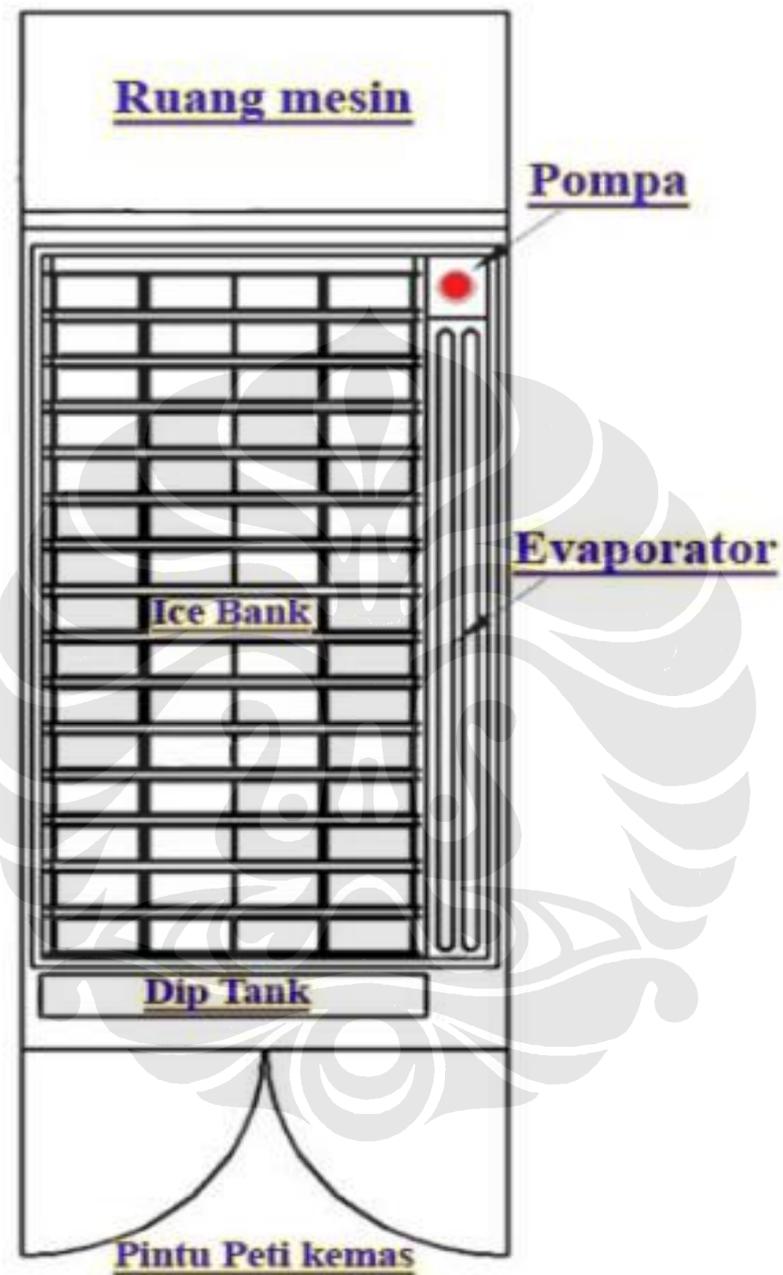
Gambar 2.6: *Specific density* dan *specific heat capacity* kalsium klorida.

Sumber: Trot, A.R., & Welch, T. (3th ed.). (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*. Woburn: Butterworth-Heinemann

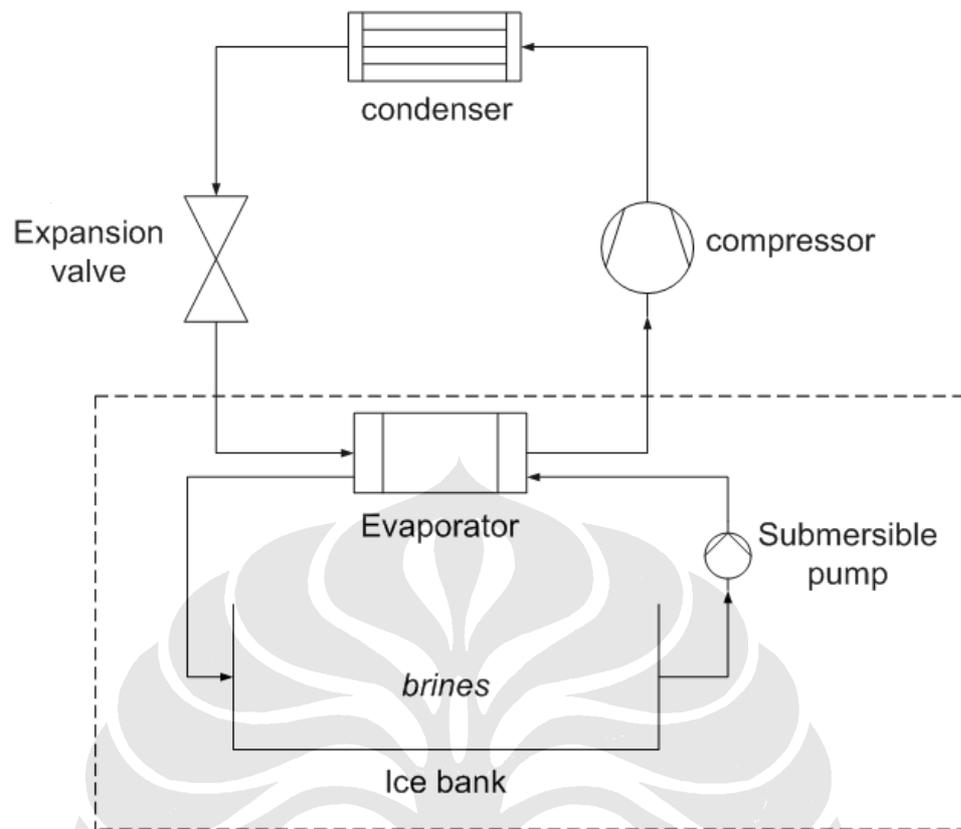
2.6 KOMPONEN-KOMPONEN MINI ICE PLANT

Agar *mini ice plant* ini dapat berfungsi dan menghasilkan es balok sesuai dengan yang diharapkan, diperlukan berbagai macam komponen. Hingga saat

kami selesai melakukan penelitian, masih ada beberapa komponen yang belum dilengkapi. Berikut ini adalah *layout* dari *mini ice plant*.



Gambar 2.7: *Layout mini ice plant*.



Gambar 2.8: Skema sistem refrigerasi dengan *brines*.

2.6.1 Petikemas (*Container*)

Petikemas yang digunakan sebagai *mini ice plant* ini adalah petikemas standard berukuran 20 ft dengan dimensi internal panjang 5.896 [mm], lebar 2.350 [mm] dan tinggi 2.385 [mm].



Gambar 2.9: Petikemas standard 20 ft.

Petikemas ini memiliki beberapa komponen, seperti:

- Ruang mesin
Bagian ruang mesin petikemas ini berisi komponen utama dari mesin pendingin seperti kompresor, kondensor dan katup ekspansi.
- Ruang produksi es
Ruang ini memiliki area yang lebih luas dari pada ruang mesin. Pada ruang produksi es terdapat beberapa komponen dari *mini ice plant*.
- *Insulasi*
Untuk mengurangi terjadinya perpindahan kalor dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah diperlukan adanya pembatas berupa insulasi. Pada bagian dinding-dinding petikemas dilapisi dengan insulasi berupa *polyurethane*. Dan untuk mengurangi perpindahan kalor dari ruang mesin ke ruang pendingin, maka dilapisi dengan *sandwich pannel* yang terdiri dari 3 lapisan, yaitu *carbon steel – polyurethane - carbon steel*.



Gambar 2.10: Insulasi pada dinding petikemas dan *ice bank*.

2.6.2 Pengaduk Air Garam (*Brines*)

Untuk mempercepat proses perpindahan kalor diperlukan alat yang dapat mensirkulasikan air garam (*brines*) seperti pompa atau pengaduk. Proses perpindahan kalor pada air garam secara konveksi dipengaruhi oleh kecepatan dari aliran *refrigeran*. Jika aliran terlalu cepat atau terlalu lambat, maka perpindahan kalor yang terjadi tidak akan maksimal.

2.6.3 *Ice Bank*

Ice bank adalah tempat dimana air yang sudah tuang kedalam cetakan es (*ice can*) akan membeku dan menjadi es balok. Pada *ice bank* terjadi perpindahan kalor dari air yang ada didalam cetakan es (*ice can*) ke air garam (*brine*) yang berfungsi sebagai *refrigerant* sekunder. *Ice bank* ini berukuran panjang 390 cm, lebar 216 cm, dan tinggi 55 cm.



Gambar 2.11: *Ice bank*

2.6.4 *Ice Can* (Cetakan Es)

Ice can (cetakan es) ini berfungsi sebagai wadah untuk mencetak es. Bentuk dari cetakan ini adalah limas segi 4 terpancung, hal ini bertujuan agar mempermudah proses pengambilan es dari dalam cetakan. Pada saat proses produksi es berlangsung, cetakan es yang diisi air untuk dibekukan menjadi es

dengan menggunakan media pendinging *brines* (air garam). Oleh karena itu, material dari cetakan harus memenuhi dua aspek, yaitu:

- Aspek konduktifitas thermal
Sebagai medium perantara antara brine dan air, material cetakan es harus memiliki konduktifitas thermal yang baik agar proses perpindahan kalor dapat terjadi secara cepat dan maksimal.
- Aspek ketahanan terhadap karat
Dengan bersentuhannya cetakan es (*ice can*) dengan *brines* (air garam), maka material cetakan es rentan terhadap karat. Oleh karena itu diperlukan material yang dapat tahan terhadap karat seperti *galvanized steel*.



Gambar 2.12: *ice can*

2.6.5 Rak Cetakan Es

Rak cetakan es ini berfungsi sebagai tempat dudukan cetakan es pada saat di letakan didalam *ice bank*. Setiap rak cetakan es dapat menampung 8 buah cetakan es. Pada saat proses panen es, es balok diangkat dari *ice bank* berikut dengan

cetakan es dan raknya. Dengan adanya rak ini, cetakan es dapat disusun dengan mudah dan teratur.



Gambar 2.13: Rak berserta cetakan es

2.6.6 Hoist

Hoist digunakan untuk mengangkat dan memindahkan es balok berikut dengan cetakan dan raknya pada saat proses panen. Rangkaian es balok ini di angkat dan dipindahkan dari *ice bank* menuju *dip tank* dan kemudian menuju *tilting*. Oleh karena itu *hoist* yang digunakan pada *mini ice plant* ini harus memiliki dua derajat kebebasan, yaitu mampu bergerak maju dan mundur sepanjang rel hoist. Selain itu juga harus dapat menaikkan atau menurunkan beban.



Gambar 2.14: *hoist*

Pada *mini ice plant* ini digunakan *hand chain hoist* berkapasitas 500 kg yang penggunaannya dilakukan secara manual. Pengangkatan cetakan es dari *ice bank* dilakukan dengan mengaitkan *hook* pada rak cetakan es.

2.6.7 Rel Hoist

Hoist yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan cetakan es (*ice can*) dipasang pada rel yang ada di dinding atas sepanjang petikemas. Rel ini dibuat terbuat dari baja profil L yang disatukan pada bagian sisinya hingga membentuk profil T. Rel dipasang pemegang rel yang juga terbuat dari baja profil L.



Gambar 2.15: Rel *hoist*

2.6.8 Water Reservoir

Pada saat proses panen es, es balok yang sudah jadi di keluarkan dari cetakan es. Setelah itu cetakan es diisi dengan air untuk proses produksi es balok selanjutnya. Pengisian cetakan es ini dapat dilakukan dengan adanya *water reservoir* yang berfungsi sebagai penampung air sebagai bahan dasar es balok.

2.6.9 Penutup Bak

Untuk mengurangi terjadinya perpindahan kalor dari udara kabin petikemas ke dalam *ice bank*, maka perlu adanya isolator panas yang dapat menutupi seluruh cetakan es dan evaporator yang ada didalam *ice bank*.

Material yang digunakan sebagai penutup bak ini tidak perlu terlalu kuat, namun harus merupakan jenis isolator panas yang baik, sehingga material yang

digunakan adalah kayu berupa papan yang diberikan *handle* pada bagian tengahnya agar mudah untuk diangkat.

2.6.10 *Dip Tank*

Diptank adalah tempat melakukan pemisahan antara es balok dengan *can*. Setelah air es sudah membeku sepenuhnya, maka satu rak *ice can* akan diangkat oleh *hoist* dan kemudian akan dipindahkan ke *dip tank*. Di dalam *dip tank* es direndam kembali dengan menggunakan air yang temperaturnya lebih tinggi, fungsinya agar permukaan es balok es balok yang menempel dengan permukaan cetakan es dapat mencair. Setelah es mulai mengambang barulah diangkat untuk dilakukan proses pengeluaran. Temperatur air dalam diptank tidak boleh lebih dari 21,1 °C untuk menghindari adanya tegangan pada es dan retakan.



Gambar 2.16: Dip tank

2.6.11 *Tilting*

Tilting adalah suatu alat yang digunakan sebagai tempat untuk mengeluarkan es balok dari cetakannya. Es balok yang berada dalam cetakan es yang tersusun pada rak diangkat dan dimasukkan kedalam *tilting*, selanjutnya dirobohkan agar es balok dapat keluar. Pada saat proses perobohan ini rantai dari *hoist* sebaiknya harus tetap terkait pada rak cetakan es agar ada yang menahan dan lebih mudah saat pengangkatan cetakan es.



Gambar 2.17: *Tilting*

2.6.12 Mesin Refrigerasi

Proses refrigerasi yang dilakukan pada *mini ice plant* ini rencananya akan menggunakan siklus kompresi uap. Sebagian besar dari komponen mesin refrigerasi berada pada bagian ruang mesin dari petikemas. Berikut ini beberapa komponen utama pada mesini refrigerasi dengan siklus kompresi uap:

- **Kompresor**
Kompresor pada mesin refrigerasi berfungsi untuk menaikkan tekanan *refrigerant* dan juga untuk mengalirkan *refrigerant* didalam sistem agar dapat terus bersirkulasi.
- **Condenser**
Condenser merupakan alat pengembun *refrigerant* yang keluar dari kompresor. Pada kondensor inilah terjadi efek pemanasan, dimana kalor yang dibawa oleh *refrigerant* dilepaskan ke lingkungan.
- **Katup ekspansi**
Katup ekspansi berfungsi untuk mengatur aliran *refrigerant* dari sisi kondensor yang memiliki tekanan tinggi menuju sisi evaporator yang bertekanan rendah.

- Evaporator

Pada evaporator, *refirigerant* berada pada tekanan rendah hingga mencapai tekanan penguapannya. Pada saat inilah terjadi efek pendinginan dimana kalor diambil dari lingkungan, untuk kemudian dibawa oleh *refrigerant* dan dilepaskan di kondensor.

