



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN DAN ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR
TERHADAP WAKTU SOLIDIFIKASI PADA ICE CAN UNTUK
PENGEMBANGAN MINI ICE PLANT**

SKRIPSI

**DHANA D
0606073064**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN DAN ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR
TERHADAP WAKTU SOLIDIFIKASI PADA ICE CAN UNTUK
PENGEMBANGAN MINI ICE PLANT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**DHANA D
0606073064**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya,

Nama : **Dhana D**
NPM : **0606073064**
Tanda Tangan : 
Tanggal : **9 Juli 2010**
Judul Skripsi : **Pengukuran dan distribusi temperatur terhadap waktu solidifikasi pada *ice can* untuk pengembangan mini ice plant**

Bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan saudara Deddy Rizky Sahar (0606073051) dengan judul :

Simulasi Pengaruh Aliran Brine Terhadap Laju Pembekuan Air Pada *Mini Ice Plant*

Sehingga harap maklum apabila beberapa bagian dari tulisan dalam buku ini ada kesamaannya dalam skripsi tersebut.

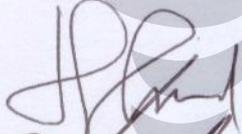
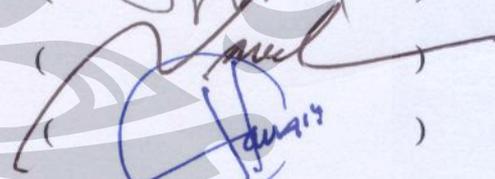
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Dhana D
NPM : 0606073064
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengukuran dan distribusi temperatur terhadap waktu solidifikasi pada *ice can* untuk pengembangan mini ice plant

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir. M. Idrus Alhamid ()
Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng ()
Penguji : Dipl. Ing. Taufik, M.M ()

Ditetapkan di :
Tanggal :

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dhana D
NPM : 0606073064
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGUKURAN DAN ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR TERHADAP WAKTU
SOLIDIFIKASI PADA ICE CAN UNTUK PENGEMBANGAN MINI ICE PLANT

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal :

Yang menyatakan



(Dhana D)

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang maha besar, atas berkah rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas akhir yang menjadi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik di FTUI. Disini saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada kedua dosen pembimbing saya dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu kepada Dr. Ir. M. Idrus Alhamid dan Dr-Ing Nasruddin M.Eng. Serta saya turut berterimakasih kepada pihak-pihak yang membantu saya pada masa perkuliahan hingga pada saat pengerjaan tugas akhir ini yakni :

1. Rekan-rekan skripsi *mini ice plant*
2. Rekan hati
3. Para karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI Depok
4. Teman-teman Teknik Mesin 2006
5. Semua pihak yang telah membantu penulis yang mungkin belum dapat disebutkan satu-persatu.

Saya berharap semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kepada pihak yang telah membantu saya, dan semoga tulisan ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Akhir kata, khusus saya persembahkan tulisan ini sebagai rasa sayang saya kepada keluarga, kedua orang tua, kakak-kakak, serta keponakan saya.

Depok, Juli 2010

Dhana D

ABSTRAK

Nama : DHANA D
Program Studi : TEKNIK MESIN
Judul : PENGUKURAN DAN ANALISIS DISTRIBUSI
TEMPERATUR TERHADAP WAKTU SOLIDIFIKASI
PADA ICE CAN UNTUK PENGEMBANGAN MINI ICE
PLANT

Nelayan mempunyai peranan penting dalam menjaga kualitas produk perikanan di Indonesia. Dalam menjaga kesegaran hasil tangkapannya, salah satu cara mereka adalah menggunakan media pendingin seperti es. Akan tetapi, ketersediaan es balok sering menjadi kendala bagi para nelayan, terutama yang berada di daerah terpencil. Sulitnya akses ke daerah terpencil ini menjadi suatu penyebab kurangnya kualitas ikan para nelayan di Indonesia.

Oleh karena alasan tersebut maka dirancanglah suatu pabrik es mini yang dapat menjangkau hingga ke daerah terpencil. Pabrik es mini ini menggunakan petikemas 20 ft, dan didalamnya terdapat cetakan-cetakan es yang berfungsi meletakkan air kedalamnya untuk dijadikan es balok.

Untuk melanjutkan pengembangan pabrik es mini ini, maka tujuan penelitian ini adalah melakukan pengukuran dan analisis terhadap distribusi temperatur yang terjadi didalam cetakan es. Dengan mengetahui distribusi temperatur tersebut, diharapkan dapat memberi kontribusi untuk pengembangan pabrik es mini dan memberi pengaruh yang baik pada kepada kualitas ikan di negara kita.

Kata kunci:
Pengukuran, es, temperatur

ABSTRACT

Name : DHANA D
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING
Title : MEASUREMENT AND ANALYSIS OF TIME AND TEMPERATURE DISTRIBUTION IN ICE CAN FOR MINI ICE PLANT DEVELOPMENT

Fishermen have important role in maintain the quality of our fishery product. There is one method to maintain the freshness of their haul; it is by using cooler medium like ice block. However availability of ice blocks often become a problem for fishermen, especially fishermen in the remote area, accesibility to this area become a constraint that makes ice block's supply can't fulfill fishermen needs.

For that reason, a mini ice plant that can reach remote area was designed. The mini ice plant is using a 20 ft container; in this container there is a number of ice can which used for place of fresh water become ice blocks.

To continue the development of mini ice plant , the purpose this reaserch is doing measurement and analysis to time and temperature distribution in ice can.. Hopefully it can give contribution to the development of mini ice plant and good influence for our country's fish product.

Keyword:
Measurement, ice, temperature,

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Energi yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur dan fase air	7
Gambar 2.2. Siklus refrigerasi modulasi	11
Gambar 2.3 .Refrigerasi kompresi uap	12
Gambar 2.4. Skema sistem refrigerasi dengan brines sebagai refrigerant sekunder.....	14
Gambar 2.5. Evaporator.....	15
Gambar 2.6. Kompresor Tecumseh 2,5 pk dan 1,5 pk.....	16
Gambar 2.7. Kondenser air cooled.....	16
Gambar 2.8. TX-valves	17
Gambar 2.9. Liquid receiver.....	18
Gambar 2.10. Filter dryer	18
Gambar 2.11. Oil separator	19
Gambar 2.12. Distributor refrigeran	20
Gambar 2.13. Sight glass	21
Gambar 2.14. Check valves	21
Gambar 2.15. Kurva pendinginan dan solidifikasi	22
Gambar 3.1. Ice Bank.....	24
Gambar 3.2. Cetakan es	24
Gambar 3.3. Hoist dan dip tank.....	25
Gambar 3.4. Layout mini ice plant.....	25
Gambar 3.5. Ruang mesin.....	26
Gambar 3.6. Ruang produksi es dan insulasi polyurethane pada dindingnya....	27
Gambar 3.7. Petikemas / kontainer.....	28
Gambar 3.8. Termometer digital.....	29
Gambar 3.9. Kalibrasi termometer.....	29
Gambar 3.10. Pemasangan alat ukur yang digunakan	30
Gambar 3.11. Beberapa titik yang telah ditentukan untuk pengukuran.....	31
Gambar 4.1. Hasil simulasi fluent mengenai perbedaan kecepatan aliran.....	40
Gambar 4.2. Proses tahapan terbentuknya es hingga 32 jam	41
Gambar 4.3. Cetakan es 1 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi.....	42

Gambar 4.4. Cetakan es 2 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi.....	42
Gambar 4.5. Cetakan es 3 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi.....	42
Gambar 4.6. Cetakan es 4 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi.....	43
Gambar 4.7. Cetakan es 5 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi.....	43
Gambar 4.8. Cetakan es 6 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data temperatur dan waktu pada dasar <i>ice can</i>	32
Tabel 2. Data temperatur dan waktu pada permukaan <i>ice can</i>	33

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1. Pertumbuhan produksi penangkapan ikan di Indonesia pada tahun 2004-2007.....	2
Grafik 4.1. Perubahan temperatur terhadap waktu pada dasar <i>ice can</i> 1 dan 4...34	
Grafik 4.2. Perubahan temperatur terhadap waktu pada dasar <i>ice can</i> 2 dan 5...34	
Grafik 4.3. Perubahan temperatur terhadap waktu pada dasar <i>ice can</i> 3 dan 6...35	
Grafik 4.4. Perubahan temperatur terhadap waktu pada permukaan <i>ice can</i> 1 dan 4.....	36
Grafik 4.5. Perubahan temperatur terhadap waktu pada permukaan <i>ice can</i> 2 dan 5.....	36
Grafik 4.6. Perubahan temperatur terhadap waktu pada permukaan <i>ice can</i> 3 dan 6.....	37
Grafik 4.7. Perbedaan konduktifitas termal dari es terhadap posisi air dalam cetakan es.....	38
Grafik 4.8. Perubahan nilai Q konduksi terhadap penambahan ketebalan es pada dinding <i>ice can</i>	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

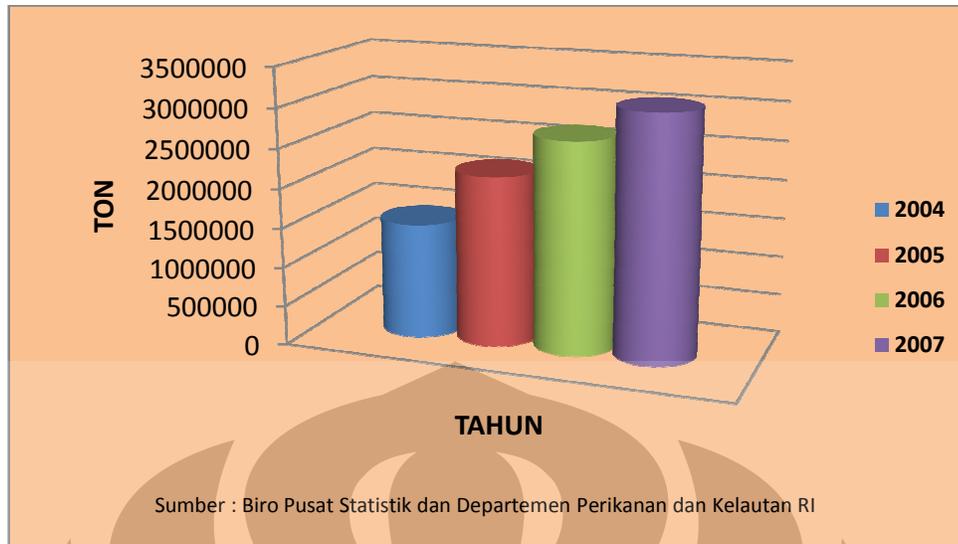
Es balok merupakan salah satu bekal utama untuk melaut, selain bahan bakar solar. Tanpa es, nelayan tidak bisa mengawetkan hasil tangkapan ikan. Ketersediaan es balok untuk memenuhi kebutuhan perbekalan nelayan di banyak daerah di wilayah perairan Indonesia masih sangat kurang. Para nelayan terpaksa mengantre atau memesan selama beberapa hari untuk mendapatkannya. Akibatnya, jadwal melaut mereka terhambat, sehingga nelayan kehilangan waktu bekerja selama beberapa hari.

Dampak yang paling berpengaruh karena kurangnya pasokan es balok untuk para nelayan di Indonesia, yakni mutu ikan yang dipasarkan semakin kurang baik. Jumlah produksi es nasional yang tidak sebanding dengan jumlah hasil tangkapan ikan dikarenakan kurangnya jumlah industri atau pabrik penghasil es, khususnya di daerah-daerah terpencil dalam negeri. Akibat tersebut membuat para pedagang ikan mencari pengawet alternatif tanpa memperhatikan efek samping konsumennya. Ikan yang di konsumsi oleh masyarakat menjadi tidak layak makan karena pengawetan ikan tersebut menggunakan zat-zat kimia pengawet yang berbahaya.

Minimnya pabrik es di daerah terpencil disebabkan oleh beberapa faktor :

- Sarana transportasi ke daerah terpencil yang kurang memadai sehingga menyulitkan distribusi pengadaan peralatan pabrik es.
- Kurangnya tenaga ahli maupun buruh bangunan yang pandai untuk membangun dan memelihara sebuah pabrik es. Sehingga biayanya akan sangat mahal sekali jika mendatangkan tenaga ahli secara khusus.
- Kebutuhan biaya yang besar akan tenaga listrik untuk mengoperasikan suatu pabrik es.
- Pasokan listrik di beberapa daerah terpencil tidak memadai untuk membuat suatu pabrik es.

Potensi produk perikanan di Indonesia mencapai 65 juta ton per hari. Dari jumlah keseluruhan tersebut hingga 9 juta ton. Namun, potensi tersebut sebagian besar berada di budidaya perikanan yang mencapai 57,7 juta ton per tahun dan baru dimanfaatkan 2,08%. Sedangkan potensi perikanan tangkap hanya sebesar 7,3 juta ton pertahun dan telah dimanfaatkan sebesar 65,75% ^[1].



Grafik 1.1. Pertumbuhan produksi penangkapan ikan di Indonesia pada tahun 2004-2007 ^[1]

Salah satu metode untuk menjaga kesegaran ikan hasil tangkapan para nelayan adalah menggunakan pendingin berupa es balok. Produksi es nasional yang berjumlah 2,9 juta ton per tahun, hanya digunakan sebanyak 30% untuk pengawetan ikan. Oleh karena itu diperlukan suatu pabrik es yang dapat mengakses ke berbagai daerah terpencil dengan biaya instalasi yang relatif murah dan kapasitas yang relatif besar. ^[2]

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah pengukuran distribusi temperatur dan waktu yang dibutuhkan dalam proses membekunya air sebagai objek yang akan diproduksi pada *mini ice plant* di FTUI.

1.3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

- **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui titik mana yang mengalami solidifikasi lebih lambat untuk dapat di optimasi lebih lanjut, hasil pengukuran tersebut juga akan dibandingkan dengan hasil simulasi fluent.

- **Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah mengetahui perkembangan penelitian pabrik es mini yang dilakukan oleh UI, khususnya pada pengukuran distribusi temperatur air pada cetakan es.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan, yakni:

- Penelitian dilakukan dalam petikemas yang merupakan pengembangan skripsi sebelumnya yang membahas tentang *mini ice plant*
- Penelitian dilakukan dengan kondisi temperatur *brine* konstan -1°C .
- Penelitian dibatasi hingga waktu 32 jam
- Penelitian sebatas pada pengamatan dengan cara pengukuran temperatur, waktu, dan hasil pengamatan visual berupa foto. Pengamatan dilihat pada beberapa titik yang telah ditentukan untuk mengetahui aliran *brine* agar distribusi temperturnya dapat diketahui.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

1.5.1 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah mengenai pengukuran distribusi temperatur pada cetakan es yang selanjutnya dibandingkan dengan distribusi aliran *brine* pada simulasi fluent.

1.5.2 Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara :

- Studi Lapangan
Dengan meletakkan komponen-komponen pendingin pada kontainer yang ada di FTUI Depok, lalu menjalankan alat tersebut hingga pada suatu saat seluruh air yang menjadi objek penelitian berubah fase menjadi es.
- Studi Literatur
- Yakni dengan mengacu pada beberapa referensi tentang standar-standar pembuatan es.

- Berbagai referensi dari perancangan-perancangan sebelumnya untuk proyek *mini ice plant*.

1.5.3 Analisis data

Pengolahan data dilakukan melalui penentuan temperatur air dalam cetakan es dengan temperatur *brine* yang konstan di beberapa titik cetakan serta ketinggian yang sebelumnya telah ditentukan.

Analisis data diperoleh setelah melihat karakteristik dari objek pengukuran dan pengamatan secara visual.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini terdiri dari 5 bagian pokok, yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batas-batas penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori atau hal-hal yang menjadi pendukung dari penelitian, seperti perpindahan kalor, penjelasan mengenai sistem refrigerasi, *refrigerant*, pendingin sekunder, serta proses solidifikasi

- **BAB III PENGUKURAN *MINI ICE PLANT***

Bab ini berisi tentang alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran, dan juga metode pengukuran yang digunakan.

- **BAB IV DATA PENGUKURAN DAN ANALISIS**

Bab ini berisi data serta grafik hasil pengukuran temperatur dan analisis hasil serta perbandingan pengamatan visual yang dibandingkan dengan hasil simulasi fluent.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. TEORI DASAR PERPINDAHAN KALOR

Bila dalam suatu sistem terdapat gradien suhu atau bila dua sistem yang temperaturnya berbeda disinggungkan, maka akan terjadi perpindahan energi. Proses dimana transport energi itu berlangsung disebut sebagai perpindahan kalor. Perpindahan energi dalam bentuk kalor adalah selalu dari medium bertemperatur tinggi ke medium bertemperatur rendah dan perpindahan kalor tersebut akan berhenti ketika kedua medium telah mencapai temperatur yang sama (setimbang).

Dalam konteks ini, kalor dapat dipindahkan dalam dua jenis cara yang berbeda yaitu: konduksi dan konveksi.

2.1.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi melalui pergolakan 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.

2.1.2 Konveksi

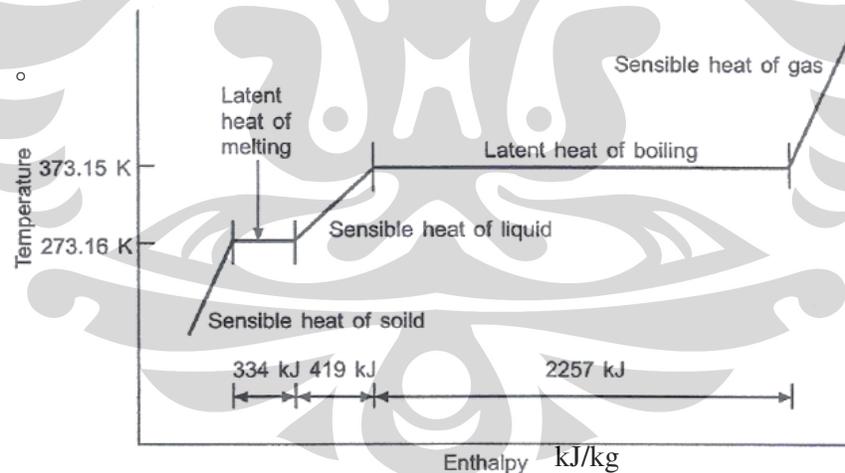
Konveksi adalah perpindahan kalor melalui gerakan massa dari fluida seperti air atau udara, ketika fluida yang dipanaskan bergerak menjauhi sumber panas dan menuju daerah dengan temperatur lebih rendah dengan membawa energi. Contoh dari peristiwa konveksi adalah ketika proses memasak air, dimana air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

2.2. KALOR

Refrigerasi adalah proses pemindahan kalor. Panas merupakan suatu bentuk energi. Ini merupakan fakta yang tidak dapat diingkari bahwa panas dapat diubah menjadi suatu bentuk energi lainnya demikian juga sebaliknya, bentuk energi lainnya dapat pula diubah menjadi energi panas. Secara prinsip termodinamika, panas dinyatakan sebagai energi yang berpindah dari satu zat ke zat lainnya sebagai akibat dari adanya perbedaan suhu antara kedua zat tersebut. Pada energi lainnya, perpindahan energi dapat berlangsung karena adanya suatu usaha yang dilakukan pada benda.

Dalam refrijerasi dan tata udara, kita berhubungan secara langsung dengan energi panas berikut perhitungan penambahan dan pengurangan energi panas. Jika sebuah zat diberikan atau pun melepaskan kalor, maka ada dua hal yang mungkin terjadi, yakni zat tersebut akan mengalami perubahan temperatur atau hal lain yang mungkin terjadi adalah zat tersebut akan mengalami perubahan wujud (fase). Apabila kalor tersebut hanya digunakan untuk perubahan temperatur saja, maka kalor tersebut biasa dikenal dengan kalor sensibel (*sensible heat*), sedangkan jika kalor tersebut digunakan untuk merubah wujud (fase) zat, maka kalor itu biasa disebut dengan kalor laten (*latent heat*).



Gambar 2.1. Energi yang dibutuhkan untuk mengubah temperatur dan fase air

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

2.1.1. Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Kalor sensibel adalah kalor yang digunakan oleh suatu zat untuk merubah temperatur zat tersebut. Jika zat menerima kalor, maka temperaturnya akan naik, sedangkan jika zat tersebut melepaskan kalor, maka zat tersebut mengalami

penurunan temperatur. Kalor sensibel ini tidak sampai menyebabkan zat mengalami perubahan fase. Secara umum kalor sensibel yang digunakan untuk merubah temperatur suatu zat dirumuskan dengan:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana: Q = Besarnya energi kalor sensibel yang bekerja pada suatu zat (J)
 m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)
 C_p = Kalor jenis (J/kg.K)
 ΔT = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

2.1.2. Kalor Laten (*Latent Heat*)

Kalor laten adalah kalor yang digunakan untuk merubah wujud atau fase suatu zat. Perubahan fase terjadi apabila suatu zat sudah mencapai titik jenuhnya. Pada saat zat mengalami perubahan fase, zat tersebut tidak mengalami perubahan temperatur.

Ada dua jenis kalor laten pada suatu zat, yakni kalor laten yang digunakan untuk meleburkan atau membekukan suatu zat, atau biasa dikenal dengan kalor lebur atau pun kalor beku, dan kalor laten yang digunakan untuk menguapkan atau mengembunkan suatu zat, atau biasa dikenal dengan kalor uap atau kalor embun. Biasanya energi yang digunakan untuk merubah fase suatu zat lebih besar daripada energi yang digunakan untuk merubah temperaturnya. Sehingga, pada tekanan yang sama, lebih sulit untuk merubah fase suatu zat daripada merubah temperaturnya.

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

$$Q = m \cdot h_l$$

Dimana : Q = Besarnya energi kalor laten yang bekerja pada suatu zat (J)
 m = Massa zat yang mengalami perubahan temperatur (kg)
 h_l = Kalor laten (kJ/kg)

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

$$Q = q \cdot \Delta t$$

Dimana: Q = Besarnya kalor laten yang bekerja pada suatu zat (J)
 q = Laju perpindahan kalor (Watt)

Δt = Waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan energi kalor (s)

2.3. PROSES REFRIGERASI

Proses refrigerasi adalah sebuah proses pemindahan kalor/panas dari suatu medium ke medium yang lain. Proses ini terjadi antara media penyerap/pelepas kalor dengan media lain. Media penyerap/pelepas kalor itu berupa refrigeran dan media lainnya dapat berupa udara dan air. Selama proses terjadi, refrigeran mengalami perubahan fase, yaitu dari fase cair ke uap (proses evaporasi) dan dari fase uap menjadi fase cair kembali (proses kondensasi).

Proses refrigerasi yang terjadi merupakan proses siklus refrigeran secara tertutup, dimana perubahan-perubahan fase refrigeran terjadi dalam satu rangkaian. Pada proses pertama, refrigeran berfase uap dikompresi dikompresor. Hal ini akan menaikkan temperatur dan tekanan dari refrigeran tersebut. Setelah itu, refrigeran bergerak ke kondenser dan terjadi proses kondensasi. Pada proses ini, refrigeran melepas sejumlah kalor ke lingkungan sehingga temperaturnya menjadi lebih hangat (efek pemanasan). Hal itu merubah fase refrigeran dari fase uap menjadi fase cair.

Refrigeran dialirkan ke katup ekspansi sebelum ke evaporator. Hal ini dimaksudkan untuk menurunkan tekanan dari refrigeran. Pada evaporator terjadi proses evaporasi, dimana refrigeran menyerap kalor yang diambil dari lingkungan sehingga temperatur lingkungan menjadi lebih dingin.

Kedua proses perubahan fase (kondensasi dan evaporasi) terjadi pada tekanan dan temperatur tertentu. Proses evaporasi terjadi pada tekanan rendah, yang mengakibatkan titik uap dari cairan refrigeran turun jauh di bawah temperatur lingkungan sehingga penguapan refrigeran dapat terjadi. Sedangkan proses kondensasi terjadi pada tekanan yang tinggi, yang mengakibatkan titik embun dari uap refrigeran naik melebihi suhu lingkungan sehingga kondensasi uap refrigeran dapat terjadi.

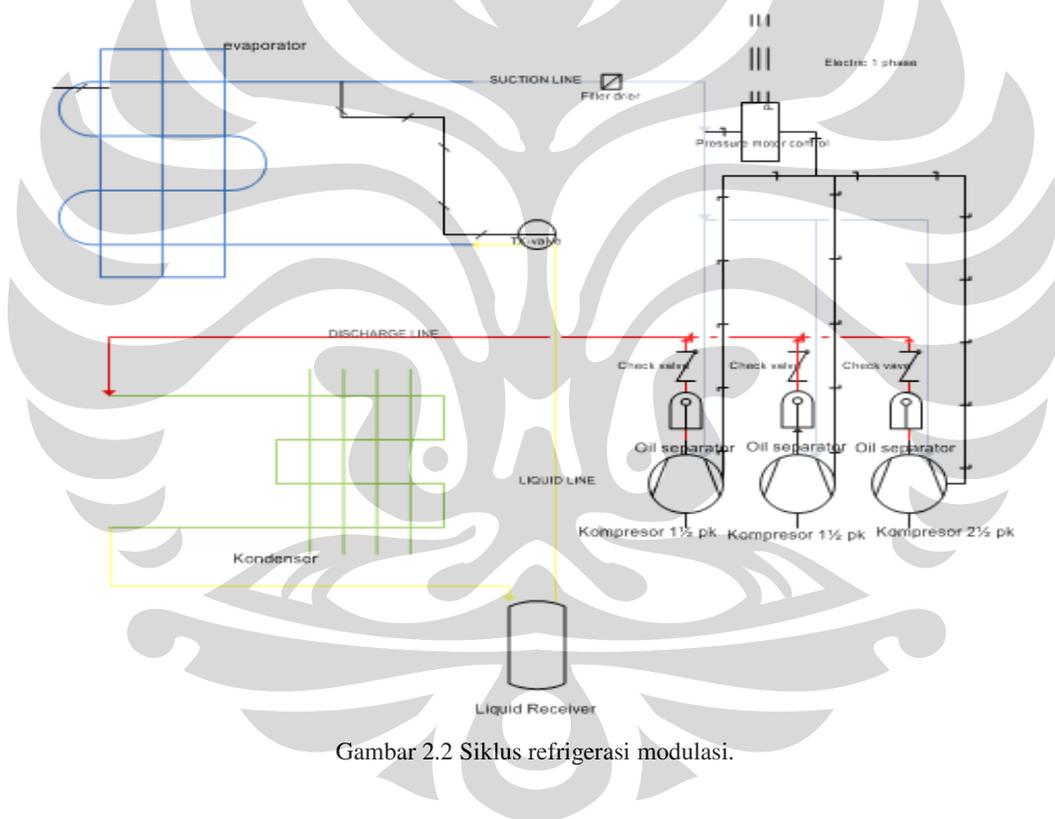
2.4. SIKLUS MODULASI REFRIGERASI

Kebanyakan instalasi refrigerasi memiliki cukup kapasitas pendinginan atau refrigerasi untuk menjaga temperatur yang diinginkan dibawah beban terberat. Temperatur ini dijaga dengan kontrol motor. Kontrol akan memulai motor kompresor ketika pendinginan (pelepasan kalor) diperlukan.

Bagaimanapun, jika beban kalor ringan, sistem tunggal mungkin kapasitasnya terlalu berlebihan untuk kerja tersebut. Biaya operasi lebih mahal apabila kapasitas mesin cocok dengan kebutuhan sistem. Sistem cenderung terlalu cepat dingin dan menyalakan dan mematikan terlalu cepat.

Sistem modulasi (kapasitas bervariasi) telah dikembangkan untuk menyesuaikan kapasitas mesin mendekati beban kalor yang diinginkan. Kadang-kadang, menggunakan dua atau lebih kompresor dihubungkan secara paralel. Masing-masing kompresor dioperasikan dengan kontrol motor.

Jika beban kalor naik dan temperatur mulai tinggi, satu kompresor akan tetap bekerja. Bagaimanapun, jika temperatur tetap naik, kompresor kedua akan memulai bekerja. Penambahan kompresor akan menghubungkan sampai kapasitas cukup untuk sistem.



Gambar 2.2 Siklus refrigerasi modulasi.

2.5. SISTEM KOMPRESI GAS

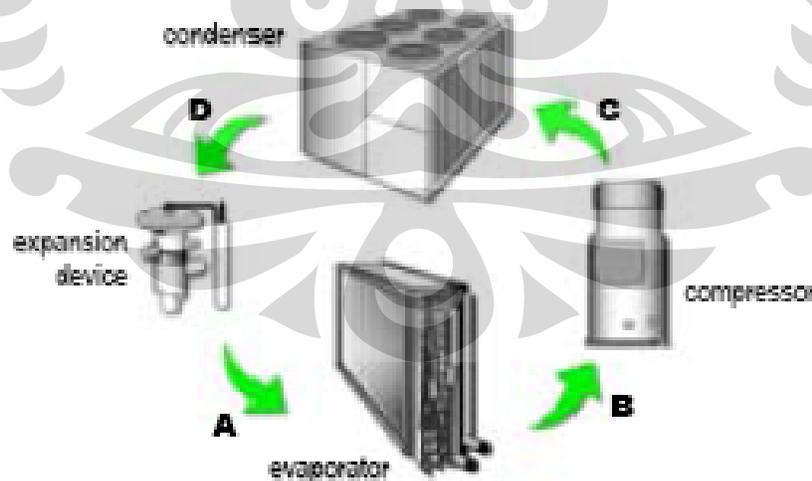
Sistem kompresi gas merupakan mesin refrigerasi yang berisi fluida penukar kalor (refrigeran) yang bersirkulasi terus menerus. Selama bersirkulasi di dalam unitnya maka refrigeran tersebut akan selalu mengalami perubahan wujud dari gas ke *liquid* dan kembali ke gas. Proses tersebut berlangsung pada suhu dan tekanan yang berbeda, yaitu tekanan tinggi dan pada tekanan rendah. Tekanan tinggi diperoleh karena adanya efek kompresi, yang

dikerjakan oleh kompresor. Oleh karena itu sistem refrigerasi ini lazim disebut sebagai sistem kompresi gas.

Siklus refrigerasi kompresi gas memiliki dua keuntungan. Pertama, sejumlah besar energi panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap, dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang disejukkan. Kedua, sifat-sifat isothermal penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu berapapun didinginkan. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya.

Gambar dibawah ini memperlihatkan diagram alir suatu sistem kompresi gas sederhana. Sesuai dengan proses yang terjadi di dalam siklus refrigeran maka sistem refrigerasi kompresi gas mempunyai 4 komponen utama yang saling berinteraksi satu sama lain, yaitu :

- Evaporator untuk proses evaporasi *liquid refrigerant*.
- Kompresor untuk meningkatkan tekanan gas refrigeran.
- Kondenser untuk proses kondensasi gas refrigeran.
- Katup ekspansi untuk menurunkan tekanan *liquid refrigerant* yang akan di masuk ke evaporator.



Gambar 2.3. Refrigerasi kompresi uap
Sumber : *Refrigerant piping* TR-TRC006-EN TRANE, hal 2

Refrigeran masuk ke evaporator dengan bentuk campuran *liquid* dan uap bertekanan rendah, dingin (A). Kalor ditransfer menuju refrigeran dari udara relatif hangat yang didinginkan, menyebabkan refrigeran *liquid* mendidih. Hasil dari uap refrigeran (B) ditekan dari evaporator dengan kompresor, menaikkan tekanan dan temperatur uap.

Hasil dari uap refrigeran tekanan tinggi (C), panas masuk kondenser dimana panas ditransfer ke udara sekitarnya, dimana mempunyai temperatur lebih rendah daripada refrigeran. Didalam kondenser, uap refrigeran berkondensasi menjadi *liquid* dan *sub-cooling*.

Refrigeran *liquid* ini (D) mengalir dari kondenser menuju katup ekspansi. Alat ini menciptakan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang mengurangi tekanan refrigeran menuju evaporator. Pada tekanan rendah, jumlah sedikit refrigeran mendidih (*flash*), mendinginkan refrigeran *liquid* menjadi temperatur evaporator yang diinginkan. Campuran dingin dari refrigeran *liquid* dan uap (A) masuk evaporator menuju ke siklus yang berulang.

2.6. REFRIGERAN

Refrigerant adalah suatu fluida yang dapat berubah fase dari cair, campuran, hingga ke gas dan berguna untuk memindahkan kalor dari suatu sistem ke lingkungan.

- **Refrigerant Primer**

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).

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. *Mini ice plant* ini menggunakan R22 sebagai refrigerant yang bekerja pada siklus pendinginannya.

- **Refrigerant Sekunder**

Refrigerant sekunder atau *secondary coolant* 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

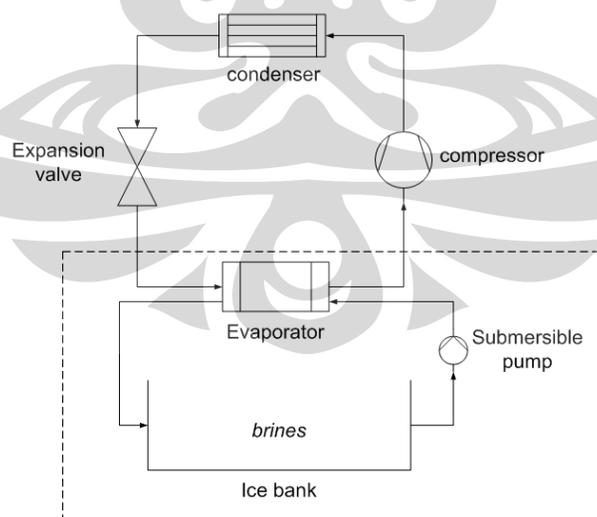
refrigerasi dibawah 0 °C. Pada umumnya larutan garam yang sering digunakan sebagai *brines* adalah sodium klorida dan kalsium klorida.

Pada perancangan sebelumnya penggunaan refrigeran dipilih berdasarkan syarat-syarat sebagai berikut ini :

- 1) Refrigerant yang digunakan harus mempunyai titik beku dibawah temperatur yang lebih dari *secondary coolant*.
- 2) Refrigerant harus mempunyai efek refrigerasi yang baik ketika menyerap kalor dari lingkungan.
- 3) Refrigerant yang digunakan tidak beracun dan aman bagi makhluk hidup jika terjadi kebocoran.
- 4) Harga refrigeran sebaiknya relatif murah dan mudah didapat mengingat *Mini ice plant* ini akan digunakan untuk didaerah-daerah terpencil.

Refrigeran yang dipilih untuk digunakan dalam *mini ice plant* ini adalah R22. Selain dari faktor-faktor diatas, hal ini dikarenakan R22 juga memenuhi persyaratan teknis seperti:

- Memiliki efek refrigerasi yang cukup besar
- Harganya lebih murah dari refrigeran lainnya yang memiliki efek refrigerasi yang cukup tinggi. Sehingga biaya produksi dapat lebih ditekan.
- R22 telah banyak digunakan dan hampir semua produsen kompresor memproduksi untuk R22.



Gambar 2.4. Skema sistem refrigerasi dengan *brines* sebagai refrigerant sekunder

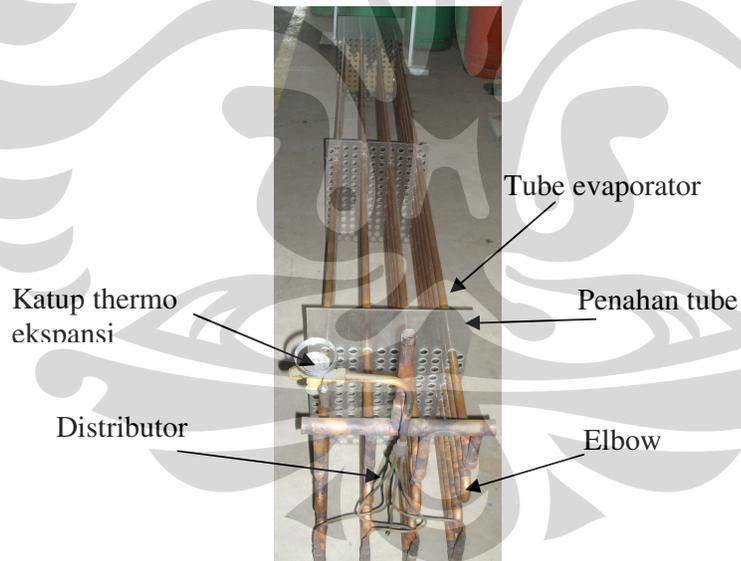
Dimana fluida refrigeran sekunder disirkulasikan dan temperatur kerja dibawah 0°C, maka digunakan fluida campuran yang tidak dapat membeku.

Fluida ini disebut *brine*. *Brine* adalah larutan garam dalam air. Terdapat dua jenis yang umum digunakan yaitu *sodium chloride* dan *calcium chloride*. *Sodium chloride* (NaCl) dapat digunakan untuk industri yang kontak langsung dengan makanan. Sedangkan *calcium chloride* memiliki rasa yang tidak menyenangkan, dan tidak diizinkan untuk berkontaminasi dengan makanan. Dalam *mini ice plant* ini digunakan fraksi 20% garam terhadap air agar refrigeran sekunder.

2.7. KOMPONEN UTAMA

2.7.1. Evaporator

Evaporator berfungsi sebagai alat penukar kalor yang menyerap panas dari benda dan di masukkan ke dalam sistem, kemudian evaporator menguapkan bahan pendingin untuk melawan panas dan mendinginkannya. Sesuai fungsinya evaporator adalah alat untuk menyerap kalor dari benda yang dimasukkan ke kulkas, evaporator di buat dari bahan logam anti karat, yaitu tembaga dan alumunium.



Gambar 2.5 Evaporator

2.7.2. Kompresor

Dalam proses refrigerasi, kompresor berperan seperti jantung dalam tubuh manusia. Fungsinya adalah selain meningkatkan tekanan uap refrigerant, juga berfungsi untuk mengalirkan refrigerant agar dapat terus bersirkulasi.



Gambar 2.6 Kompresor Tecumseh 2,5 pk dan 1,5 pk
Sumber dari www.tecumseh.com

2.7.3. Kondenser

Kondenser berguna untuk membuang kalor dan mengubah wujud bahan pendingin dari gas menjadi cair, dan juga suatu alat untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan temperatur tinggi dan tekanan tinggi. Unit tersebut memakai udara yang mendinginkan kondenser dengan memakai *fan* motor yang dapat meniupkan udara ke arah kondensator dalam jumlah yang lebih besar, sehingga kapasitas kondensator bertambah, bentuk ini disebut *Air Cooled Condenser*, serta dengan memakai sistem pipa dan sistem sirip – sirip (*tube and fin condenser*) sebagai pendingin dengan luas permukaan untuk terjadinya perpindahan kalor yang baik.



Gambar 2.7 Kondenser *air cooled*

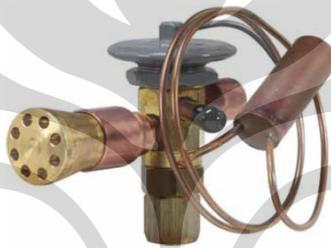
2.8 KOMPONEN AKSESORIS

2.8.1. Katup ekspansi

Katup ekspansi pada sistem refrigerasi biasanya mempunyai dua tujuan. Pertama adalah fungsi termodinamika, memperluas refrigeran *liquid* dari tekanan kondenser menuju tekanan evaporator. Fungsi yang lain adalah fungsi kontrol, dimana dapat meningkatkan penerimaan *liquid* menuju evaporator pada tingkat dimana itu terevaporasi. Yang terakhir

mempunyai kaidah lebih penting dan menentukan efisiensi dimana permukaan evaporator digunakan.

Pada dasarnya katup ekspansi mempunyai dua tipe alat ekspansi, yaitu: tipe batasan variabel, batasan konstan. Pada tipe batasan variabel, luasan area terbuka untuk aliran berubah-ubah bergantung pada tipe kontrol. Terdapat dua tipe dari alat kontrol, yaitu katup ekspansi otomatis dan katup ekspansi termostatik. Ditambah, terdapat jenis katup-katup apung (*float valves*) yang termasuk jenis variabel, yaitu: *high side float* dan *low side float*. *High side float* menjaga tingkat *liquid* tetap konstan pada kondensator, dan *low side float* menjaga tingkat *liquid* tetap konstan pada evaporator. Pada tipe *constant restriction* adalah tube kapiler (*capillary tube*) dimana biasanya *tube* panjang dengan diameter bor tajam.



Gambar 2.8 TX-valves
Sumber dari www.danfoss.com

2.8.2. *Liquid receiver*

Check valves mengijinkan fluida mengalir melalui itu pada hanya satu arah. Kompresor *rotary* dan gear memiliki *check valves* pada *suction line*. Ini mencegah uap tekanan tinggi dan oli refrigeran dari mencadangkan ke evaporator selama siklus mati.

Check valves dapat menggunakan disket atau bola pejal di dalam konstruksinya. Beberapa menggunakan pegas atau magnet untuk menjaga katup terhadap posisinya. Yang lainnya tersusun sehingga berat dari katup menjaganya terhadap posisinya.

Sistem *multiple* memiliki evaporator yang di operasikan dengan temperatur yang berbeda. Sistem *multiple* ini menggunakan katup cek. Katup-katup ini menjaga uap refrigeran pada evaporator yang lebih hangat dari pencadangan ke evaporator yang lebih dingin.



Gambar 2.9 *Liquid Receiver*
Sumber dari www.danfoss.com

2.8.3. *Filter drier*

Efisiennya operasi sistem komersial bergantung sekali pada kebersihan internal unit. Hanya refrigeran dan oli yang bersih dan kering dapat bersikulasi pada sistem. Semua yang kotor seperti debu dan uap air harus dibuang. Kontaminasi harus dijebak di beberapa bagian sistem, yang tidak membahayakan. Bagaimanapun, itu harus dibuat menjadi unit tunggal dengan *filter* dan *adsorber*. (adsorpsi adalah kemampuan untuk mengumpulkan substansi pada permukaan di lapisan kondensasi). Kasa, filter dan adsorben air digunakan sebagai bagian dari *filter drier*.



Gambar 2.10 *Filter Dryer*
Sumber dari www.danfoss.com

2.8.4. *Oil separator*

Kompresor refrigerasi mendapatkan pelumasan dari sejumlah kecil oli pelumas. Oli ini diletakkan didalam ruang mesin kompresor atau rumah. Pada sistem hermatik, oli ini juga melumasi *bearing* motor. Ketika kompresor dijalankan, sejumlah kecil oli dipompa keluar beserta uap kompresi panas. Sejumlah kecil oli didalam sistem tidak berbahaya. Terlalu banyak oli masuk ke kondensor, kontrol refrigerant, evaporator dan filter mengganggu kerja peralatan tersebut. Pemisahan oli

dari uap terkompresi, panas dapat dilakukan. Itu dapat dilakukan dengan meletakkan *oil separator* di antara keluaran kompresor dan kondensor.

Oil separator adalah tangki atau silinder, yang mengandung beberapa plat atur arus (*baffle*) atau penyaring (*screen*) yang mengambil oli. Oli terpisah dari uap terkompresi, panas, dibuang ke bawah separator. Penyusunan pelampung mengontrol katup jarum (*needle valve*). Ini akan membukakan aluran keluar oli (*oil return line*) ke kotak engkol (*crank case*). Ketika tingkat oli sudah cukup tinggi, pelampung akan naik dan membuka katup jarum. Tekanan pada separator lebih tinggi dari tekanan pada kotak engkol kompresor. Ini menyebabkan oli keluar dengan cepat ke kotak engkol kompresor.

Makin sedikit oli bersikulasi pada sistem refrigerasi, makin banyak refrigerant tersedia untuk pendinginan. Ini meningkatkan efisiensi pada sistem dengan mengurangi waktu kerja dan menurunkan biaya operasi.



Gambar 2.11. *Oil Separator*
Sumber dari www.danfoss.com

2.8.5. Distributor

Distributor adalah alat yang terhubung ke keluaran katup ekspansi termostatik (TEV). Keluaran distributor didesain untuk menerima tube, yang menghubungkan distributor ke masing-masing sirkuit koil evaporator.

Sejumlah refrigeran *liquid* melewati katup ekspansi termostatik (TEV) biasanya akan mendidih (terbakar), menghasilkan dua fase (*liquid* dan uap) mengalir pada keluaran katup. Masalah didalamnya adalah kenyataannya *liquid* dan uap bergerak pada kecepatan berbeda. Ini kadang-kadang menunjukkan bagai tergelincir, karena gravitasi memiliki pengaruh lebih besar pada jumlah aliran *liquid*.

Jika header sederhana digunakan untuk membagi aliran menuju masing-masing sirkuit evaporator, sirkuit tidak akan menerima jumlah refrigeran yang sama. Sirkuit

evaporator yang lebih rendah selalu menerima sebagian besar *liquid*, kemungkinan menyebabkan masalah hunting TEV dan *floodback*. Sirkuit paling atas akan kekurangan , mengurangi efektivitas permukaan evaporator. Untuk mendapatkan distribusi yang seharusnya, jumlah *liquid* aliran dua fase harus dibagi dengan sama ke masing-masing sirkuit koil evaporator. Solusi : mencampur jumlah aliran refrigeran *liquid* dan uap, menjaga homogenik campuran *liquid* dan uap hingga jumlah aliran yang sama dibagi ke tiap masing-masing sirkuit evaporator.



Gambar 2.12. Distributor refrigeran

Sumber dari <http://www.lge.com/uk/air-conditioning/accessories/LG-PMUB1111A.ENCXLEU.jsp>

2.8.6 *Sight glass*

Sight glass biasanya dipasangkan pada *liquid* line pada instalasi komersial. *Sight glass* akan memperlihatkan gelembung-gelembung jika sistem kekurangan refrigeran.

Sight glass mungkin memperlihatkan sedikit gelembung ketika sistem pertama kali dijalankan. Atau, dapat terlihat jika sistem berhenti. Itu adalah aksi normal dan tidak menunjukkan kekurangan refrigeran.

Gelembung-gelembung mungkin juga memperlihatkan batasan pada sirkuit diatas *sight glass*. Ini mungkin pada drier, kasa, saringan tersumbat sebagian. *Sight glass* memiliki ekstensi yang panjang untuk mengijinkan mematri atau mengelas sambungan tanpa luka pada *sight glass*.



Gambar 2.13 *sight glass*

Sumber dari www.danfoss.com

2.8.7 *Check valves*

Check valves menentukan fluida mengalir melalui itu pada hanya satu arah. Kompresor *rotary* dan gear memiliki *check valves* pada *suction line*. Ini mencegah uap tekanan tinggi dan oli refrigeran dari mencadangkan ke evaporator selama siklus mati. *Check valves* dapat menggunakan disket atau bola pejal di dalam konstruksinya.



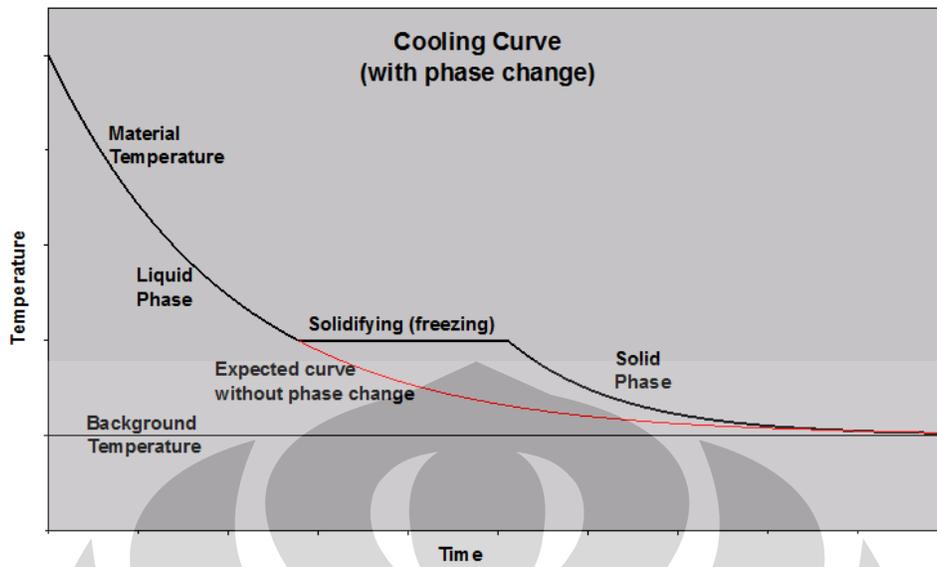
Gambar 2.14 *check valves*
Sumber dari www.danfoss.com

Beberapa *check valves* menggunakan pegas atau magnet untuk menjaga katup terhadap posisinya. Yang lainnya tersusun sehingga berat dari katup menjaganya terhadap posisinya. Sistem *multiple* memiliki evaporator yang dioperasikan dengan temperatur yang berbeda. Sistem *multiple* ini menggunakan katup cek. Katup-katup ini menjaga uap refrigeran pada evaporator yang lebih hangat dari pencadangan ke evaporator yang lebih dingin.

2.9. SOLIDIFIKASI

Ketika sebuah material berubah temperaturnya, material tersebut juga dapat berubah fase. Contohnya antara lain peleburan, penguapan, pengembunan, dan pembekuan (*solidifying*). Ketika suatu material berubah fase, atom atau molekul pada material tersebut akan berubah susubanya. Hal ini akan menyebabkan suatu perubahan energi yang dapat dilihat sebagai panas laten. Susunan atom atau molekul yang terjadi akibat perubahan fase juga akan menyebabkan perubahan massa jenis. Energi yang hilang selama proses solidifikasi dinamakan *Latent Heat of Fusion*.

Proses solidifikasi dapat dilihat pada kurva di bawah ini:



Gambar 2.15. Kurva Pendinginan dan Solidifikasi
 Sumber: www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Solidification/index.html



BAB III

PROSES PENGUKURAN

3. KONSEP PENGUKURAN

Pengukuran dilakukan dengan alat bernama termokopel di 6 titik + 2 titik masuk dan keluarnya aliran brine dari pompa pada ice bank. Enam titik tersebut ditentukan berdasarkan perbedaan temperatur yang cukup signifikan berdasarkan simulasi fluent.

- 1) Dalam sistem refrigerasi yang dibuat untuk pembuatan es ini maka hal yang pertama yang perlu dihitung adalah berapa banyak es yang ingin dibuat per hari, dari sini akan didapat besar dari beban pendinginannya. Karena beberapa komponen dari *Mini Ice Plant* ini sudah tersedia, yaitu kontainer, ice bank dan ice can. Maka kedua faktor tadi dapat ditentukan.
- 2) Spesifikasi dari kompresor, evaporator dan kondenser sangat tergantung dari temperatur evaporasi dan temperatur kondensasi dari rancangan. Sehingga hal ini perlu pertimbangan yang cermat dan penetapan nilainya harus didasarkan dari kombinasi data observasi di lapangan dan referensi dari buku.
- 3) Sistem kompresor yang digunakan harus mampu menjaga operasi mesin pada tingkat yang paling ekonomis dengan mengatur konsumsi energi yang digunakan pada waktu ke waktu disesuaikan dengan kebutuhan beban. Misalnya saat seluruh ice can masih berupa fasa cair maka hal ini adalah beban tertinggi, sedangkan jika sebagian ice can sudah menjadi es dan sebagian masih berfasa cair maka bebannya pun lebih rendah. Untuk itu kompresornya harus dilengkapi dengan sistem kontrol kapasitas (untuk beban bervariasi), salah satunya adalah dengan sistem kompresor parallel.
- 4) Dengan mempertimbangkan kemudahan instalasi karena *Mini Ice Plant* ini akan difungsikan secara *mobile*. Maka sistem kondenser yang dipilih adalah kondenser berpendingin udara (*air cooled condenser*).

- 5) Dalam proses pembuatan es, maka yang terpenting dalam pemilihan sistem evaporator adalah dengan memilih sistem yang memiliki koefisien perpindahan panas yang paling tinggi.



BAB IV

DATA PENGUKURAN DAN ANALISIS

4.1 HASIL PENGUKURAN

Pengambilan data dimulai pada hari Minggu tanggal 19 Juni 2010 pada pukul 21.30 WIB dengan rentang waktu setiap 4 jam sampai dengan 32 jam yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada akhirnya akan diketahui dimana distribusi temperatur yang kurang baik dan masih dibutuhkan optimasi lebih lanjut, serta faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi perbedaan pengukuran temperatur lapangan tersebut dengan hasil simulasi fluent.

- Tanggal Mulai : 19 Juni 2010
- Jam Dimulai : 21.30 (WIB)
- Tanggal Selesai : 21 Juni 2010
- Jam Selesai : 05.30 (WIB)

Berikut ini adalah tabel berisi data hasil pengukuran.

Distribusi Temperatur Pada Dasar <i>Ice can</i>								
Tanggal	Waktu (WIB)	Jam ke-	Temperatur(celsius)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
19-Jun	21.30	0	27	27	27	27	27	27
	22.30	1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1
20-Jun	01.30	4	-0,5	-1	-0,5	-0,7	-1	-0,2
	05.30	8	-0,9	-0,9	-0,1	-1	-0,1	-0,1
	09.30	12	-0,4	-0,4	-0,4	0,2	0,2	0,2
	13.30	16	-0,1	-0,1	0,3	0,4	0,4	0,4
	17.30	20	0	0	0,4	0,4	0,3	0,5
	21.30	24	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,3
21-Jun	01.30	28	0	0	0,5	0,4	0,3	0,3
	05.30	32	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabel 1. Data temperatur dan waktu pada dasar *ice can*

Selanjutnya data temperatur permukaan air dalam setiap cetakan es didapatkan guna membandingkan antara temperatur air pada bagian dasar cetakan es dan temperatur bagian permukaannya (± 3 cm).

Distribusi Temperatur Pada Permukaan <i>Ice can</i>								
Tanggal	Waktu (WIB)	Jam ke-	Temperatur(celsius)					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
19-Jun	21.30	0	27	27	27	27	27	27
	22.30	1	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2
20-Jun	01.30	4	-0,5	-1	-0,3	-0,6	-1	-0,6
	05.30	8	-0,7	-0,8	0	-0,8	0	0
	09.30	12	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
	13.30	16	0	0	0,5	0,5	0,5	0,6
	17.30	20	0,1	0,1	0,4	0,4	0,3	0,5
	21.30	24	0,2	0,1	0,6	0,6	0,5	0,6
21-Jun	01.30	28	0	0,1	0,5	0,4	0,4	0,5
	05.30	32	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3

Tabel 2. Data temperatur dan waktu pada permukaan *ice can*

Pengukuran dibatasi pada waktu 32 jam karena batasan tersebut diasumsikan sudah menggambarkan cetakan es yang lebih cepat membeku, dan juga waktu 32 jam juga menunjukkan waktu yang relatif lebih lama dari kondisi ideal dalam memproduksi es untuk kebutuhan nelayan yang melaut setiap harinya.

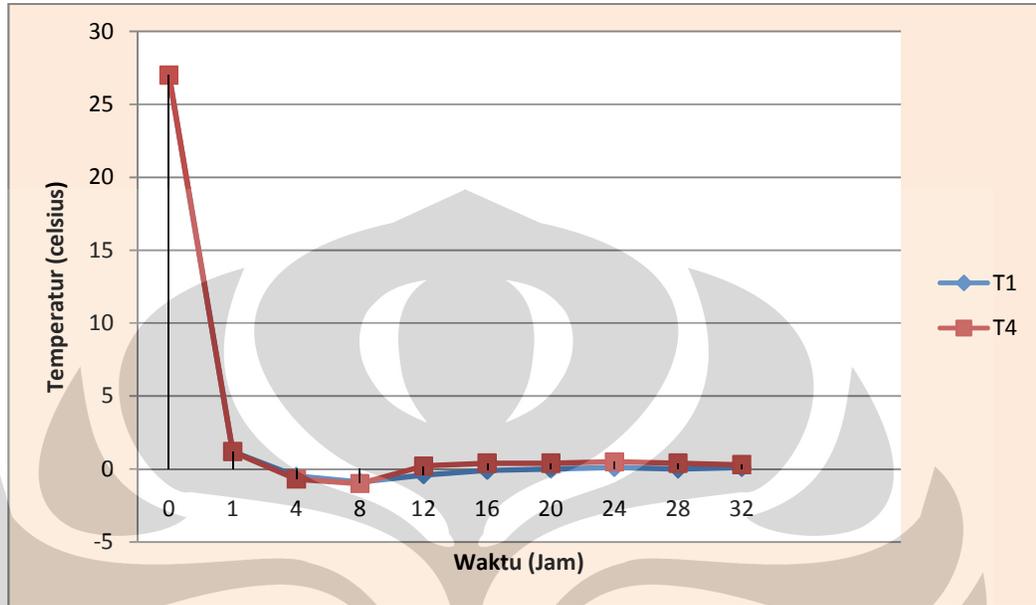
4.2 ANALISIS GRAFIK

Agar dapat memperbaiki pola aliran yang ada pada penelitian selanjutnya, maka pengukuran perbandingan temperatur akan di tempatkan pada 2 buah objek dengan baris yang sama, yakni perbedaan temperatur dan waktu solidifikasi pada cetakan yang berada dekat dengan evaporator dan cetakan es yang diletakkan jauh dengan evaporator. Hal ini dilakukan untuk memperkecil sudut pandang yang merepresentasikan distribusi temperatur pada aliran sirkulasi yang sudah ada. Analisis yang dilakukan adalah analisis grafik dan perbandingan foto secara visual yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi.

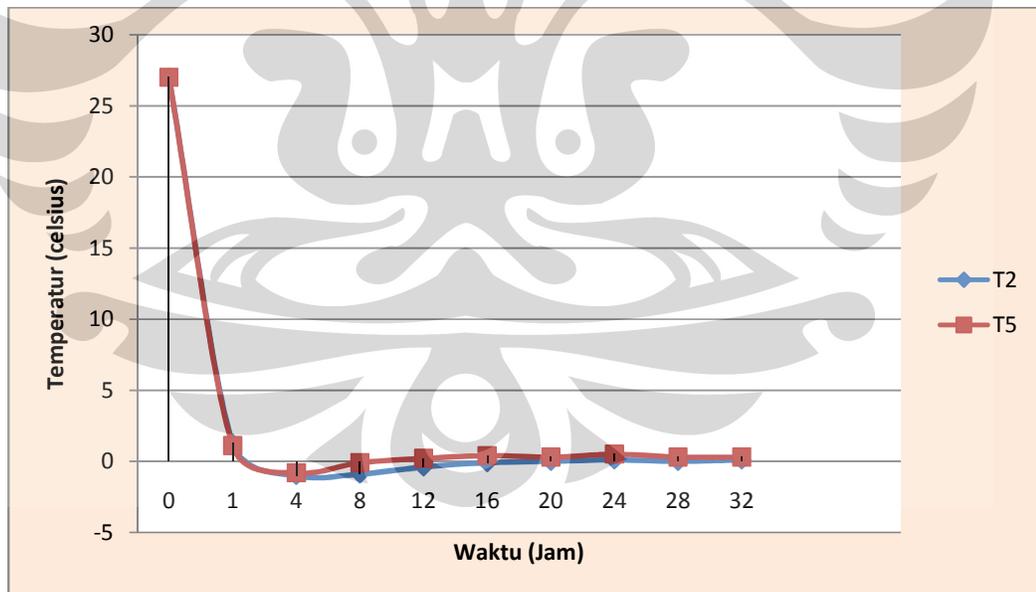
4.2.1 Pada dasar cetakan es

Dari data yang telah didapatkan, akan dibuat grafik antara 2 titik yang berdekatan dan berjauhan dengan evaporator. Yakni titik 1 dengan titik 4, titik 2 dengan titik 5, serta titik 3 dengan titik 6. Dengan variasi ketinggian pada dasar dan pada permukaan cetakan es.

Berikut ini adalah grafik temperatur dan waktu yang telah didapatkan dari proses pengukuran.

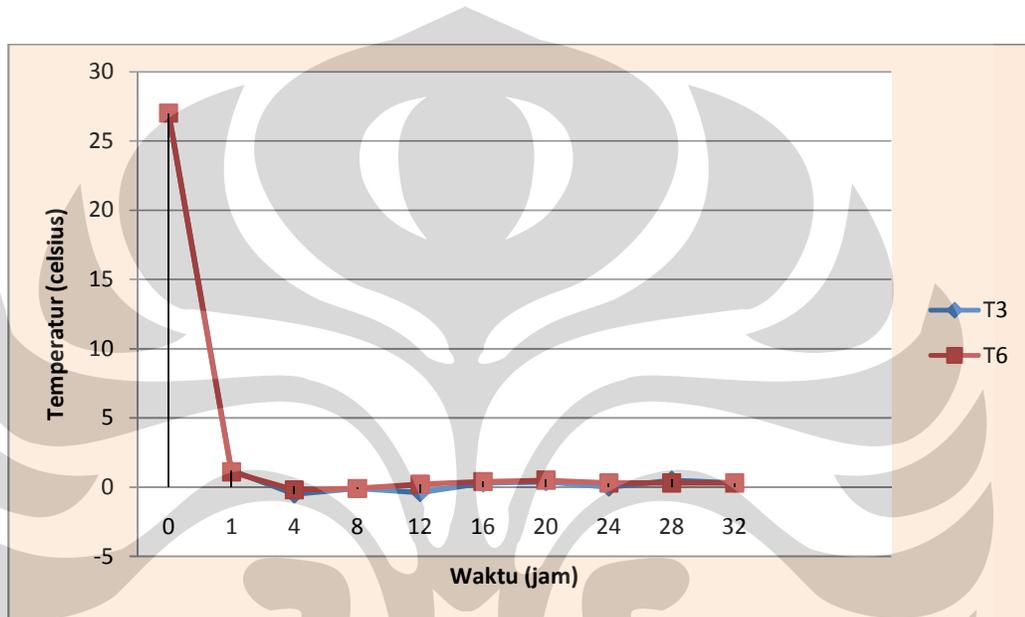


Grafik 4.1. Perubahan temperatur terhadap waktu pada dasar *ice can* 1 dan 4



Grafik 4.2. Perubahan temperatur terhadap waktu pada dasar *ice can* 2 dan 5

Pada kedua grafik diatas terlihat bahwa T1 dan T2 setelah jam ke 8 cenderung berada dibawah pembandingnya T4 dan T5, atau mempunyai temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan T4 dan T5. Namun menurut pengamatan, T1 dan T2 sangat lama mengalami perubahan fase menjadi es. Setelah diamati hingga pengukuran selesai, temperatur yang lebih tinggi menunjukkan bahwa belum adanya perubahan fase dari air menjadi es.

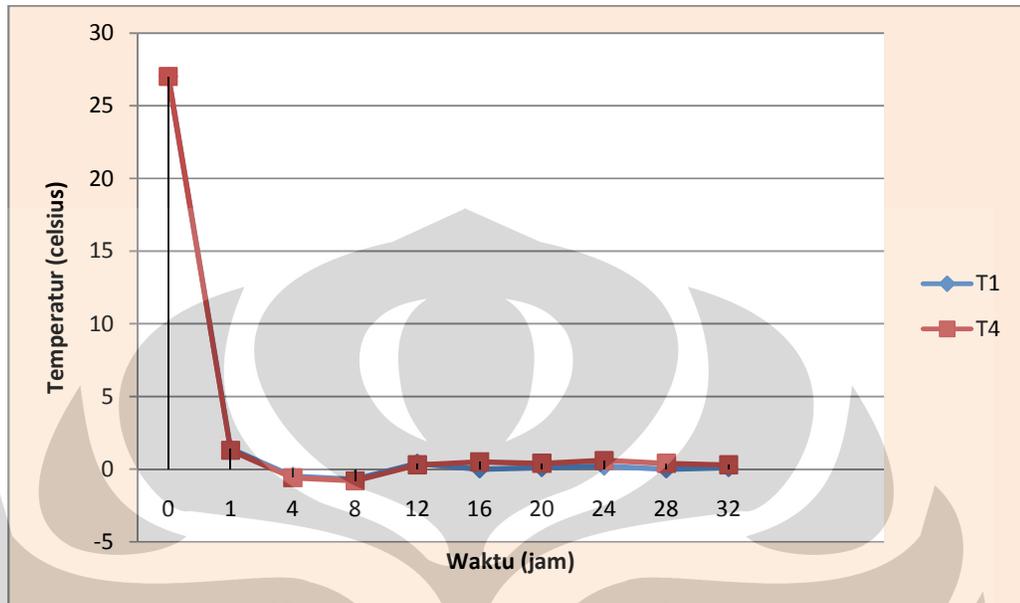


Grafik 4.3. Perubahan temperatur terhadap waktu pada dasar *ice can* 3 dan 6

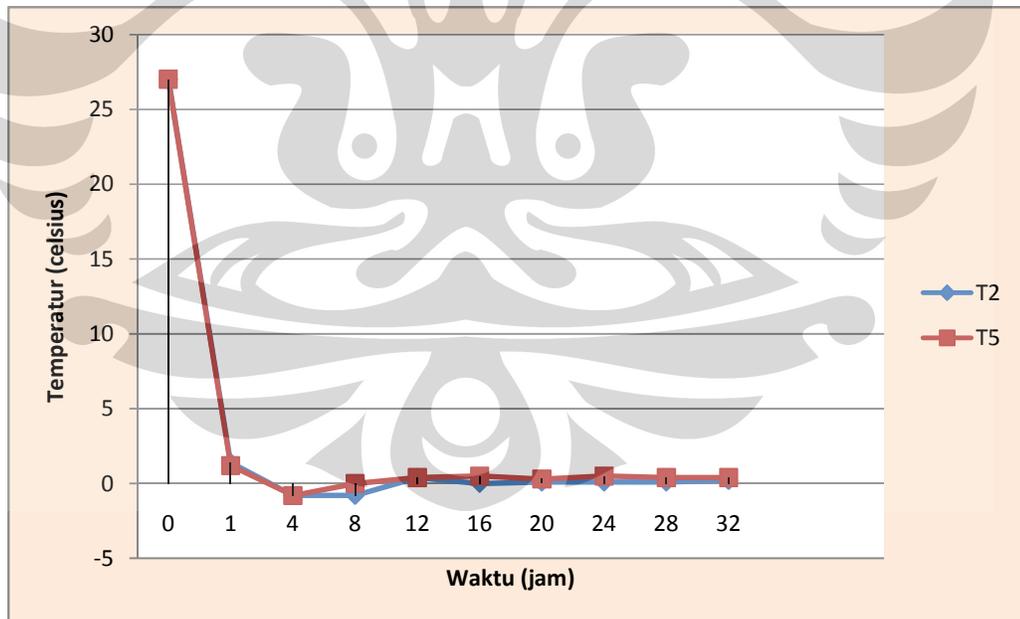
Sedangkan pada perbandingan titik 3 dan titik 6, ke-2 grafik T3 dan T6 terlihat cenderung berimpit atau menunjukkan temperatur mendekati sama. Berdasarkan pengamatan, waktu terbentuk / penambahan es terhadap waktu pada dinding cetakan es titik 3 dan titik 6 cenderung sama.

Berdasarkan hasil pengamatan, titik yang paling lama mengalami perubahan fase menjadi es adalah titik pada cetakan es nomor 1 dan 2. Hal ini dapat dibandingkan pada hasil simulasi fluent, dikarenakan pada kedua titik tersebut distribusi kecepatan aliran cenderung lebih kecil, yang berbanding lurus dengan laju perpindahan kalornya. Dengan kata lain, semakin besar laju aliran brine pada suatu titik maka semakin besar pula laju perpindahan kalor pada titik tersebut.

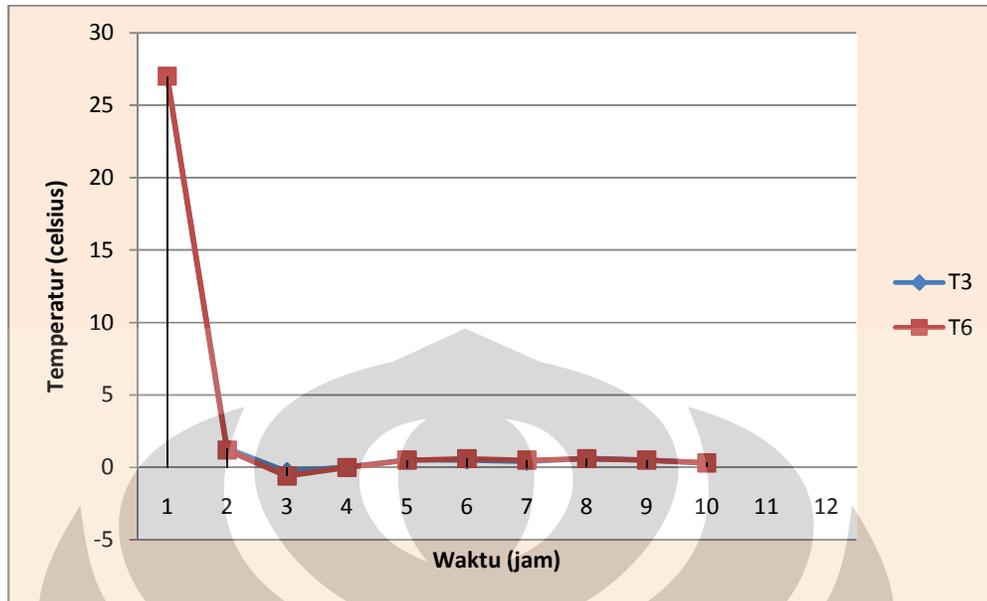
4.2.2 Pada permukaan cetakan es



Grafik 4.4. Perubahan temperatur terhadap waktu pada permukaan *ice can* 1 dan 4



Grafik 4.5. Perubahan temperatur terhadap waktu pada permukaan *ice can* 2 dan 5



Grafik 4.6. Perubahan temperatur terhadap waktu pada permukaan *ice can* 3 dan 6

Ketiga grafik diatas menunjukkan temperatur permukaan air yang belum terbentuk es pada setiap cetakan es cenderung mendekati sama. Temperatur pada permukaan cetakan es rata-rata menunjukkan perbedaan yang lebih tinggi antara 0,1-0,4°C dibandingkan dengan pada dasar cetakan es.

Disamping itu tidak tertutupnya setiap cetakan es selama proses refrijerasi berjalan juga menjadi salah satu faktor perbedaan waktu yang dibutuhkan untuk solidifikasi pada permukaan *ice can* dengan dasar *ice can* berbeda cukup signifikan. Banyak *heat loss* terjadi karena cetakan es tidak ditutupi dengan isolator yang baik. Pada umumnya pabrik es menggunakan kayu untuk menutupi seluruh cetakan es agar *heat loss* tidak banyak terjadi pada permukaan cetakan es.. Sehingga proses produksi es memakan waktu yang lebih cepat dan efisiensi konsumsi listrik juga menjadi lebih tinggi.

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat di menggambarkan adanya penyebab laju perpindahan kalor yang berubah menjadi lebih kecil karena adanya medium perantara es yang memiliki konduktifitas termal tertentu. Sehingga perpindahan kalor secara konduksi tidak hanya terjadi pada material steel pada cetakan es, namun juga terjadi pada dinding es itu sendiri.

Untuk mengetahui penyebab perbedaan hasil pembacaan alat ukur termometer antara dinding es yang sudah berangsur membeku dengan yang lebih sedikit ataupun belum sedikitpun membeku, maka analisis perpindahan kalor secara konduksi dapat dihitung sesuai bertambahnya ketebalan es yang sudah membeku.

Sesuai persamaan pada perpindahan kalor secara konduksi,

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{k A \Delta T}{\Delta x}$$

Dengan :

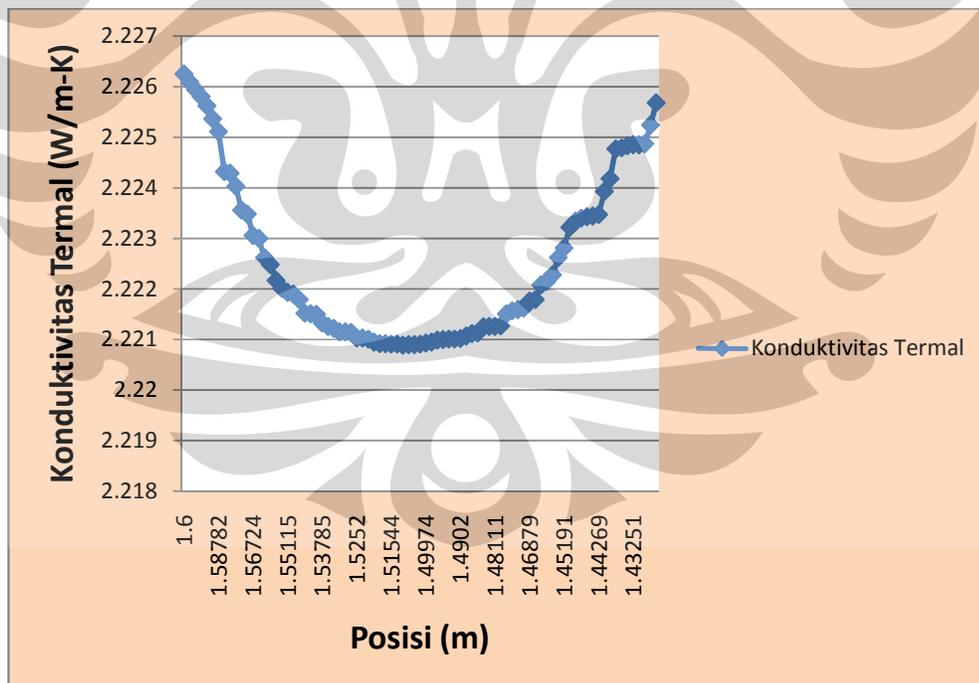
$$\Delta T_{\text{av}}(\text{brine-air}) = T_{\text{brine}} - T_{\text{air}} \quad 1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$$

$$Q_{\text{konduksi steel}} = 626,07 \text{ Joule} \quad (k_{\text{steel}} = 16,27 \text{ W/m-K})$$

$$A = \text{luas permukaan ice can (yang kontak langsung dengan brine)} = 0,1942 \text{ m}^2$$

$$k_{\text{es}} = 2,220 \text{ W/m-K} - 2,227 \text{ W/m-K}$$

Perbedaan konduktifitas termal dari es terhadap posisi air dalam cetakan es dapat dilihat dari grafik yang ada di bawah ini,

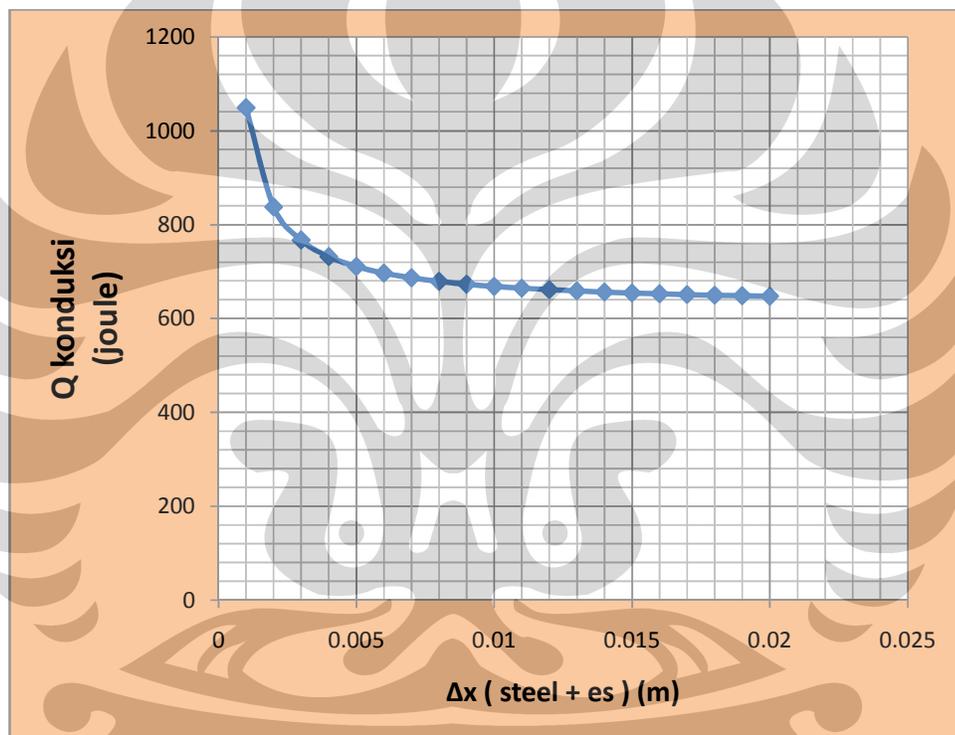


Grafik 4.7. Perbedaan konduktifitas termal dari es terhadap posisi air dalam cetakan es

Sumber : Rizky Sahar, Deddy. *Simulasi Mini Ice plant 2010*

Nilai x bertambah dan diasumsikan antara 1 mm hingga 20 mm dengan bertambahnya solidifikasi pada dinding cetakan es yang terhadap waktu, maka besar kalor yang berpindah antara *brine* dan cetakan es dengan ketebalan yang semakin bertambah akan semakin kecil. Dengan kata lain es sebagai isolator yang semakin tebal akan menghambat perpindahan kalor dari *brine* ke cetakan es sehingga waktu solidifikasi akan semakin bertambah pula.

Berikut ini adalah grafik perubahan nilai Q yang berpindah secara konduksi yang didapatkan,

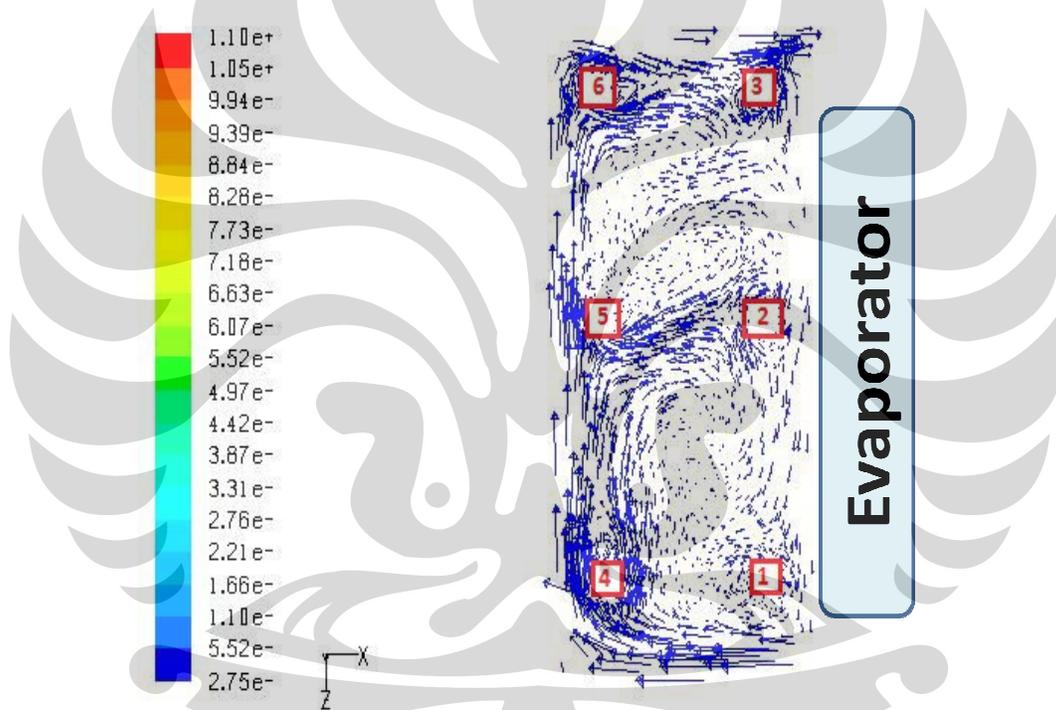


Grafik 4.8. Perubahan nilai Q konduksi terhadap penambahan ketebalan es pada dinding *ice can*

Grafik diatas menunjukkan perubahan kalor yang berpindah secara konduksi tersebut tampak semakin berkurang dikarenakan tebal dinding es yang semakin bertambah. Dapat disimpulkan bahwa butuh Q yang semakin besar untuk membentuk seluruh air dalam cetakan es .

4.3 PERBANDINGAN PENGUKURAN DENGAN HASIL SIMULASI

Sebelumnya telah dilakukan simulasi dengan kondisi temperatur dan insulasi yang mendekati sama dengan kondisi riil. Hasil simulasi tersebut menjelaskan bahwa distribusi aliran belum merata pada ke-enam cetakan es yang ada. Distribusi aliran tersebut menggambarkan bahwa variasi kecepatan aliran *brine* menyebabkan distribusi temperatur yang tidaklah sama. Cetakan es pada titik 1 dan 2 dibawah ini terlihat mendapatkan aliran yang memiliki laju kecil sehingga perpindahan kalornya terjadi secara lebih lambat.



Gambar 4.1 Hasil simulasi fluent yang menunjukkan perbedaan kecepatan aliran

Sumber : Rizky Sahar, Deddy.(2010) *Simulasi Mini Ice plant*

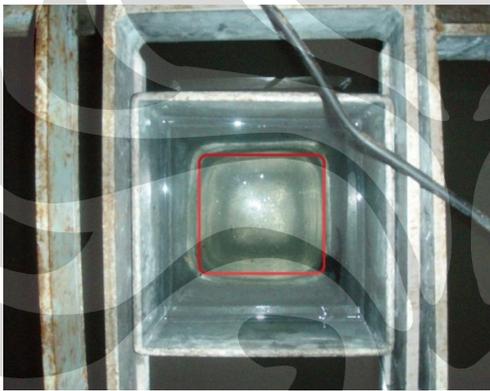
Gambar diatas memperlihatkan peletakan cetakan es (ditandai dengan font berwarna merah) dan posisi *inlet- outlet* sesuai kondisi nyata, hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi kecepatan aliran *brine* pada *ice bank* terlihat berbeda-beda disetiap titiknya.



Ice can 3 pada pukul 05.30 (8 Jam)



Ice can 3 pada pukul 13.30 (16 Jam)



Ice can 3 pada pukul 15.30 (20 Jam)

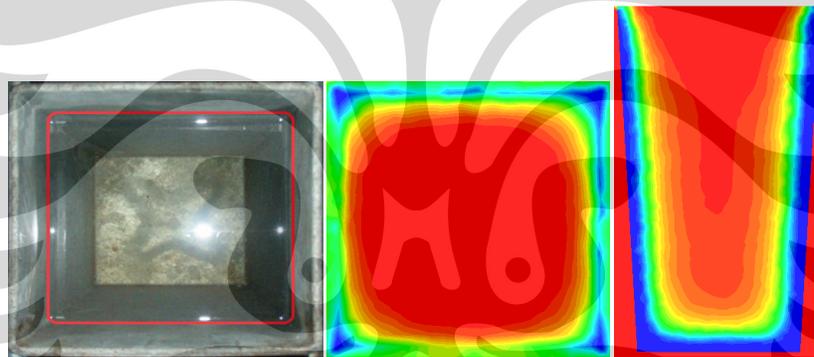


Ice can 3 pada pukul 05.30 (32 Jam)

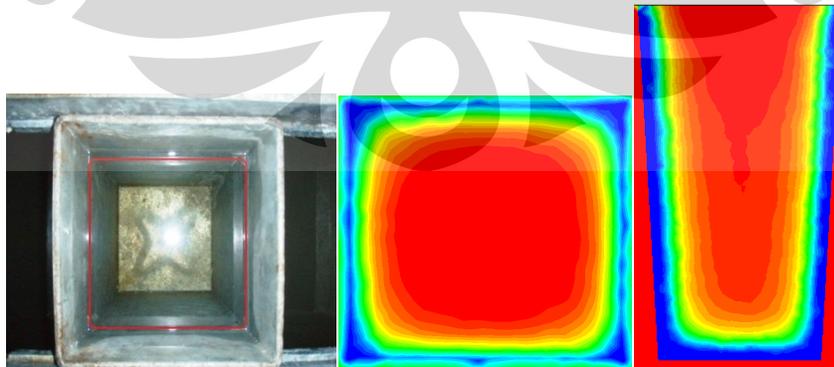
Gambar 4.2. Proses tahapan terbentuknya es hingga 32 jam

Setelah diambil salah satu contoh perubahan fase dari air menjadi es pada can 3, dapat diamati perubahan yang terjadi. Penambahan es terjadi secara bertahap dimulai dari ke-5 sisi cetakan es, dan bertambah tebal sejalan dengan pertambahan waktu. Hasil akhir menunjukkan belum cukupnya waktu 32 jam untuk memproduksi es balok dalam cetakan yang sepenuhnya membeku. Karena hanya sebagian pada pinggiran cetakan es yang didapatkan membeku. Hal ini dikarenakan temperatur *brine* yang hanya mencapai -1°C yang disebabkan kerusakan salah satu kompresornya.

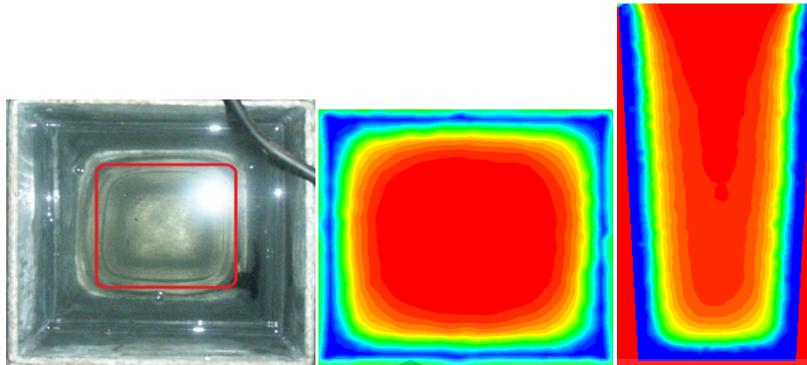
Berikut ini adalah foto terakhir perbandingan ke-enam cetakan es yang diambil dari bagian atas setelah waktu 32 jam dan dapat dibandingkan dengan tampak atas dan tampak samping hasil simulasi fluent.



Gambar 4.3. Cetakan es 1 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi

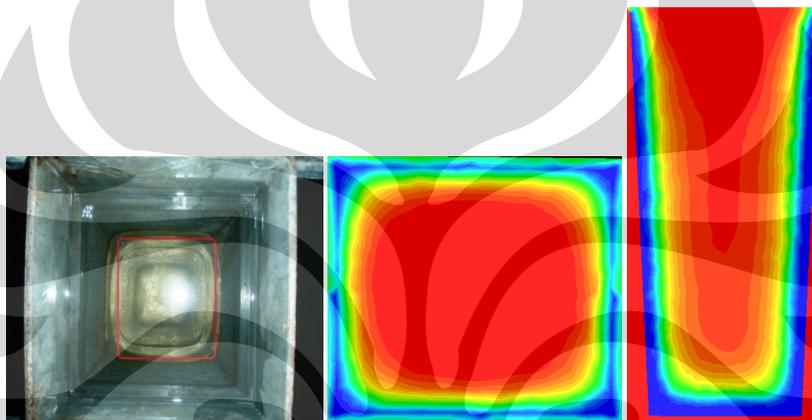


Gambar 4.4. Cetakan es 2 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi

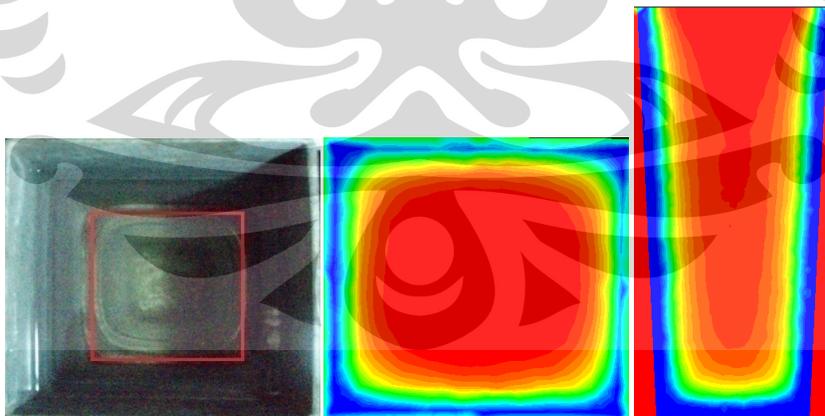


Gambar 4.5. Cetakan es 3 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi

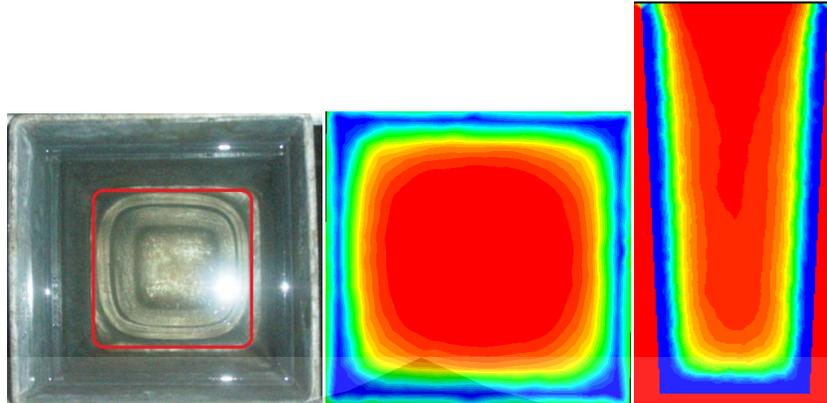
Sumber : Rizky Sahar, Deddy.(2010) *Simulasi Mini Ice plant*



Gambar 4.6. Cetakan es 4 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi



Gambar 4.7. Cetakan es 5 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi



Gambar 4.8. Cetakan es 6 beserta perbandingannya dengan hasil simulasi

Sumber : Rizky Sahar, Deddy.(2010) *Simulasi Mini Ice plant*



BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

- Laju aliran pada suatu titik mempengaruhi besarnya laju perpindahan kalor pada titik tersebut.
- Es memiliki konduktivitas termal tertentu dan mempengaruhi laju perpindahan kalor secara konduksi antara *brine* dan air.
- Insulasi disetiap sisi bagian dalam kontainer sangat berpengaruh kepada *heat loss* ke lingkungan dan mempengaruhi waktu untuk memproduksi es.
- Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi *heat loss* pada mini ice plant ini diantaranya adalah insulasi yang belum sempurna, beban pompa, beban infiltrasi, serta beban lainnya pada material berupa peralatan pendukung yang masih ada didalam petikemas.

5.2 SARAN

- Perlu adanya perbaikan kompresor yang rusak dan perawatan ketiga kompresor secara berkala.
- Perlu adanya perbaikan simulasi untuk optimasi aliran yang membuat distribusi temperatur *brine* pada *ice bank* menjadi lebih merata.
- Perlu adanya insulasi *polyurethane* pada sisi pintu
- Perlu perbaikan karet-karet isolator pada pintu yang sudah lepas akibat pengaruh korosi pada pintu.
- Perlu adanya penutup sebagai penghambat perpindahan kalor pada *ice bank* dan cetakan es saat produksi berlangsung, penutup tersebut bisa berupa kayu yang merupakan isolator sehingga temperatur pada *ice bank* dapat dijaga dan *heat loss* tidak terlalu besar.
- Perlu adanya sistem pengisian air ke cetakan es yang lebih praktis.

DAFTAR PUSTAKA

Adhiwena, Ivan (2008) . *Pengukuran dan analisa distribusi temperatur pada ice bank untuk optimasi pengembangan mini ice plant*. Depok: Departemen Teknik Mwsin Universitas Indonesia

Sianturi Fernando, David (2009). *Perancangan dan pembuatan sistem refrigerasi beserta komponen pada mini ice plant dengan kapasitas pendinginan 10 kW*. Depok: Departemen Teknik Mwsin Universitas Indonesia

Rizky Sahar, Deddy (2010). *Simulasi Pengaruh Aliran Brine Terhadap Laju Pembekuan Air Pada Mini Ice Plant*. Depok: Departemen Teknik Mwsin Universitas Indonesia

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

Holman J.P.(1995). *Perpindahan Kalor*, terjemahan E. Jasjfi, edisi ke-enam, Jakarta : Penerbit Erlangga

Thermal Properties. *The Engineering ToolBox*

<http://www.engineeringtoolbox.com>

DAFTAR KUTIPAN

[1] Ferinaldy (2008). *Produksi Perikanan Budidaya dan Tangkap Indonesia 2004-2007*.

<http://tentangikan.wordpress.com/2008/07/28/produksi-perikanan-budidaya-dan-tangkap-indonesia-2004-2007/>

[2] Partosuwirjo, M (2003). Pemberdayaan perikanan rakyat melalui Manajemen Kelompok Usaha Bersama (KUB). Makalah falsafah sains, Program Pascasarjana / S3 Institut Pertanian

Bogor

http://72.14.235.132/search?q=cache:sAnmfCBBveMj:tumoutou.net/702_05123/mulyono_p.pdf+produksi+es+nasional&hl=id&ct=clnk&cd=3&gl=id



LAMPIRAN

Lampiran 1

Tabel Data Properti Air

Temperature - t -	Absolute pressure - p -	Dynamic viscosity - μ -	Kinematic viscosity - ν -	Expansion coefficient	Specific enthalpy	Prandtl's no.
(°C)	(kN/m ²)	(Centipoise)	10 ⁻⁶ (m ² /s)	10 ⁻³ (1/ K)	(kJ/kg)	
0.01	0.6	1.78	1.792	-0.07	0	13.67
5	0.9	1.52		0.160	21.0	
10	1.2	1.31	1.304	0.088	41.9	9.47
15	1.7	1.14		0.151	62.9	
20	2.3	1.00	1.004	0.207	83.8	7.01
25	3.2	0.890		0.257	104.8	
30	4.3	0.798	0.801	0.303	125.7	5.43
35	5.6	0.719		0.345	146.7	

Lampiran 2

Tabel Data Properti Es

<u>Temperature</u> - t -	<u>Density</u> - ρ -	<u>Thermal Conductivity</u> - k -	<u>Specific Heat</u> - c_p -
(°C)	(kg/m ³)	(W/mK)	(kJ/kgK)
0.01 (<u>Water</u>)	999.8		
0	916.2	2.22	2.050
-5	917.5	2.25	2.027
-10	918.9	2.30	2.000
-15	919.4	2.34	1.972
-20	919.4	2.39	1.943