



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH RPM MOTOR SCRAPER *BLADE & ORBITAL*
ROD TERHADAP PEMBENTUKAN FRAKSI ES PADA *ICE*
*SLURRY GENERATOR***

SKRIPSI

LUTHFI IBRAHIM
0906605302

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH RPM MOTOR *SCRAPER BLADE & ORBITAL*
ROD TERHADAP PEMBENTUKAN FRAKSI ES PADA *ICE*
*SLURRY GENERATOR***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

LUTFI IBRAHIM

0906605302

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

PENGARUH RPM MOTOR *SCRAPER BLADE & ORBITAL ROD* TERHADAP PEMBENTUKAN FRAKSI ES PADA *ICE SLURRY GENERATOR* yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan tiruan atau duplikasi dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Lutfi Ibrahim

NPM : 0906605302

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Lutfi Ibrahim
NPM : 0906605302
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh RPM Motor *Scrapper Blade* dan *Orbital Rod* terhadap Pembentukan Fraksi Es pada *Ice Slurry Generator*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Agus S. Pamitran S.T., M.Eng. (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi A. Koestoer, DEA. (.....)

Penguji : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng. (.....)

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.Ing. (.....)

Penguji : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan nikmat-Nya karena penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam penelitian ini, Penulis banyak menerima saran, bimbingan, bantuan dan informasi dari berbagai pihak, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Untuk itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Allah S.W.T yang telah memeberikan rahmat serta hidayahnya sehingga penulis masih diberi waktu dan kesempatan utnuk menyusun laporan ini
- (2) Bapak Dr. Agus Sunjarianto Pamitran S.T, M.Eng, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu & tenaga dalam memberikan saran serta bimbingan.
- (3) Orang tua yang selalu memberikan dukunagn baik moral maupun material .
- (4) Helmy dadang, Machi dan Yongga selaku teman sekelompok yang telah berkerja sama dengan penulis selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : Lutfi Ibrahim
NPM : 0906605302
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**PENGARUH RPM MOTOR *SCRAPER BLADE & ORBITAL ROD*
TERHADAP PEMBENTUKAN FRAKSI ES PADA *ICE SLURRY*
*GENERATOR***

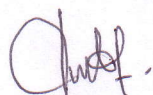
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2012

Yang menyatakan



(Lutfi Ibrahim)

ABSTRAK

Nama : Lutfi Ibrahim
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh RPM Motor *Scraper Blade & Orbital Rod* Terhadap Pembentukan Fraksi Es Pada *Ice Slurry Generator*

Mesin pendingin hampir mutlak diperlukan di berbagai tempat seperti perkantoran, institusi pendidikan, perindustrian bahkan di lingkungan perumahan. Banyaknya penggunaan mesin pendingin dikarenakan manfaat yang dapat diperoleh oleh masyarakat salah satunya digunakan untuk mendinginkan atau mengawetkan produk makanan.

Sebagian besar masyarakat Indonesia adalah berprofesi sebagai nelayan, sehingga diperlukan alat pendingin produk ikan yang praktis dan mudah dalam penggunaannya.

Pada pembuatan ice slurry generator ini penulis meneliti mengenai pengaruh Putaran pengaduk motor terhadap hasil es fraksi yang diperoleh dengan menggunakan pengaduk jenis scraper blade dan orbital rod dengan menganalisa sifat thermofluida air laut seperti : *Density, mass of Ice Fraction, Viscosity* dan *Chilling time*

Kata Kunci:
Sistem refrigerasi, *ice slurry, ice slurry generator*, air laut, RPM.

ABSTRACT

Name : Lutfi Ibrahim
Study Program : Bachelor of Mechanical Engineering
Title : *Effect of Motor RPM for Scraper Blade and Orbital Rod on Ice Fraction Generation of ice Slurry generator*

Refrigerator was used by public for every segmentation such as office, school, industry and home industry, as function for chilling some product.

In majority of Indonesian humanbeing as a fisherman the portable refrigerator will necessary to help their daily activity.

In this report the writer is analyse the Effect of Motor RPM for Scraper Blade and Orbital Rod on Ice Fraction Generation of ice Slurry generator. This project to knowing calculating and analyzing the thermodynamic of ice slurry such as : Density, Mass of Ice Fraction, Viscosity and chilling time.

Keywords:

Refrigeration system, ice slurry, ice slurry generator, sea water, RPM

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 LATAR BELAKANG	1
I.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
I.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
I.4 PEMBatasan MASALAH	2
I.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
I.6 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 SISTEM REFRIGERASI.....	5
II.1.1 Komponen Sistem Refrigerasi	10
II.1.1.1 Komponen Utama System Refrigerasi	14
II.1.1.2 Komponen Pendukung System Refrigerasi	15
II.2 <i>ICE SLURRY</i>	13
II.2.1 Produksi Ice Slurry	14
II.2.2 <i>Ice Slurry generator</i>	16
II.3 AIR LAUT	18
II.3.1 Salinitas (Kadar Garam) Air laut.....	19
II.3.2 Densitas.....	19
II.3.3 Viscositas	19
II.3.4 Titik Beku	20
BAB III SPESIFIKASI ICE SLURRY GENRATOR DAN METODE	
PENGAMBILAN DATA.....	21
III.1 Perangkat Instalasi <i>Ice slurry Generator</i>	21
III.1.1 Kompresor.....	21
III.1.2 Kondenser	21
III.1.3 Alat Ekspansi	23
III.1.4 Evaporator.....	23
III.1.5 Filter Dryer	25
III.1.6 Sistem Pengaman	25
III.1.7 Perangkat Mekanik.....	26
III.1.8 Alat Ukur	27
III.1.8.1 Alat Ukur Temperatur.....	27
III.1.8.2 Alat Ukur Tekanan	29
III.1.8.3 Alat Ukur Kelistrikan.....	30
III.1.8.4 Alat Ukut Putaran Motor.....	30
III.1.8.5 Alat Ukur Salinitas Air Laut	30

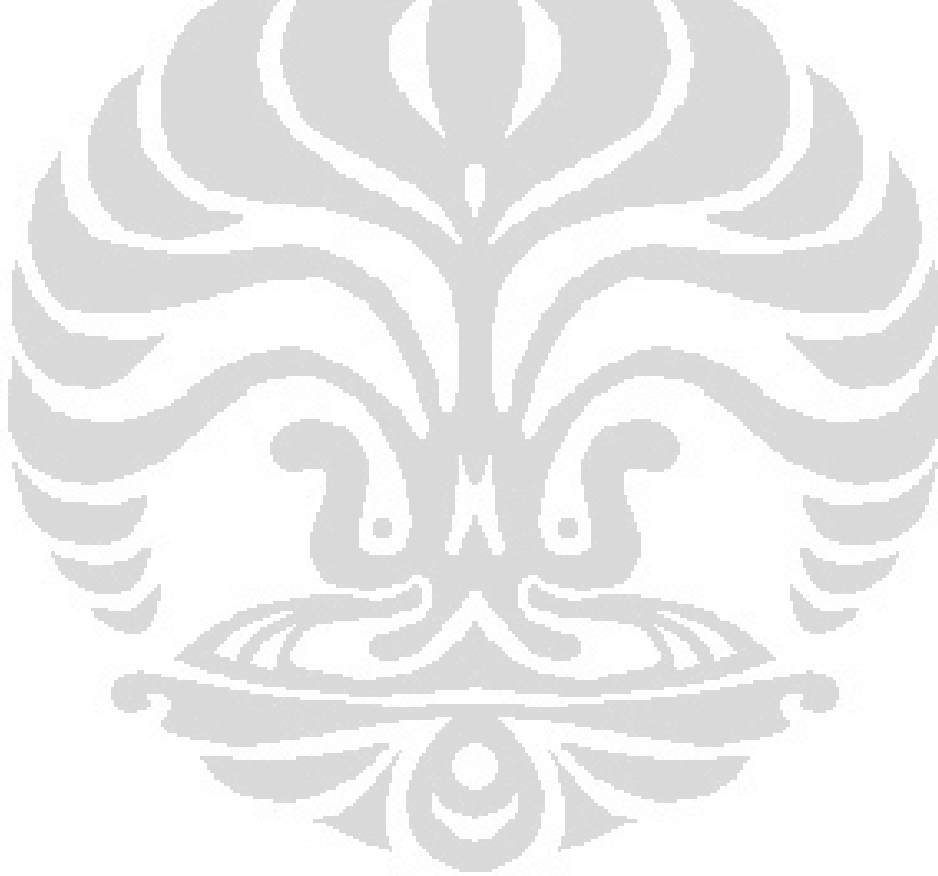
III.2 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA.....	31
III.3 VARIASI PENGAMBILAN DATA.....	33
BAB IV DATA, PENGOLAHAN, DAN ANALISIS	39
IV.1 PENGOLAHAN DATA.....	34
IV.1.1 Titik Beku Air Laut.....	34
IV.1.2 Perhitungan Massa Es Fraksi.....	34
IV.1.2.1 Perhitungan Massa Es Fraksi ISG Scraper Blade	35
IV.1.2.1 Perhitungan Massa Es Fraksi ISG Orbital Rod.....	38
IV.1.3 Perhitungan Viskositas.....	40
IV.1.3.1 Perhitungan Viskositas ISG Scraper Blade.....	41
IV.1.3.1 Perhitungan Viskositas Orbital Rod	42
IV.1.4 Pengaruh RPM Terhadap Chilling Time.....	44
IV.1.4.1 Chilling Time Scraper Blade.....	44
IV.1.4.1 Chilling Time Orbital Rod	45
IV.2 ANALISIS DATA	46
BAB V PENUTUP	49
V.1 KESIMPULAN	49
V.2 SARAN.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
DAFTAR LAMPIRAN.....	52
Lampiran 1 Tabel properties densitas air laut.....	52
Lampiran 2 Tabel properties Viskositas air laut.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Sirkulasi Refrigerasi Kompresi Uap	6
Gambar 2.2	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap diagram moller	11
Gambar 2.3	(a) Scraped-surface <i>ice slurry</i> generator. (b) Orbital rod <i>ice slurry</i> generator. (c) Srews <i>ice slurry</i> generator. (d) <i>Ice slurry</i> generator tipe direct contact evaporation. (e) Mekanisme pelepasan partikel es pada sistem fluidized bed generator. (f) Fluidized-bed <i>ice</i> generator.....	18
Gambar 2.4	Hubungan densitas terhadap salinitas dan temperatur	20
Gambar 3.	Skema <i>Ice Slurry Generator</i>	21
Gambar 3.1	Kompresor	21
Gambar 3.2	Fan Kondensor	22
Gambar 3.3	Koil Kondensor.....	22
Gambar 3.4	Kondensor	22
Gambar 3.5	TXV.....	23
Gambar 3.6	(a) Evaporator berupa tangki generator. (b) <i>Auger shaft</i> yang dilengkapi dengan <i>scrapper</i>	24
Gambar 3.7	(a) Evaporator berupa tangki generator. (b) Motor pemutar <i>orbital rod</i>	25
Gambar 3.8	<i>Filter Dryer</i>	25
Gambar 3.9	<i>Hi-lo pressure control</i>	26
Gambar 3.10	Motor <i>Auger Shaft</i>	26
Gambar 3.10	(a) <i>Bare thermocouple</i> . (b) Termokopel yang telah diberi <i>cover</i>	27
Gambar 3.12	Data akuisisi yang digunakan, yaitu DAQ produksi <i>National Instrument</i>	28
Gambar 3.13	<i>Interface</i> yang terdapat pada LabView 8.5.....	29
Gambar 3.14	<i>Pressure gauge</i> yang digunakan dalam system	29
Gambar 3.15	<i>Clampmeter</i> yang digunakan untuk mengetahui arus kompresor... 30	
Gambar 3.16	<i>Tachometer</i> yang digunakan untuk mengukur putaran motor..... 30	
Gambar 3.17	(a) <i>Salinity hydrometer</i> yang digunakan untuk mengetahui nilai salinitas air laut yang digunakan. (b) Jarum indikator menunjukkan salinitas sebesar 33 ppt dengan nilai <i>specific gravity</i> sebesar 1,0245.....	31
Gambar 4.1	Perbandingan Massa Es Fraksi ISG Model <i>Scrapper Blade</i>	37
Gambar 4.2	Perbandingan Massa Es Fraksi ISG Model <i>Orbital Rod</i>	40
Gambar 4.3	Perbandingan Viskositas ISG Model <i>Scrapper Blade</i>	42
Gambar 4.4	Perbandingan Viskositas ISG Model <i>Orbital Rod</i>	43
Gambar 4.5	Chilling time <i>ice slurry</i> generator Model <i>Scrapper Blade</i>	44
Gambar 4.6	Chilling time <i>ice slurry</i> generator Model <i>orbital Rod</i>	48
Gambar 4.7	Hasil Es Fraksi Pada <i>Ice Slurry Generator</i>	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data percobaan <i>ice slurry</i> generator Model <i>scraper blade</i>	44
Tabel 4.2	Data percobaan <i>ice slurry</i> generator Model <i>Orbital Rod</i>	45
Tabel 4.3	Data Perbandingan Sifat Thermofluidaa ISG Model Scraper Blade dan <i>Orbital Rod</i>	46



DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
COP	Koefisien kinerja sistem	-
$h_1...h_4$	Entalpi	kJ/kg
I	Arus listrik	A
	Laju aliran masa	kg/s
$P_1...P_4$	Tekanan	kPa
	Laju perpindahan kalor	Watt
s	Entropi	kJ/K
S	Salinitas	ppt
V	Tegangan listrik	Volt
Q	Laju kerja	Watt
Huruf Yunani		
μ	Viskositas	Pa.S
ρ	Densitas	Kg/m ³
C	Es Fraksi	%

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pendinginan suatu produk dengan menggunakan sistem refrigerasi telah banyak digunakan hingga saat ini. Mesin pendingin hampir mutlak diperlukan di berbagai tempat seperti perkantoran, institusi pendidikan, perindustrian bahkan di lingkungan perumahan. Banyaknya penggunaan mesin pendingin dikarenakan manfaat yang dapat diperoleh oleh masyarakat salah satunya digunakan untuk mendinginkan atau mengawetkan produk makanan.

Sebagai negara bahari terbesar di dunia, Indonesia memiliki potensi ekonomi pembangunan kelautan yang sangat besar dan beragam. Salah satu sektor ekonomi kelautan yang dapat dikembangkan guna memajukan dan memakmurkan bangsa Indonesia yaitu kekayaan sumber daya hayati yang dapat diperbaharui (hasil-hasil perikanan)

Sebagian besar masyarakat Indonesia adalah berprofesi sebagai nelayan, sehingga diperlukan alat pendingin produk ikan yang praktis dan mudah dalam penggunaannya. Biasanya para nelayan menangkap ikan dilaut berlangsung selama berhari-hari, oleh sebab itu diperlukan pengawet ikan selama belum kembali kedarat untuk dipasarkan. Cara pengawetan ikan yang paling efektif adalah dengan cara didinginkan karena dengan cara ini pertumbuhan bakteri dalam ikan bisa dihambat sehingga kualitas warna, tekstur, aroma dan rasa bisa dipertahankan selama suhu penyimpanan ikan tersebut dijaga.

Sistem pendingin ikan yang berbahan dasar air laut merupakan salah satu solusi yang dapat di gunakan sebagai pendingin tangkapan nelayan. Hal ini dikarenakan pada air laut terdapat kandungan garam yang bersifat sebagai pengawet alami.

I.2 Perumusan Masalah

Dalam proses pembuatan mesin pembuatan *ice slurry* berbahan dasar airlaut diperlukan satu unit mesin pendingin dengan performa yang baik untuk mencapai temperatur dimana air laut dapat membeku. Dalam penelitian ini ,pembuatan *ice slurry* menggunakan mesin pendingin sistem kompresi uap dengan menggunakan dua jenis evaporator yang berbeda yaitu jenis shell in tube yang pada evaporator yang diberi *scraper* sebagai pengaduk dan jenis evaporator banjir (*bath in tube*) dengan menggunakan orbital sebagai pengaduk, sumber daya berasal yang digunakan untuk alat pendingin tersebut berasal dari *generator set*.

I.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh RPM motor pengaduk terhadap karakteristik jumlah *ice slurry*
2. Mengetahui sifat thermofluida *ice slurry* seperti : densitas, Massa es Fraksi dan viscositas
3. Mengetahui Pengaruh RPM terhadap pencapaian freezing point air laut (*chilling Time*).

I.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan terhadap *ice slurry* generator dengan berdasarkan kepada hasil *ice slurry* dan kualitas yang diperoleh, untuk itu penulis memfokuskan bahasan terhadap :

- Metoda penelitian *ice slurry* generator dengan variasi putaran motor
- Kapasitas *ice slurry* generator yang diuji adalah 1,5 PK dan 1 PK
- Jenis evaporator yang digunakan adalah shell in tube dan bath in tube (*scraper blade & Orbital Rod*)
- Jenis pengaduk yang digunakan adalah *scraper Blade* dan *Orbital Rod*
- Variasi konsentrasi salinitas, temperature lingkungan dan beban adalah tetap
- Jenis alat ekspansi yang digunakan adalah Thermostatik Exvansion Valve (TXV)

- Mencatat nilai temperature akhir (freezing point) pada batas waktu tertentu

I.5 Metode Penelitian

Dalam proses pembuatan tugas akhir ini, kami membagi metode kerja agar dapat terselesaikan dengan baik, diantaranya adalah :

1. Studi Pustaka
2. Konsultasi dengan pembimbing
3. Perancangan *ice slurry* generator
4. Pembuatan *ice slurry* generator
5. Pengujian alat ukur
6. Pengambilan, pengolahan, dan analisis data
7. Kesimpulan

I.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut bab-bab sebagai berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang diadakannya penelitian dan dibuatnya skripsi ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang berbagai teori yang mendasari penelitian seperti sistem refrigerasi , *ice slurry* , sifat termofluida ice slury, karakter air laut, beban pendinginan dalam sistem refrigerasi dan pengaruh scraper dalam proses produksi *ice slurry*. Tinjauan pustaka diambil dari beberapa sumber seperti jurnal, buku dan situs internet.

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang proses instalasi *ice slurry* generator mulai dari komponen-komponen yang dibutuhkan untuk instalasi hingga proses pembuatan *slurry ice* generator. Pada bagian ini juga menjelaskan bagaimana proses pengujian system pendinginan air laut mulai dari awal hingga menjadi *ice slurry* dan cara pengukuran parameter yang dibutuhkan .

4. BAB 5 HASIL DAN ANALISA

Hasil dari perhitungan akan ditampilkan pada bab ini, selanjutnya dari hasil pengujian pada system pendingin akan dilakukan perhitungan dan dianalisa dari aspek energi dan biaya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian akhir dari penelitian ini adalah kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan apakah sistem masih sudah berjalan sesuai hipotesis atau masih bisa ditingkatkan lagi performanya. Selanjutnya saran apa yang perlu dilakukan untuk meningkatkan performa dari sistem.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi kompresi uap adalah sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan pada mesin pendingin untuk industri maupun domestik, karena memiliki komponen-komponen yang lebih sederhana jika dibandingkan dengan sistem refrigerasi yang lain. Komponen penyusun sistem refrigerasi pada dasarnya terbagi menjadi dua kelompok. Pembagian ini berdasarkan pada keutamaan dari alat atau komponen-komponennya.

Komponen sistem refrigerasi tersebut adalah :

- Komponen Utama
- Komponen pendukung

Komponen yang keberadaannya mutlak harus ada dalam sistem refrigerasi tersebut dikelompokkan pada komponen utama. Dinamakan demikian karena, jika salah satu komponen tersebut tidak ada maka sistem tidak dapat bekerja sama sekali. Sedangkan komponen pendukung adalah komponen yang apabila tidak terpenuhi maka sistem masih dapat bekerja karena fungsi komponen ini hanyalah sebagai penunjang/pelengkap agar sistem dapat bekerja dengan baik.

Komponen pendukung ini dapat berfungsi sebagai alat kontrol ataupun alat untuk melakukan pengukuran. Jadi untuk dapat menghasilkan kerja sistem yang seimbang dengan efisiensi yang tinggi diperlukan adanya komponen pendukung. Komponen pendukung ini terbagi lagi menjadi dua, yaitu komponen pendukung mekanik dan komponen pendukung kelistrikan. Komponen utama ini terdiri dari:

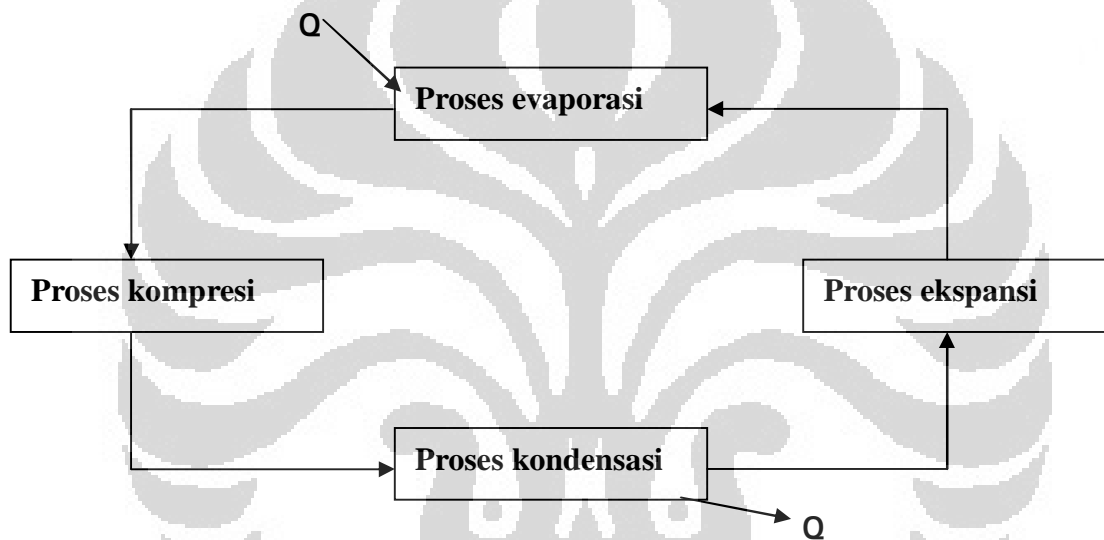
- Kompresor
- Kondensor
- Evaporator
- Katupekspansi

Komponen pendukung terbagi dalam dua kelompok, yaitu:

- Komponen pendukung mekanik
- Komponen pendukung kelistrikan

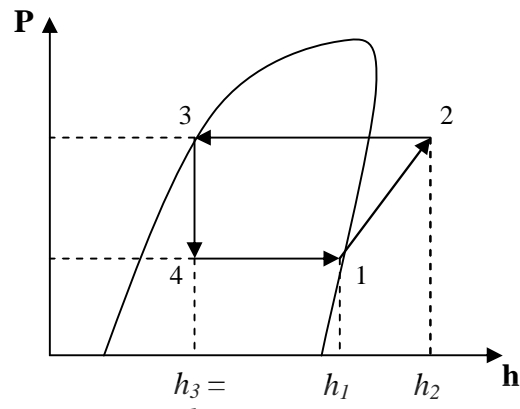
Pada sistem ini menggunakan kompresor sebagai jantung utama dari sistem tersebut yang akan mengubah tekanan uap refrigeran dari tekanan rendah ke tekanan tinggi.

Pada sistem refrigerasi ini refrigeran akan mengalami beberapa proses seperti proses kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi. Gambar 2.1 dibawah, siklus Refrigerasi sederhana seperti tampak dibawah ini :



Gambar 2.1 Diagram Sirkulasi Proses pada Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Proses termodinamika yang terjadi pada sistem refrigerasi kompresi uap dapat digambarkan atau diplotkan pada diagram mollier



Gambar 2.2 Siklus Sistem Refrigerasi Kompresi Uap pada Diagram Mollier [Sumber : Principles Of Refrigeration. Dossat]

Keterangan :

1-2 Proses kompresi (pemampatan)

Proses ini terjadi di kompresor, dimana uap refrigeran yang keluar dari evaporator dengan tekanan dan temperatur yang rendah akan dihisap oleh kompresor melalui saluran *suction* untuk kemudian dimampatkan dan dialirkan melalui saluran *discharge* sehingga tekanan uap refrigeran menjadi tinggi dan temperaturnya pun menjadi tinggi karena tekanan berbanding lurus dengan temperatur sesuai dengan persamaan :

$$P V = R T \quad (2.1)$$

dimana :

P = Tekanan absolut

V = Volume

R = Konstanta gas

T = Temperatur absolut

Proses yang terjadi di kompresor merupakan *isentropik*, yaitu proses dilakukan pada entropi yang konstan dan berdasarkan gambar diagram mollier di atas besarnya kalor yang diperlukan adalah :

$$q_k = (h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

dimana :

q_k = Besarnya kerja kompresor (kJ/kg)

h_1 = Enthalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Enthalpi refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

2-3 Proses kondensasi (pengembunan)

Uap refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan tinggi yang keluar dari kompresor akan diembunkan oleh kondensor sehingga terjadi perubahan fasa dari uap menjadi cair dan terjadi pelepasan kalor dari refrigeran ke lingkungan sehingga temperatur refrigeran cair akan turun.

Proses tersebut terjadi pada keadaan *isobarik* (tekanan konstan), kalor yang dilepas refrigeran di kondensor adalah :

$$(2.3) \quad q_c = (h_2 - h_3)$$

dimana :

q_c = Besarnya kalor yang dilepaskan di kondensor (kJ/kg)

h_2 = Enthalpi refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

h_3 = Enthalpi refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

3-4 Proses ekspansi

Refrigeran yang telah mengalami kondensasi di kondensor akan dialirkan menuju katup ekspansi, dimana pada katup ekspansi ini proses yang terjadi secara *isoenthalpi* atau tidak terjadi perubahan enthalpi tetapi terjadi penurunan temperatur dan tekanan secara drastis dan fasa refrigeran terdiri dari sebagian berfasa cair dan sebagian berfasa gas.

4 -1 Proses evaporasi (pengembunan)

Proses ini terjadi dimana refrigeran akan menyerap kalor dari lingkungan atau media yang akan didinginkan. Hal ini mengakibatkan refrigeran yang berada di evaporator tersebut mengalami perubahan fasa atau mengalami penguapan karena refrigeran pada saat akan menguap membutuhkan kalor yang diserap dari lingkungan atau media yang akan didinginkan. Besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator adalah :

$$q_e = (h_1 - h_4)$$

(2.4)

dimana :

q_e = Besarnya kalor yang diserap di evaporator (kJ/kg)

h_4 = Enthalpi refrigeran pada saat masuk evaporator (kJ/kg)

h_1 = Enthalpi refrigeran pada saat keluar evaporator (kJ/kg)

Berdasarkan besaran-besaran di atas, maka didapatkan berupa nilai prestasi daur kompresi atau yang biasa disebut COP (*Coefficient Of Performance*) sistem. Untuk menghitung besarnya COP aktual digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{aktual}} &= \frac{\text{Efek refrigerasi}}{\text{Kerja kompresor}} \\ &= \frac{q_e}{q_k} \\ &= \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \end{aligned}$$

(2.5)

Sedangkan untuk mencari COP ideal suatu sistem refrigerasi digunakan persamaan COP carnot sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{Carnot}} &= \frac{\text{Temperatur evaporator}}{\text{Temperatur kondensor} - \text{Temperatur evaporator}} \\ &= \frac{T_e}{T_k - T_e} \end{aligned}$$

(2.6)

Dari perbandingan besaran $\text{COP}_{\text{aktual}}$ dan $\text{COP}_{\text{Carnot}}$ tersebut maka akan diperoleh suatu efisiensi sistem refrigerasi dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{COP}_{\text{aktual}}}{\text{COP}_{\text{Carnot}}} \times 100 \quad (2.7)$$

II.1.1 Komponen-komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

II.1.1.1 Komponen Utama

Komponen-komponen utama yang terdapat dalam sistem refrigerasi kompresi uap ini terbagi menjadi lima yaitu :

- a. Kompresor
- b. Kondensor
- c. Katup Ekspansi
- d. Evaporator
- e. Refrigeran

a. **Kompresor**

Merupakan alat untuk mensirkulasikan refrigeran ke seluruh bagian sistem, dimana uap refrigeran bertekanan rendah dari evaporator dihisap oleh *suction compressor*. Kemudian dikeluarkan di *discharge compressor* menjadi uap refrigeran panas bertekanan tinggi.

b. **Kondensor**

Merupakan Merupakan alat pembuang kalor atau alat untuk perpindahan panas, dimana didalam kondensor refrigeran fasa uap bertemperatur tinggi melepaskan kalornya ke media pendingin (air, udara) yang bersentuhan dengan pipa kondensor, sehingga refrigeran mengalami proses pendinginan menjadi saturasi kemudian berkondensasi menjadi fasa cair.

c. **Katup Ekspansi**

Katup ekspansi berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran yang menuju evaporator, selain itu juga menurunkan tekanan dan temperatur cairan refrigeran yang akan masuk ke evaporator. Refrigeran pada saat masuk alat ekspansi berfasa cair dengan temperatur dan tekanan tinggi, sedangkan setelah keluar dari alat ekspansi menjadi campuran antara fasa uap dan fasa cair yang bertemperatur dan bertekanan rendah.

d. Evaporator

Evaporator adalah tempat terjadinya proses penyerapan panas atau proses perpindahan panas dari lingkungan ke refrigeran. Adanya perpindahan panas ini menyebabkan naiknya temperatur refrigeran karena menyerap panas dari lingkungan sehingga temperatur ruang yang dikondisikan akan turun.

Saat masuk evaporator, refrigeran berfasa campuran antara uap dan cair serta bertemperatur dan bertekanan rendah. Sedangkan setelah keluar dari evaporator berubah fasa menjadi uap jenuh yang bertemperatur dan bertekanan rendah.

e. Refrigeran

Refrigeran merupakan fluida yang berfungsi sebagai media penyerap kalor atau sebagai media pendingin. Dimana syarat-syarat refrigeran yang baik adalah :

- Tidak beracun
- Tidak berwarna, tidak berbau dalam semua keadaan.
- Tidak dapat terbakar apabila tercampur dengan zat lain.
- Tidak korosif terhadap logam.
- Dapat bercampur dengan pelumas kompresor tetapi tidak mempengaruhi sifat pelumas.
- Bertitik didih yang rendah, harus lebih rendah dari temperatur evaporator yang direncanakan.
- Bertekekanaan kondensasi yang rendah.
- Bertekanan penguapan yang lebih sedikit dari 1 atm
- Mempunyai kalor laten yang besar.
- Mempunyai spesifik volume cair yang besar.
- Mempunyai spesifik volume uap yang rendah.
- Harganya murah.

II.1.1.2 Komponen Pendukung

a. *Accumulator*

Accumulator berfungsi untuk menjaga agar refrigeran yang akan masuk kompresor berfasa uap dan bertekanan rendah. Selain itu dapat mengamankan kompresor dari *liquid slugging*, yaitu masuknya refrigeran cair ke dalam kompresor pada saat kompresor tidak dihidupkan.

b. *Filter Dryer*

Filter dryer berfungsi untuk menyaring kotoran dan menyerap uap air yang ada dalam sistem, sehingga yang mengalir dalam sistem hanya refrigeran.

c. *Solenoid Valve*

Solenoid valve berfungsi untuk menghentikan atau meneruskan aliran fluida dalam sistem, pengaturannya dilakukan oleh kumparan yang dialiri arus listrik dan dikontrol oleh saklar termostat.

d. *Pressure Gauge*

Pressure Gauge adalah alat pengukur tekanan sistem. Tekanan yang biasa diukur adalah pada sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah.

e. **Pipa Tembaga**

Pipa tembaga merupakan media penghubung atau sebagai saluran refrigeran yang mengalir dari satu tempat ke tempat lain. Dalam sistem refrigerasi, pipa tembaga yang digunakan mempunyai diameter yang berbeda-beda, misalnya untuk saluran *discharge*, *suction* dan *liquid line*.

II.1.1.3 Komponen Kelistrikan

a. *MCB (Mini Circuit Breaker)*

MCB adalah suatu pengaman pemutus rangkaian listrik yang dilengkapi dengan pengaman *bimetal* untuk arus lebih. Jika terjadi kenaikan arus sampai batas maksimal yang diijinkan, maka pengaman tersebut akan bekerja dan arus listrik akan terputus.

a. Kontaktor

Suatu saklar yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian arus dari suplai. Kerja dari alat ini yaitu apabila diberikan energi pada kumparan, akan menggerakkan *plunyer* untuk menarik kontak-kontak kerjanya.

b. Motor Kipas Kondensor

Motor ini berfungsi untuk menggerakkan kipas kondensor dalam pendinginan refrigeran pada kondensor.

c. HLP (High Low Pressure)

HLP berfungsi sebagai pengaman kompresor. Prinsip kerja alat ini berdasarkan tekanan saluran hisap dan buang kompresor. Jika tekanan pada saluran hisap kurang dari tekanan yang sudah di *setting*, maka arus akan terputus dan kompresor tidak bekerja. Dan jika tekanan pada saluran buang melebihi tekanan *setting*, maka arus akan terputus.

d. Lampu Indikator

Lampu indikator berfungsi untuk mengidentifikasikan suatu keadaan tertentu.

e. Saklar

Saklar berfungsi sebagai penghubung atau pemutus arus listrik ke rangkaian.

II.2 Ice slurry

Ice slurry merupakan fluida pendingin (secondary refrigerant) yang terbentuk oleh proses kristalisasi es dan dapat digunakan langsung untuk pendinginan produk ataupun sebagai penyimpanan panas (thermal energy storage).

Ice slurry memiliki karakteristik yang flexible dalam penanganannya dan dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan dan aplikasinya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara pengaturan presentase konsentrasi es slurry, sebagai contoh pada konsentrasi es 20-25% karakteristik ice slurry sama seperti *conventional chiller* yang mana bentuk *ice slurry* tersebut cair dan mampu alir juga dapat didistribusikan dengan menggunakan pompa, pada konsentrasi es 65-75% *ice slurry* berbentuk seperti es krim yang sangat lembut, pada konsentrasi 100% (kering) *ice slurry* tidak mampu tuang dan berbentuk Kristal, dapat digunakan untuk pendinginan langsung ataupun proses penyimpanan.

II.2.1 Produksi *Ice slurry*

- **Kristalisasi**

Istilah Kristalisasi *ice slurry* adalah proses pembentukan butiran-butiran dari air laut menjadi *ice slurry* dimana terdapat fenomena termo-fisik yang menyebabkan partikel air mengendap karena proses pendinginan melewati titik jenuh. Proses kristalisasi terdiri dari dua tahap yaitu nukleasi dan propagasi/pertumbuhan kristal (*crystal growth*). Interaksi antara nukleasi dan pertumbuhan kristal menentukan karakteristik kristal yang terbentuk seperti ukuran, distribusi dan morfologi dari Kristal. Ukuran dari kristal sangat dipengaruhi oleh laju kristalisasi, proses pendinginan yang cepat akan menghasilkan ukuran kristal yang kecil dan jumlah yang banyak. Sebaliknya proses pendinginan yang lambat akan menyebabkan ukuran kristal lebih besar dengan jumlah yang sedikit.

- **Nukleasi**

Nukleasi adalah peristiwa pembentukan inti kristal (nuklei) yang mendahului peristiwa kristalisasi. Nukleasi merupakan hasil dari status metastabil yang terjadi setelah supersaturasi akibat dari penurunan suhu larutan. Nukleasi dapat terjadi secara homogen atau heterogen. Nukleasi homogen terjadi dimana molekul bahan saling menyusun dan membentuk nuklei tanpa adanya keberadaan zat asing. Nukleasi heterogen terjadi akibat keberadaan zat asing (karena ketidak-murnian). Zat asing tersebut menyebabkan penurunan energi yang dibutuhkan untuk pembentukan nucleus kritis dan karenanya dapat memfasilitasi terbentuknya kristal. Peranan supersaturasi atau *super-cooling* lebih sedikit pada nukleasi heterogen dibandingkan pada nukleasi homogen. Terdapat dua tipe nukleasi yaitu nukleasi primer dan nukleasi sekunder.

- Nukleasi primer

Nukleasi primer adalah peristiwa awal pembentukan inti kristal (nuklei) yang terbentuk secara spontan. Pada nukleasi primer, pembentukan kristal tidak dipengaruhi oleh kristal lain. Total energi yang dibutuhkan untuk membentuk nukleasi primer adalah energi untuk membentuk permukaan kristal dan energy yang dibutuhkan untuk membentuk volume kristal. Model dari energi yang dibutuhkan berdasarkan penelitian (mullin,2001) adalah:

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta G_s + \Delta G_v \\ &= 4\pi r^2 \sigma + 4/3 \pi r^3 \Delta G_v\end{aligned}$$

(2.8)

Dimana :

- ΔG = kelebihan energi total ,J
 ΔG_s = kelebihan energi bebas pada permukaan,J
 ΔG_v = kelebihan energi bebas pada volume,J
 ΔG_v = perubahan energi bebas persatuan volume, J m³
 σ = energi permukaan partikel per unit area, J m²
 r = radius partikel kristal, m

Jumlah nuklei stabil yang terbentuk digambarkan ke dalam persamaan(Gibbs, 1948; Kashchiev & van Rosmalen, 2003; Mersmann, 2001a; Mullin, 2001) :

$$B = A \exp \left(\frac{\Delta G_c}{kT} \right)$$

(2.9)

$$A = z f^* C_0$$

(2.10)

Dimana:

- k = konstanta boltzman, 1.38×10^{-23} J/K
 T = Temperatur, K
 f^* = frekuensi monomer yang di tambahkan ke nuklei
 C_0 = konsentrasi situs nukleasi
 Z = faktor ketidakstabilan
 ΔG_c = Energi bebas kritis, J

- Nukleasi sekunder

Nukleasi sekunder terjadi akibat telah adanya kristal zat yang memang diinginkan untuk mengkristal. Nukleasi sekunder membutuhkan gaya dari luar, seperti pengadukan terhadap larutan jenuh. Nukleasi sekunder dapat juga terjadi sebagai akibat pengurangan ukuran kristal secara mekanis, yang dapat terjadi karena adalah gaya regang. Pada nukleasi sekunder, Kristal kecil dapat membesar dan melebihi ukuran kritis dari nucleus stabil. Laju pembentukan permukaan nukleasi sekunder adalah sebagai berikut (mersman,2001):

$$B_s = \frac{D_{AB}}{d_m^4} \text{Exp} \left(\pi \frac{-\gamma_{CL}^2 d_m^4}{KT^2 v \ln s_{met,s}} \right) \quad (2.11)$$

Dengan :

B_s = laju pembentukan permukaan nukleasi sekunder,

D_{AB} = Difusivitas, m²/s

D_m = Diameter molekul, m

γ_{CL} = Tegangan permukaan, N/m

V = Jumlah molekul

S_{met} = supersaturasi relative

- **Propagasi (pertumbuhan kristal)**

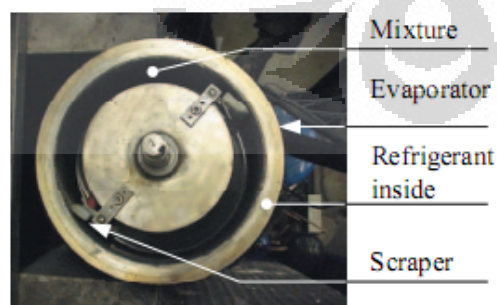
Langkah selanjutnya dari nukleasi adalah pertumbuhan kristal. Kristal dapat bertumbuh jika molekul-molekul dapat berdifusi ke permukaan nucleus yang sedang bertumbuh . Laju proses pertumbuhan ini sangat sensitive terhadap tingkat super-jenuh dan super dingin, suhu, dan keberadaan zat asing. Untuk peristiwa kristalisasi penggerak (*driving force*) berupa penurunan temperatur seperti proses pengkristalan air, faktor yang dikontrol adalah laju perpindahan kalor (mullin,2001).

II.2.2 Ice slurry Generators

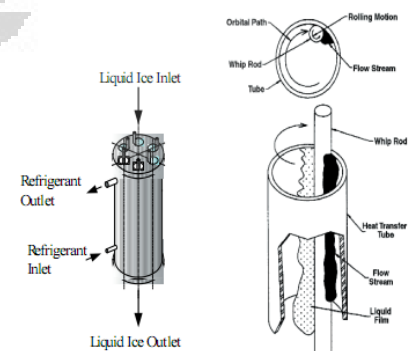
Tidak ada tipe *ice slurry generator* yang dapat cocok untuk seluruh situasi. Digunakan *ice slurry generator* yang berbeda untuk aplikasi yang berbeda pula. Secara umum, *ice slurry generator* yang ideal ialah mesin yang mampu memproduksi kristal es dengan ukuran yang sesuai dan diinginkan dengan *rates* perpindahan kalor yang tinggi, tanpa ada penggumpalan pada dinding *heat exchanger*. Berikut merupakan beberapa *ice slurry generator* yang masih banyak digunakan :

1. *Mechanical-scrapers* type dengan:
 - *rotating knives* atau *scrape blades* (Gambar 2.4 (a))
 - *rotating cylindrical slabs* (Gambar 2.4 (b))
 - *rotating brushes*
 - *screws* (Gambar 2.4 (c))
2. *Vortex flow type*.
3. *Direct-injection* atau *direct heat exchanger type* (Gambar 2.5 (d)).
4. *Fluidized-bed ice generator* (Gambar 2.6 (e), (f)).

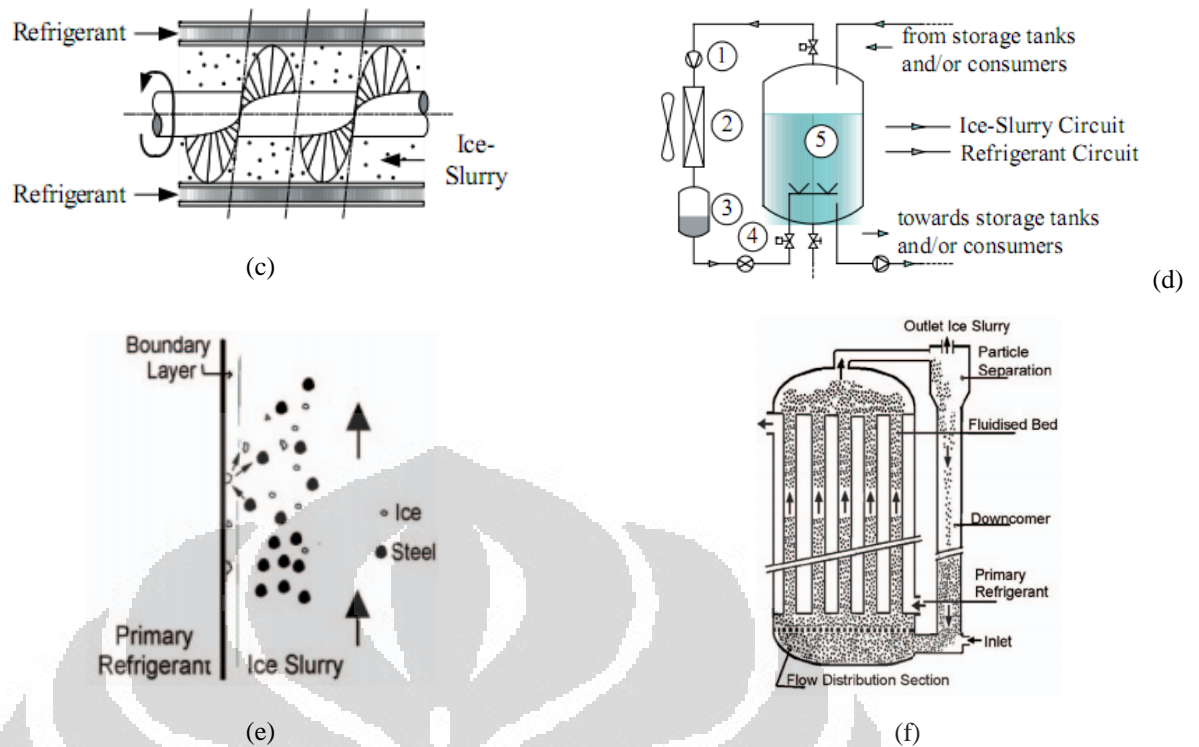
Pada *ice slurry generator* dengan tipe *mechanical scraper*, *refrigerants* melakukan evaporasi pada sebuah tabung yang memiliki dinding ganda, sisi dalam, yang dibatasi dengan silinder bagian dalam, merupakan tempat air atau bahan baku *ice slurry* mengalir. Di bagian ini, kristal es terbentuk pada bagian dinding dalam dan dilepaskan oleh *scraper-scraper* yang berputar. Kristal es ini kemudian terjatuh ke dalam suspensi larutan dan menyatu sehingga fraksi es meningkat. Tipe *ice slurry generator* inilah yang digunakan dalam penelitian ini.



(a)



(b)



Gambar 2.3 Beberapa jenis dari *ice slurry generator*. (a) Scraped-surface *ice slurry generator*. (b) Orbital rod *ice slurry generator*. (c) Srews *ice slurry generator*. (d) *Ice slurry generator* tipe direct contact evaporation. (e) Mekanisme pelepasan partikel es pada sistem fluidized bed generator. (f) Fluidized-bed ice generator.

(Sumber: Kauffeld et al, *Handbook on ice slurries*, 2005)

II.3. Air laut

Air laut adalah kumpulan air asin yang ada di perairan planet bumi. Air laut merupakan fluida terbanyak di planet bumi, berdasarkan penelitian dari Matthew Charette, ilmuwan di *Department of Marine Chemistry and Geochemistry*, jumlah seluruh air laut di bumi diperkirakan mencapai 1,332 miliar kilometer kubik. Rata-rata kandungan utama dari air laut berupa 96,5 % air murni dan 3,5 % lainnya berupa campuran lainnya seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahanbahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Sifat fisik air laut sendiri ditentukan oleh kandungan air murni yang 96,5%. Ada beberapa sifat air laut yang mempengaruhi karakteristik air laut seperti densitas, kadar garam (salinitas), titik beku dan tekanan di tiap tempat tertentu.

II.3.1. Salinitas

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air, yaitu jumlah berat total (gr) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut (g/Kg) [Wibisono, 2004] satuan salinitas adalah *part per thousand* (ppt) atau bisa juga disebut dengan psu (*practical salinity unit*). Kadar salinitas menentukan jenis perairan di suatu lokasi, perairan dengan kadar salinitas <0,05% tergolong kedalam kelompok air tawar, kadar salinitas 0,05-3 % masuk ke dalam golongan air payau, salinitas 3-5% masuk ke golongan air *saline* dan jika kadar garamnya diatas 5% maka sudah termasuk ke dalam golongan air *brine*. Tingkat salinitas di tiap lokasi perairan dunia berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu insolasi, presipitasi dan evaporasi. Insolasi adalah energi matahari yang berbentuk cahaya dan panas yang mempengaruhi temperatur air laut. Presipitasi adalah kondensasi uap air di udara yang bercampur di laut, sedangkan evaporasi adalah penguapan air laut ke udara.

II.3.2. Densitas

Densitas/massa jenis adalah besar massa suatu benda yang terkandung dalam satu satuan volume (1 liter). Untuk air laut besar densitasnya diukur dengan menimbang air laut sebanyak 1 liter. Masa tiap 1 liter air laut tersebut disebut dengan densitas. Pada umumnya nilai densitas air laut berkisar antara 1,02 - 1,07 gr/cm³ atau 1020 gr/L – 1070 gr/L akan bertambah sesuai dengan bertambahnya salinitas serta berkurangnya temperatur.

II.3.3 Viskositas

Salah satu metode yang paling akurat dalam menentukan viskositas *ice slurry* model yang dibuat oleh Thomas(1985):

$$\mu_{is} = \mu_{cf} (1 + 2.5 C_{is} + 10.05 C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6 C_{is})})$$

(2.12)

dimana :

μ_{is} = viscositas dynamic *ice slurry* (Pa.s)

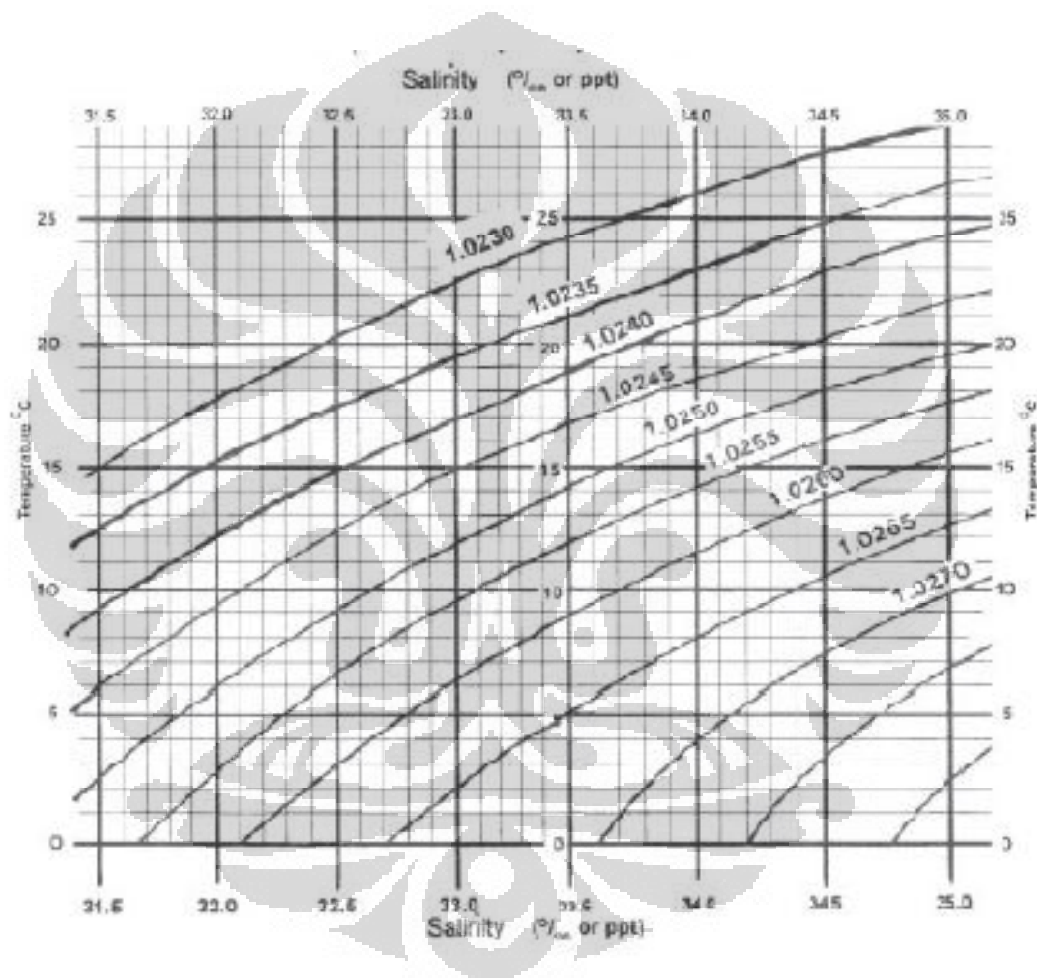
μ_{cf} = viscositas larutan (Pa.s)

C_{is} = Fraksi *Ice slurry* (%)

II.3.4. Titik Beku

Titik beku air laut bergantung pada nilai salinitas dan densitas. Gambar 2.8 adalah tabel hubungan antara densitas, salinitas pada temperatur tertentu. Persamaan nilai titik beku air laut (dalam °C) juga merupakan fungsi dari salinitas dan tekanan (kedalaman).

$$T_f S, P = -0.0575 S + 1.710523 \times 10^{-3} S^{3/2} - 2.154996 \times 10^{-4} S^2 - 7.53 \times 10^{-3} P \quad (2.13)$$



Gambar 2.4. hubungan densitas terhadap salinitas dan temperature

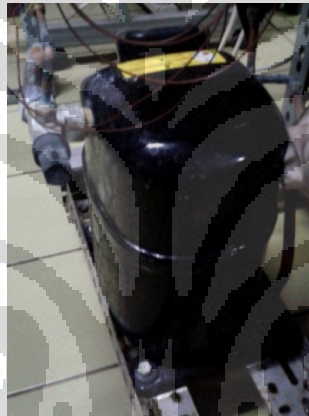
BAB III

SPEKIFIKASI *ICE SLURRY* GENERATOR DAN METODE PENGOLAHAN DATA

III.1 Perangkat Instalasi *Ice slurry Generator*

III.1.1 Kompresor

Kompresor yang digunakan merupakan kompresor *hermetic* bermerk Tecumseh dengan daya 1,5 HP dan 1 HP. Kompresor ini berkerja pada tegangan 220-240 V/50 Hz



Gambar 3. 1 Kompresor yang digunakan untuk *ice slurry generator*.

III.1.2 Kondenser

Kondenser yang digunakan masih sama dengan *ice slurry generator* sebelumnya, yaitu kondenser unit *AC window* dengan 19 belokan yang masing-masing memiliki panjang 42 cm dan diameter 3/8 inch. *Fan* yang digunakan ialah Maspion Elektrik 19 W.

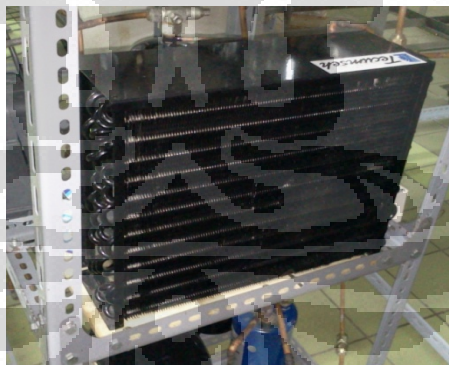


Gambar 3. 2 Fan kondensor merk Maspion Elektrik 19 W.



Gambar 3. 3 koil kondensor

Sementara untuk kondensor yang satunya lagi memiliki dimensi 40x12x30 cm dengan merk techumseh.



Gambar 3. 4 kondensor merk techumseh

III.1.3 Alat Ekspansi

Alat ekspansi yang digunakan ialah berupa *Thermal Expansion Valve* merk Danfos, Model TR1 orifice 02 untuk kapasitas maximum 1 TR.



Gambar 3.5 TXV merk Danfos.

III.1.4 Evaporator

Evaporator pada *ice slurry generator* merupakan tangki generator, yaitu sebuah tabung dengan material dinding dalam berupa *stainless steel* berdiameter 260 mm dengan tebal dinding dalam 1 mm. Tangki ini dililit dengan pipa tembaga menyerupai evaporator tipe tabung dan koil. Pada bagian tengah tangki ini dilapisi dengan *expanded polyurethane* 60 mm dan kemudian pada dinding bagian paling luar dilapisi plat alumunium. Desain seperti ini dirancang agar memaksimalkan proses perpindahan kaor dari evaporator ke beban pendinginan. Secara keseluruhan tangki generator ini memiliki volume sebesar 0.016 m³. Pada bagian bawah tangki generator ini terdapat saluran keluar *ice slurry* yang telah jadi berupa selang yang menjulur ke bawah yang dikontrol dengan *gate valve*. Tangki generator ini juga dilengkapi dengan *auger shaft* sebagai pengaduk dan pemecah es sehingga padatan yang terbentuk akan hancur dan menjadi serbuk. *Auger shaft* pada tangki generator ini juga dilengkapi dengan tiga buah *scraper* bermaterial *high density polyurethane*. Material ini dipilih karena bersifat tahan karat, memiliki perbandingan densitas dan *strength* yang cukup kuat, lebih lembut dari logam *stainless steel*, dan memiliki ketahanan terhadap *wear* yang baik. yang berfungsi untuk meningkatkan perpindahan kalor dengan cara menyapu atau menghancurkan lapisan *mushy* yang terbentuk pada dinding dalam tangki generator.



(a)



(b)

Gambar 3. 6 (a) Evaporator berupa tangki generator. (b) *Auger shaft* yang dilengkapi dengan *scrapper*.

Evaporator satunya lagi merupakan type evaporator banjir (bath in tube) dengan pengaduk model orbital rod dengan dimensi : $T=1.2$ M, $D=0.0635$ dan Volume total = 0.0037 M³.

Konstruksi evaporator tersebut terdiri dari dinding luar dan dinding bagian dalam dengan material stainless steel, pengaduk orbital rod menggunakan material stainless steel.



(a)



(b)

Gambar 3. 7 (a) **Evaporator berupa tangki generator.** (b) **Motor pemutar *orbital rod***

3.1.5 Filter Dryer

Filter dryer yang digunakan masih sama seperti *filter dryer ice slurry generator* sebelumnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. *Filter dryer* yang digunakan ialah merk Emerson/EK 163 dengan kemampuan *refrigerant* CFC, HCFC, dan HFC. Alat ini berfungsi untuk menyingkirkan partikel-partikel yang berpotensi merusak sistem ketika beroperasi, seperti logam, debu, kotoran, hingga partikel yang dapat larut yang mungkin masuk ke dalam sistem ketika proses instalasi alat berlangsung.



Gambar 3. 1 *Filter dryer* yang digunakan pada sistem *ice slurry generator*.

3.1.6 Sistem Pengamanan

Sistem pengaman yang digunakan pada perangkat *ice slurry generator* ini ialah berupa *hi-lo pressure control* merk Danfoss. Alat ini berkerja dengan cara memutuskan rangkaian listrik sehingga kompresor berhenti. Kompresor akan berhenti

berkerja jika tekanan berada diluar batas tekanan yang diijinkan. Pada perangkat kali ini nilai batas bawah yang diijinkan ialah (*cut in*) sebesar 0 bar dan nilai batas atas (*cut out*) sebesar 24 bar. Perangkat sistem pengamanan ini dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 2 *Hi-lo pressure control* merk Danfoss.

3.1.7 Perangkat Mekanik

Perangkat mekanik ini merupakan mekanisme yang digunakan untuk memutar *auger shaft* sehingga dapat menghasilkan *ice slurry*. Perangkat ini berupa motor listrik yang putarannya ditransmisikan dengan menggunakan *flat belt* yang menghubungkan *pulley* pada poros motor dan *pulley* pada *auger shaft*. Motor ini merupakan motor merk New Power berdaya 1 HP dengan tegangan 180V/5,1A yang dapat diatur kecepatannya hingga mencapai 3000 rpm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



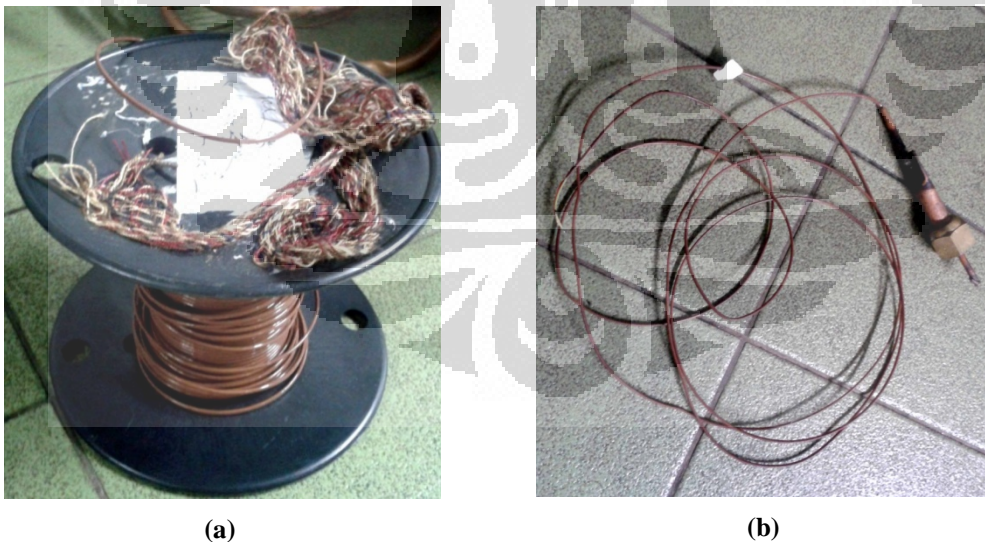
Gambar 3. 3 Motor yang digunakan untuk memutar *auger shaft*.

3.1.8 Alat Ukur

Pada penelitian kali ini, ada beberapa parameter fisik yang ingin diketahui, yaitu temperatur, tekanan, arus kompresor, tegangan kompresor, putaran motor, dan salinitas air laut. Parameter fisik ini nantinya akan diolah untuk dianalisis lanjut sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai oleh penelitian.

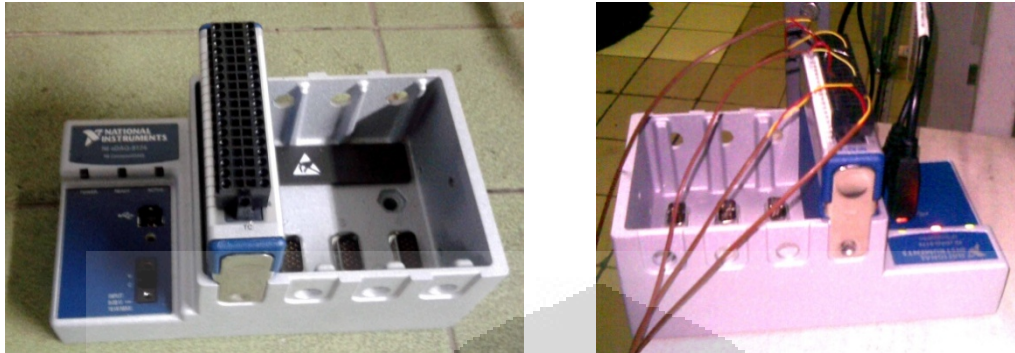
3.1.8.1 Alat Ukur Temperatur.

Pada penelitian kali ini, ada lima titik pada sistem refrigerasi yang ingin diukur nilai temperaturnya mempergunakan termokopel tipe-K dengan material pembentuknya adalah Kromel (Nikel-Kromium) dan Alumel (Nikel-Alumunium), termokopel menggunakan prinsip efek Seebeck dalam pengukuran temperatur, dengan pembangkit tegangan sebagai fungsi dari gradien temperatur. Nilai dan fungsi dari gradien temperatur tersebut bergantung pada jenis komposisi material termokopel yang digunakan. Ujung termokopel yang berupa sensor kemudian dibuat sedemikian rupa hingga bersifat fleksibel dan dapat dibongkar pasang (*inserted termocouple*) pada sistem menggunakan cover berupa pipa kapiler tembaga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 (b). Dikarenakan termokopel mengalami perlakuan panas, maka termokopel harus dikalibrasi terlebih dahulu.



Gambar 3. 4 (a) *Bare thermocouple*. (b) Termokopel yang telah diberi *cover* berupa pipa kapiler tembaga pada ujung sensornya.

Karena output dari termokopel berupa tegangan (mV), maka untuk membacanya digunakan data akuisisi. Data akuisisi yang digunakan ialah National Instrument. Alat ini harus digunakan berpasangan dengan modul converter-nya.



Gambar 3. 5 Data aquisisi yang digunakan, yaitu DAQ produksi *National Instrument*.

Spesifikasi data akuisisi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Modul Name : *National Instrument NI 9174*

Converter Name : *LabView 8.5*

Input Range : *50 nA*

Thermocouple Range : *J, K, T, E, N, B, R, S*

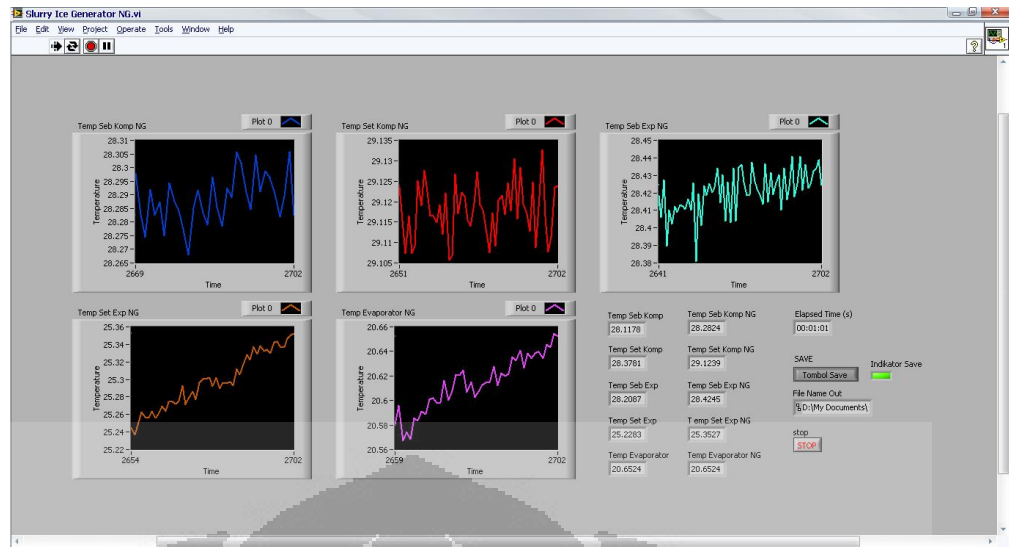
Temperature Range : *Depend on Thermocouple*

Channel Number : *4*

Output to PC : *USB hub*

Working Voltage : *0,08 Volt*

Data akuisisi ini menggunakan *software* sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi Windows XP yaitu LabView 8.5 untuk pengambilan data dan menghasilkan *output* berupa file notepad (.lvm).



Gambar 3. 6 *Interface* yang terdapat pada LabView 8.5.

3.1.8.2 Alat Ukur Tekanan

Tekanan pada titik-titik yang ditentukan diukur menggunakan Pressure gauge. Pengukuran dilakukan berdasarkan selisih antara tekanan mutlak dengan tekanan atmosfer. Pressure gauge yang digunakan dalam instalasi sistem ini berjumlah empat buah, yaitu dua buah high pressure gauge (0 – 35 bar atau 0 – 500 psi) dan dua buah low pressure high (0 – 17.5 bar atau 0 – 250 psi). High pressure gauge terpasang pada setelah kompressor dan sebelum alat ekspansi, sedangkan low pressure gauge dipasang pada sebelum kompressor dan setelah alat ekspansi. Pressure gauge yang digunakan ialah jenis tabung bourdon, yaitu perangkat perangkat yang terdiri dari pipa pegas melingkar dan pegas yang terbuat dari kuningan atau baja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 7 *Pressure gauge* yang digunakan dalam sistem.

3.1.8.3 Alat Ukur Kelistrikan

Untuk mengetahui besarnya arus listrik yang digunakan oleh kompresor, digunakan alat ukur, yaitu clampmeter. Pengukuran dilakukan dengan cara melingkari kabel tunggal dengan clamp dan pembacaan dilakukan dengan melihat tampilan pada display. Clampmeter yang digunakan ialah Krisbow model KW06-287.



Gambar 3. 8 *Clampmeter* yang digunakan untuk mengetahui arus kompresor.

3.1.8.4 Alat Ukur Putaran Motor

Putaran motor diukur menggunakan *tachometer* digital tipe non kontak yang dapat mengenali tanda pada benda yang bergerak. Tanda yang berupa stiker berwarna perak diletakkan pada sisi atas *pulley*. *Tachometer* akan mendeteksi putaran dari tanda yang berputar bersama *pulley* tersebut sehingga dapat diketahui putaran dari *auger shaft*. *Tachometer* yang digunakan merupakan produksi Ono Sokki tipe HT-4100 dengan batas pengukuran 30 – 50000 rpm.



Gambar 3. 9 *Tachometer* yang digunakan untuk mengukur putaran motor.

3.1.8.5 Alat Ukur Salinitas Air Laut

Nilai salinitas air laut diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari air laut sebagai bahan baku pembuat *ice slurry*. Alat yang digunakan merupakan alat sederhana yang biasa digunakan untuk mengetahui salinitas pada akuarium air laut. Alat ukur yang digunakan merupakan *salinity hydrometer* produksi Warmtone dengan *range* pengukuran salinitas 0 – 40 ppt. Cara kerja alat ini ialah dengan menggunakan

gaya apung yang membuat jarum penunjuk menunjuk ke indikator salinitas. Gambar 3.17 menunjukkan *salinity hydrometer* yang digunakan.



Gambar 3. 10 (a) *Salinity hydrometer* yang digunakan untuk mengetahui nilai salinitas air laut yang digunakan.
(b) Jarum indikator menunjukkan salinitas sebesar 33 ppt dengan nilai *specific gravity* sebesar 1,0245.

3.2 Prosedur Pengambilan Data

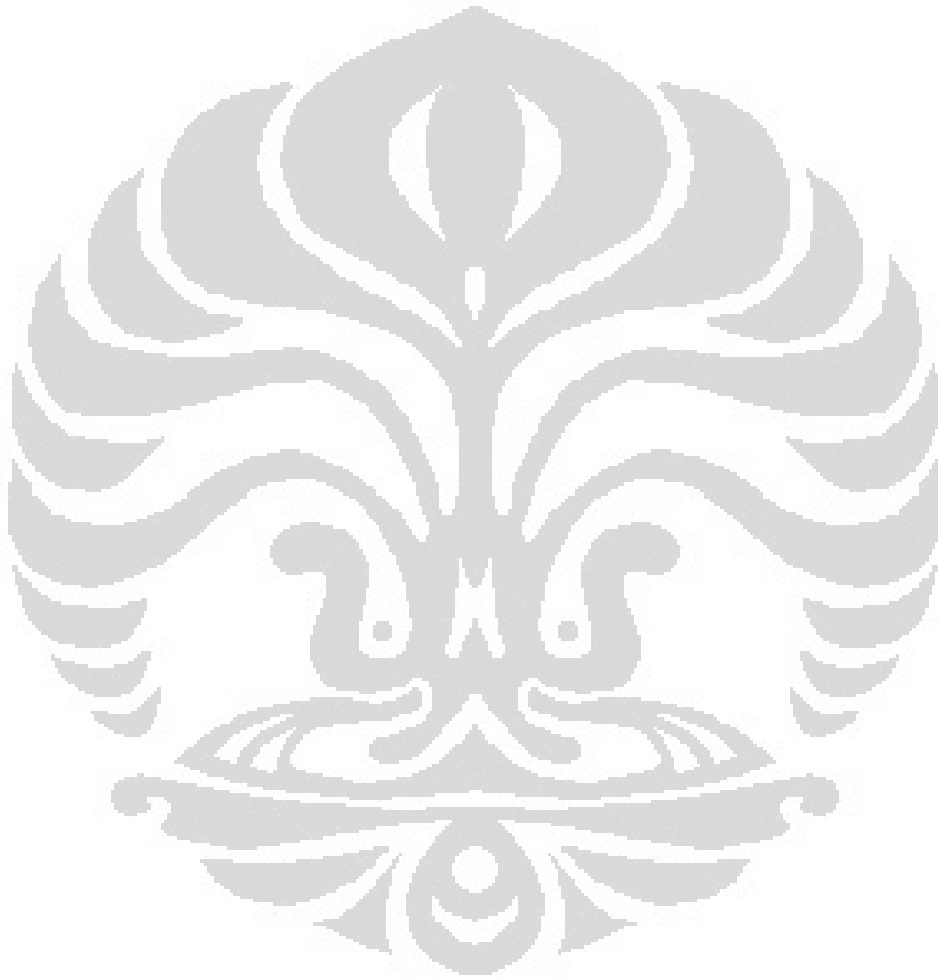
Pengujian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Refrigerasi lantai 3 Departemen Teknik Mesin FTUI. Prosedur pengambilan data menjelaskan langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan data-data yang sesuai. Sebelum menjalankan percobaan lakukan pengecekan pada sambungan kabel listrik dan tekanan sebelum operasi kompresor. Pastikan juga *gate valve* pada saluran tangki reservoir dengan tangki generator dan saluran keluar *ice slurry* pada tangki generator dalam keadaan tertutup. Prosedur pengambilan data yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Siapkan perlengkapan dan peralatan yang akan digunakan.
2. Isi tangki reservoir dengan bahan baku air laut sejumlah kapasitas yang diinginkan.

3. DAQ (NI 9174) terhubung pada komputer, buka program LabView 8.5 yang telah dibuat dan pastikan setiap termokopel terhubung pada pin yang tepat sesuai dengan yang dihubungkan di DAQ.
4. Nyalakan sumber tegangan dan arus di *panel box*.
5. Nyalakan sistem refrigerasi dengan cara memutar saklar yang ada di *panel box*, dimulai dengan kipas kondenser lalu kemudian kompresor. Apabila keduanya berjalan maka lampu indikator pada *panel box* akan menyala.
6. Alirkan air laut dari tangki reservoir ke tangki generator
7. Setelah tekanan dan temperatur stabil (sekitar 3 menit), mulailah mengambil data dengan cara mengklik “Tombol Save” pada *interface* LabView 8.5. Data temperatur akan otomatis tercatat secara berkala.
8. Catat parameter tekanan pada setiap titik dengan cara membaca *pressure gauge* secara manual setiap 15 menit sekali.
9. Lingkarkan *clampmeter* pada salah satu kabel yang menghubungkan kompresor dengan *panel box* untuk membaca arus yang dipakai kompresor setiap 15 menit sekali.
10. Catat juga data tegangan yang terbaca di indikator tegangan pada *panel box* setiap 15 menit sekali.
11. Apabila temperatur air laut sudah mencapai suhu 10°C , maka motor dinyalakan dengan terlebih dahulu diatur kecepatannya menggunakan *switch* yang ada di *panel box*.
12. Lakukan pengambilan data tersebut dengan variasi RPM 70, 90, 110, 130. Gunakan *tachometer* untuk memastikan putaran motor.
13. Apabila suhu air laut di dalam evaporator telah menunjukkan *steady* (dibawah titik beku -1.423°C) maka hentikan percobaan dan keluarkan *ice slurry* yang telah jadi.
14. Ukur massa *ice slurry* yang dihasilkan dengan menggunakan timbangan digital, serta catat volumenya.
15. Lakukan prosedur yang sama untuk ISG model orbital Rod dan pastikan pompa sirkulasi dalam keadaan *on* selama system berjalan.

3.3 Variasi Pengambilan Data

Tujuan pada penelitian kali ini adalah untuk mengetahui hasil optimum dari *ice slurry* (baik jumlah ataupun kualitas) dengan menggunakan variasi pengaduk pada RPM 70, 90, 110 dan 130. Untuk melihat hasil tersebut dapat dilakukan perhitungan nilai massa jenis, viscositas serta konsentrasi *ice slurry* yang didapat. Selain perhitungan tersebut hasil *ice slurry* juga dapat dilihat secara fisik dengan mata telanjang untuk melihat jumlah dan kualitas yang didapatkan, dilakukan juga pengukuran pengaruh RPM terhadap chilling time.



BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui apakah kecepatan motor pemutar (RPM) yang digunakan untuk membuat *ice slurry* berpengaruh terhadap hasil baik jumlah maupun kualitas dari *ice slurry*. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan menggunakan variasi RPM yang berbeda-beda diantaranya : RPM 70, 90, 110, dan 130. Dengan menjaga konstan parameter lainnya seperti waktu, temperature ruangan (dijaga 26°C), konsentrasi salinitas dan volume beban *ice slurry*.

IV. 1 Pengolahan Data

IV. 1. 1 Titik Beku Air Laut

Titik beku air laut digunakan sebagai parameter lama waktu produksi *ice slurry*. Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, titik beku air laut merupakan fungsi dari salinitas dan tekanan air laut. Berdasarkan alat ukur salinitas, salinitas benda uji ialah sebesar 26 ppt dengan tekanan sebesar 1,01325 bar (evaporator tidak tertutup rapat). Titik beku air laut dapat diestimasi menggunakan persamaan (2.9) dan didapatkan titik beku air laut benda uji ialah sebesar -1.421°C.

IV.1.2 Perhitungan Massa Ice Fraction

Massa es fraksi dapat dihitung dengan :

$$c = \frac{\rho_{ice} (\rho_{cf} - \rho)}{\rho (\rho_{cf} - \rho_{ice})}$$

Dimana :

C = massa ice fraksi

ρ = Densitas es Slurry berdasarkan hasil pengukuran

ρ_{es} = densitas es murni dibawah temperatur 0° C, kg/m³

ρ_{cf} = densitas campuran, kg/m^3

untuk mendapatkan nilai densitas es murni dibawah temperatur 0°C dapat diestimasi dengan persamaan:

$$\rho_{es} = \rho_0 + aT$$

dimana :

ρ_0 = Densitas es pada temperatur 0°C , 917 kg/m^3

a = $1,73 \times 10^{-4}$

T_{so} = Temperatur *ice slurry* ($^\circ\text{C}$)

IV.1.2.1 Perhitungan Massa *Ice Fraction* ISG Model *Scraper Blade*

1) RPM 130

$$\begin{aligned}\rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot -2) \\ &= 916.9 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

ρ_{cf} = 1020.95 kg/m^3 (table properties sea water)

ρ = 968.8 kg/m^3 (perhitungan berdasarkan hasil pengukuran)

$$\begin{aligned}c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 916.9/968.8 \cdot ((1020.95 - 968.8) / (1020.95 - 916.9)) \\ &= 0.47 \approx 47\%\end{aligned}$$

1) RPM 110

$$\begin{aligned} \rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot -2) \\ &= 916.9 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{cf} &= 1020.95 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water}) \\ \rho &= 957.85 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 916.9/957.85 \left((1020.95 - 957.85) / (1020.95 - 916.9) \right) \\ &= 0.58 \approx 58\% \end{aligned}$$

2) RPM 90

$$\begin{aligned} \rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot -2) \\ &= 916.9 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{cf} &= 1020.95 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water}) \\ \rho &= 969.59 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 916.9/969.59 \left((1020.95 - 969.59) / (1020.95 - 916.9) \right) \\ &= 0.47 \approx 47\% \end{aligned}$$

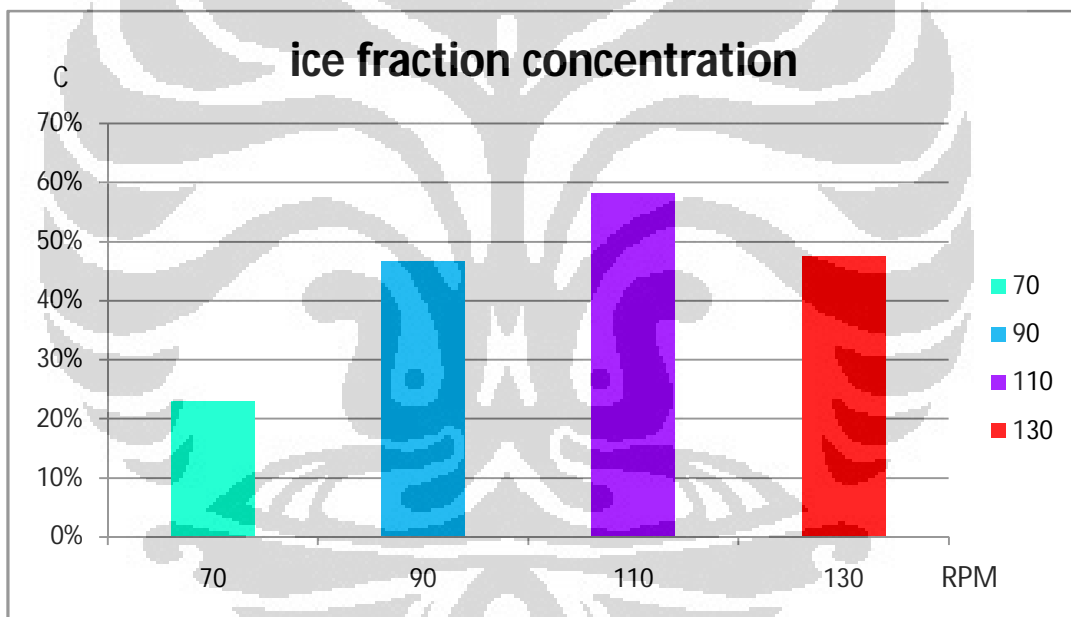
1) RPM 70

$$\begin{aligned}\rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot -2) \\ &= 916.9 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\rho_{cf} = 1020.87 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water})$$

$$\rho = 994.8 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran})$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 916.9/994.8 \left((1020.87 - 994.8) / (1020.87 - 916.9) \right) \\ &= 0.23 \approx 23\%\end{aligned}$$



Gambar 4.1 Grafik perbandingan massa es fraksi ISG Model Scraper Blade

IV.1.2.2 Perhitungan Massa *Ice Fraction* ISG Model *Orbital Rod*

1) RPM 130

$$\begin{aligned}\rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot 0) \\ &= 917 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\rho_{cf} = 1020.8 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water})$$

$$\rho = 1004.7 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran})$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 917 / 1004.7 \left((1020.8 - 1004.7) / (1020.8 - 917) \right) \\ &= 0.14 \approx 14 \%\end{aligned}$$

2) RPM 110

$$\begin{aligned}\rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot 0) \\ &= 917 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\rho_{cf} = 1020.8 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water})$$

$$\rho = 1008 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran})$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 917 / 1008 \left((1020.8 - 1008) / (1020.8 - 917) \right) \\ &= 0.11 \approx 11 \%\end{aligned}$$

1) RPM 90

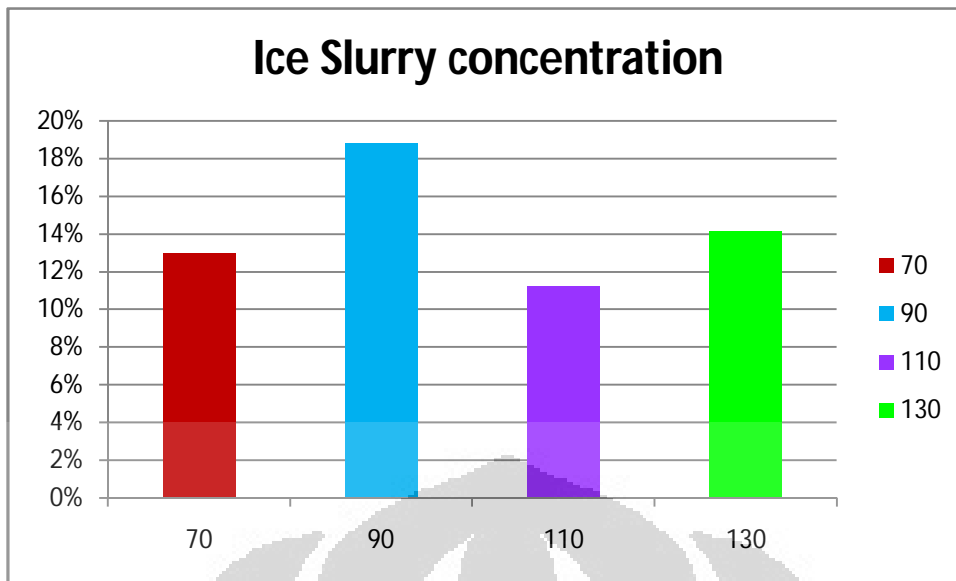
$$\begin{aligned} \rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot 0) \\ &= 917 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{cf} &= 1020.8 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water}) \\ \rho &= 999.5 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 917 / 999.5 \cdot ((1020.8 - 999.5) / (1020.8 - 917)) \\ &= 0.19 \approx 19 \% \end{aligned}$$

2) RPM 70

$$\begin{aligned} \rho_{es} &= \rho_0 + aT \\ &= 917 + (1,73 \times 10^{-4} \cdot 0) \\ &= 917 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{cf} &= 1020.8 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{table properties sea water}) \\ \rho &= 1006 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{perhitungan berdasarkan hasil pengukuran}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\rho_{ice}}{\rho} \left(\frac{\rho_{cf} - \rho}{\rho_{cf} - \rho_{ice}} \right) \\ &= 917 / 1006 \cdot ((1020.8 - 1006) / (1020.8 - 917)) \\ &= 0.13 \approx 13 \% \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Massa Es Fraksi ISG Model *Orbital Rod*

IV.1.3 Perhitungan Viskositas

Salah satu metode yang paling akurat dalam menentukan viskositas *ice slurry* model yang dibuat oleh Thomas(1985):

$$\mu_{is} = \mu_{cf} (1 + 2.5 C_{is} + 10.05 C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6 C_{is})})$$

dimana :

μ_{is} = viscositas dynamic *ice slurry* (Pa.s)

μ_{cf} = viscositas larutan (Pa.s)

C_{is} = Fraksi *Ice slurry* (%)

IV.1.3.1 Perhitungan Viskositas ISG model *scraper blade*

1) RPM 130

$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1+2.5 C_{is}+10.05C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6C_{is})}) \\ &= 1.957 \times 10^{-3} (1 + 1.187 + 2.2660 + 7.234) \\ &= 22.8 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$

2) RPM 110

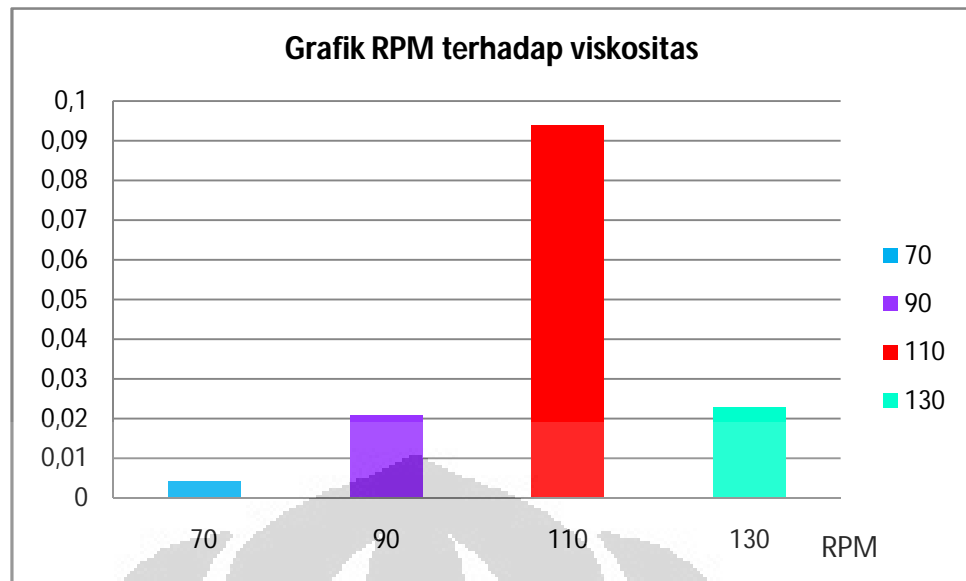
$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1+2.5 C_{is}+10.05C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6C_{is})}) \\ &= 1.957 \times 10^{-3} (1 + 1.452 + 3.393 + 42.205)18 \\ &= 94 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$

3) RPM 90

$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1+2.5 C_{is}+10.05C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6C_{is})}) \\ &= 1.957 \times 10^{-3} (1 + 1.168 + 2.193 + 6.376) \\ &= 21 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$

4) RPM 70

$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1+2.5 C_{is}+10.05C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6C_{is})}) \\ &= 1.919 \times 10^{-3} (1 + 0.576 + 0.534 + 0.125) \\ &= 4.2 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Viskositas ISG Model *Scraper Blade*

IV.1.3.2 Perhitungan Viskositas ISG model *Orbital Rod*

1) RPM 130

$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1 + 2.5 C_{is} + 10.05 C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6 C_{is})}) \\ &= 1.873 \times 10^{-3} (1 + 0.353 + 0.201 + 0.028) \\ &= 2.9 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$

2) RPM 110

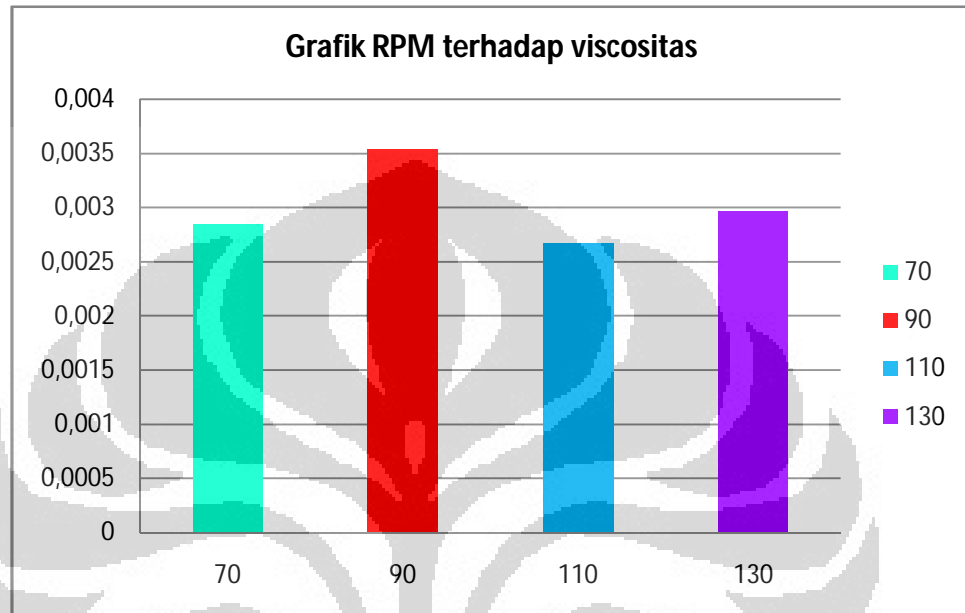
$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1 + 2.5 C_{is} + 10.05 C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6 C_{is})}) \\ &= 1.873 \times 10^{-3} (1 + 0.280 + 0.126 + 0.017) \\ &= 2.6 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$

3) RPM 90

$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1 + 2.5 C_{is} + 10.05 C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6 C_{is})}) \\ &= 1.873 \times 10^{-3} (1 + 0.470 + 0.356 + 0.062) \\ &= 3.5 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$

1) RPM 70

$$\begin{aligned}\mu_{is} &= \mu_{cf} (1+2.5 C_{is}+10.05C_{is}^2 + 0.00273 e^{(16.6C_{is})}) \\ &= 1.873 \times 10^{-3} (1 + 0.324 + 0.169 + 0.023) \\ &= 2.8 \times 10^{-3} \text{ Pa.S}\end{aligned}$$



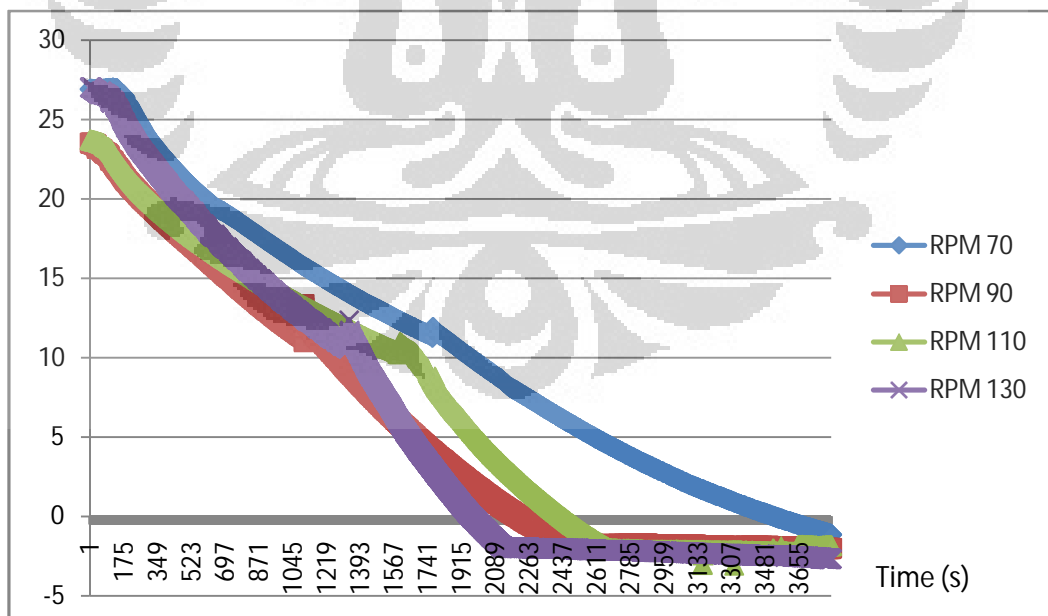
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Viskositas ISG Model *Orbital Rod*

IV.1.4 Pengaruh RPM Terhadap Pencapaian Freezing Point (Chilling Time)

IV.1.4.1 Chillingtime ISG Model Scraper Blade

RPM	Temp Produk/ <i>ice slurry</i>			
	T-900 (Detik)	T-1800 (Detik)	T-2700 (Detik)	T-3823 (Detik)
70	17.4	11.4	4.3	-1.1
90	13.1	3.6	-1.7	-2.0
110	14.6	7.9	-2.0	-2.2
130	14.6	2.4	-2.0	-2.6

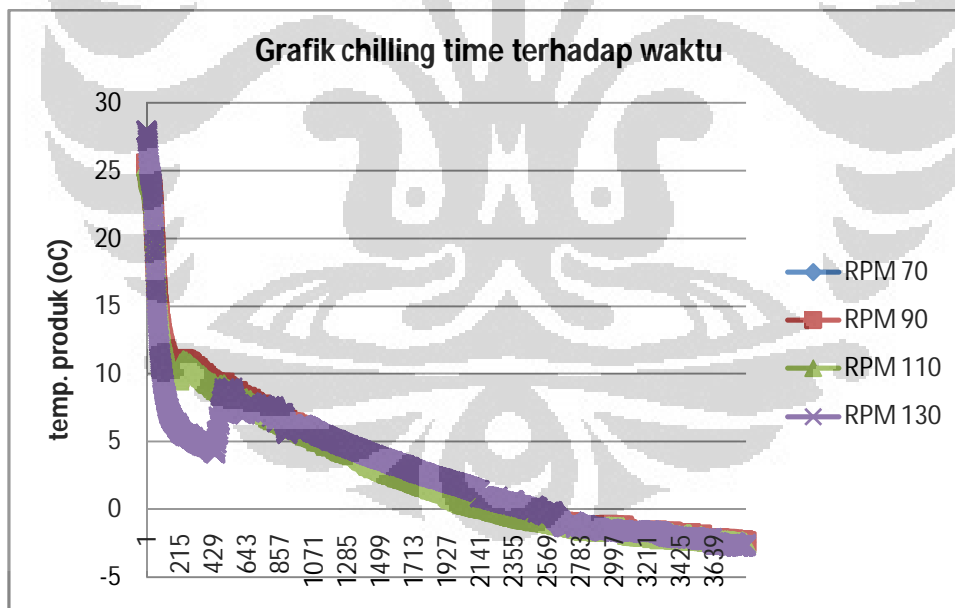
Tabel 4.1 data percobaan *ice slurry* generator Model *scraper blade*



Gambar 4.5 Grafik Chilling time *ice slurry* generator Model *Scraper Blade*

IV.1.4.2 Chilling Time ISG Model Orbital Rod

RPM	Temp Produk/ <i>ice slurry</i>			
	T-900 (Detik)	T-1800 (Detik)	T-2700 (Detik)	T-3800 (Detik)
70	6.4	1.7	-1.1	-2.4
90	6.4	1.8	-1.0	-2.3
110	6.3	1.7	-1.1	-2.4
130	5.6	2.5	-1.2	-2.7

Tabel 4.2 data percobaan *ice slurry* generator Model *Orbital Rod*Gambar 4.6 Grafik Chilling time *ice slurry* generator Model *Orbital Rod*

IV.2 Analisa Data

Berdasarkan hasil pengolahan data diatas diperoleh hasil pengaruh RPM terhadap hasil/karakteristik *ice slurry* dengan menganalisa : densitas, konsentrasi es fraksi, viskositas dan temperature produk akhir pada chilling time 1 jam 4 menit, didapatkan data sebagai berikut :

	ISG Model <i>Scraper Blade</i>				ISG Model <i>Orbital Rod</i>			
	RPM 70	RPM 90	RPM 110	RPM 130	RPM 70	RPM 90	RPM 110	RPM 130
Density (kg/m ³)	994.8	969.5	957.8	968.8	1006	999.5	1008	1004.7
Ice Fraction (%)	23	47	58	47	13	19	11	14
Viscosity (Pa.S)	0.0042	0.021	0.094	0.022	0.0028	0.0035	0.0026	0.0029
T product (°C)	-1.1	-2.0	-2.2	-2.6	-2.4	-2.3	-2.4	-2.7

Tabel 4.2 Data Perbandingan Sifat Thermofluida *ice slurry* generator

Model *Orbital Rod*

Dari data tersebut dapat ditarik analisa bahwa putaran RPM motor pengaduk mempengaruhi sifat thermofluida/ karakteristik dari fraksi es slurry, sifat thermofluida tersebut mempengaruhi kualitas dan quantitas es fraksi yang didapatkan. Pada table diatas terlihat bahwa :

- Pada percobaan dengan scraper blade, nilai RPM yang besar cenderung memiliki nilai densitas yang besar juga, sementara pada percobaan dengan menggunakan orbital rod besar RPM tidak secara linear mempengaruhi nilai densitasnya hal ini karena pada percobaan dengan orbital rod dilakukan dengan mensirkulasikan produk (air laut) sehingga hasil es fraksi yang didapat hampir tidak ada karena

konstruksi fraksi es tersebut yang bergesekan secara terus menerus akibat sirkulasi yang dilakukan.

- Nilai konsentrasi/massa es fraksi yang didapat paling besar adalah pada RPM 110, sebaliknya nilai es fraksi terkecil yang didapat adalah pada RPM 70 hal ini menunjukkan bahwa putaran pengaduk mempengaruhi pembentukan es fraksi tersebut namun seperti halnya penjelasan densitas diatas bahwa gesekan yang berlebihan pula akan mengakibatkan rusaknya fraksi es sehingga diperlukan pembatasan nilai RPM sesuai dimensi evaporator yang digunakan
- Seperti halnya konsentrasi es fraksi, viscositas juga dipengaruhi besarnya RPM motor pengaduk dimana nilai terbesar untuk viskositas terdapat pada RPM 110
- Nilai RPM yang rendah akan membuat tidak meratanya pendinginan yang terjadi pada beban (air laut) sehingga. Besarnya RPM juga mempengaruhi temperature akhir produk (freezing point) dimana semakin besar RPM maka akan semakin rendah pula freezing point yang didapat dengan kata lain semakin besar RPM maka akan semakin cepat pula pencapaian temperature produk (pada batas chlling time yang ditentukan).



Gambar 4.7 Hasil Es Fraksi Pada Ice Slurry Generator

BAB V

PENUTUP

V.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan serangkaian pengujian dan analisis maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Konsentrasi fraksi es terbesar adalah pada RPM 110 sementara nilai fraksi es terendah didapat pada RPM 70
2. Besar kecilnya nilai RPM tersebut mempengaruhi sifat thermofluida *ice slurry* pada pembentukan es fraksi.
3. Rendahnya Putaran motor pengaduk akan mengakibatkan tidak meratanya pendinginan yang terjadi pada beban (air laut) sehingga menghasilkan perbandingan fraksi es yang terbentuk relatif lebih sedikit, namun putaran yang terlalu besar juga akan mengakibatkan rusaknya konstruksi *ice slurry* akibat gesekan yang timbul oleh kecepatan tersebut.
4. Semakin besar RPM motor pengaduk semakin cepat pendinginan yang terjadi sehingga semakin cepat pula freezing point tercapai (chilling time).
5. Nilai es fraksi pada percobaan dengan menggunakan ISG model orbital rod sangat rendah sekali hal ini disebabkan pada ISG model tersebut dibutuhkan sirkulasi produk *ice slurry* sehingga menyebabkan konstruksi *ice slurry* tersebut tidak terbentuk karena adanya gesekan yang terlalubesar.

V.2 SARAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisa terhadap *ice slurry* generator model scraper dan orbital rod dengan variasi putaran motor, maka untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih akurat disarankan :

1. Memperhitungkan kembali dimensi dan konstruksi *ice slurry* generator terutama untuk type orbital rod agar dapat dilakukan pengujian dengan range putaran motor yang lebih besar tetapi tidak menimbulkan gesekan yang besar
2. Penggunaan pompa sirkulasi pada ISG model *Orbital rod* hendaknya menggunakan pompa khusus untuk *ice slurry* dan kapasitas yang sesuai agar konstruksi *ice slurry* tersebut dapat terjaga.
3. Pengecekan alat ukur sangat penting dalam menghasilkan keakuratan data didapat, pastikan semua alat ukur terkalibrasi dan tidak dipengaruhi faktor lain
4. Untuk mendapatkan nilai pengukuran yang tepat hendaknya pengukuran tersebut tidak terpengaruhi kondisi lingkungan, pastikan system terinsulasi dengan baik

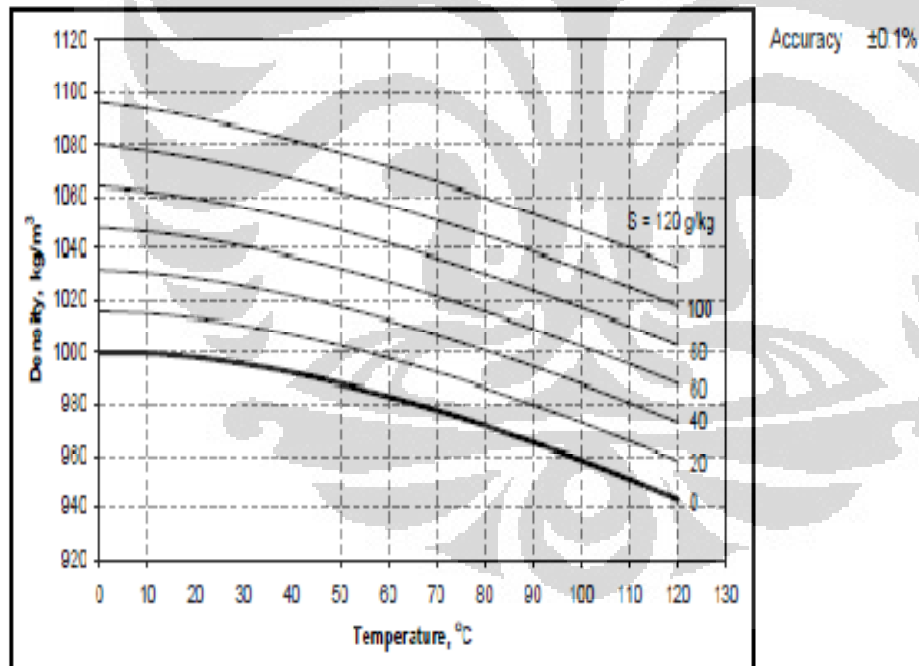
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thermal and hydrodynamic considerations of ice slurry in heat exchangers, Jean-Pierre Be´de´carrats*, Franc,oise Strub, Christophe Peuvrel
- [2] Kauffeld.M, Wang.M.J, Goldstein.V, Kasza.K.E. 2010.” *Ice slurry application*”. International Journal of Refrigeration
- [3] Ice slurry generation involving moving parts E. Stamatoua, J.W. Meewisseb,1, M. Kawajia,*
- [4] Cloutier,Matthew. 2002. “*Refrigeration Cycle*”
- [5] Wang, S.K., Lavan, Z.1999. “*Air-Conditioning and Refrigeration*”. Boca Raton: CRC Press LLC
- [6] Bellstedt, Michael,et al. 2004.”*An Annual Power Cost Comparison Of Conventional and Ice Slurry System Indicates Impressive Potensial Saving for Abbatoir Refrigeration*”,. Sydney
- [7] Kiswantoro. 2008.”*Rancang Bangun Scraper dan Analisis Pengaruh Scraper terhadap Performa Ice Slurry Generator*”. Depok : Departement Teknik Mesin UI.
- [8] Curriculum in Marine Science..2004. “*Density and Salinity*”. Los Angles: University of california
- [9] whitman,Johnson,Tomcryzk.2000. “ *Refrigeration and Air Conditioning Technology 4th Edition*”.Delmar,USA
- [10] Khurmi,R.Sghupta.1980. “*Machine Design*”. Eurasia Publishing House:New Delhi,India
- [11] Dossat,Roy J. 1997. “*Principle of Refrigeration*”
- [12] Heat transfer performance of a newly developed ice slurry generator: A comparative study T.A. Mouneer *, M.S. El-Morsi, M.A. Nosier, N.A. Mahmoud
- [13] <http://id.wikipedia.org/wiki/Laut>.
- [14] <http://diskusiku.com/showthread.php?tid=707>

LAMPIRAN

Density, kg/m³

Temp, °C	Salinity, g/kg												
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	999.3	1007.9	1016.0	1024.0	1032.0	1040.0	1048.0	1055.1	1064.1	1072.1	1080.1	1088.1	1096.2
10	999.7	1007.4	1015.2	1023.0	1030.9	1038.7	1046.6	1054.4	1062.2	1070.1	1077.9	1085.7	1093.6
20	998.2	1005.7	1013.4	1021.1	1028.8	1036.5	1044.1	1051.8	1059.5	1067.2	1074.9	1082.6	1090.3
30	995.7	1003.1	1010.7	1018.2	1025.8	1033.4	1040.9	1048.5	1056.1	1063.6	1071.2	1078.7	1086.3
40	992.2	999.7	1007.1	1014.6	1022.1	1029.5	1037.0	1044.5	1052.0	1059.4	1066.9	1074.4	1081.8
50	988.0	995.5	1002.9	1010.3	1017.7	1025.1	1032.5	1039.9	1047.3	1054.7	1062.1	1069.5	1076.9
60	983.2	990.6	998.0	1005.3	1012.7	1020.0	1027.4	1034.7	1042.1	1049.5	1056.8	1064.2	1071.5
70	977.3	985.1	992.5	999.8	1007.1	1014.5	1021.8	1029.1	1036.5	1043.8	1051.2	1058.5	1065.8
80	971.3	979.1	986.5	993.8	1001.1	1008.5	1015.8	1023.1	1030.5	1037.8	1045.1	1052.5	1059.8
90	965.3	972.6	980.0	987.3	994.7	1002.0	1009.4	1016.8	1024.1	1031.5	1038.8	1046.2	1053.5
100	958.4	965.7	973.1	980.5	987.9	995.2	1002.6	1010.0	1017.4	1024.8	1032.2	1039.6	1047.0
110	950.9	958.3	965.6	973.2	980.6	988.1	995.5	1003.0	1010.4	1017.8	1025.3	1032.7	1040.2
120	943.1	950.6	958.1	965.6	973.1	980.6	988.1	995.6	1003.1	1010.6	1018.1	1025.6	1033.1



Dynamic viscosity $\times 10^3$, kg/m s

Temp, °C	Salinity, g/kg												
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0	1.791	1.820	1.852	1.887	1.925	1.965	2.008	2.055	2.104	2.156	2.210	2.268	2.328
10	1.306	1.330	1.355	1.382	1.412	1.443	1.476	1.511	1.548	1.586	1.627	1.669	1.714
20	1.002	1.021	1.043	1.065	1.089	1.114	1.140	1.168	1.197	1.227	1.259	1.292	1.326
30	0.797	0.814	0.832	0.851	0.871	0.891	0.913	0.936	0.960	0.984	1.010	1.037	1.064
40	0.653	0.667	0.683	0.699	0.716	0.734	0.752	0.771	0.791	0.812	0.833	0.855	0.878
50	0.547	0.560	0.573	0.587	0.602	0.617	0.633	0.649	0.666	0.684	0.702	0.721	0.740
60	0.466	0.478	0.490	0.502	0.515	0.528	0.542	0.556	0.571	0.586	0.602	0.618	0.635
70	0.404	0.414	0.425	0.436	0.447	0.459	0.471	0.484	0.497	0.510	0.524	0.538	0.553
80	0.354	0.364	0.373	0.383	0.393	0.404	0.415	0.426	0.437	0.449	0.462	0.474	0.487
90	0.315	0.323	0.331	0.340	0.349	0.359	0.369	0.379	0.389	0.400	0.411	0.422	0.434
100	0.282	0.289	0.297	0.305	0.313	0.322	0.331	0.340	0.350	0.359	0.369	0.380	0.390
110	0.255	0.262	0.269	0.276	0.283	0.291	0.299	0.308	0.316	0.325	0.334	0.344	0.354
120	0.232	0.238	0.245	0.251	0.258	0.265	0.273	0.280	0.288	0.297	0.305	0.314	0.323

