

**PENGARUH PENAMBAHAN *DRY ICE* PADA CAMPURAN GARAM
DAN ES DARI *COOLING AGENT* TERHADAP PENYERAPAN KALOR
PADA PROSES PEMBUATAN *ICE CREAM***

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

SULTHONI ARIF

NIM. 0510620093

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2010

**PENGARUH PENAMBAHAN *DRY ICE* PADA CAMPURAN GARAM
DAN ES DARI *COOLING AGENT* TERHADAP PENYERAPAN KALOR
PADA PROSES PEMBUATAN *ICE CREAM***

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

SULTHONI ARIF

NIM. 0510620093

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. Djoko Sutikno, M.Eng
NIP. 19541009 198303 1 002

Ir I Made Gunadiarta MT
NIP. 19461001 197702 1 001

**PENGARUH PENAMBAHAN *DRY ICE* PADA CAMPURAN GARAM
DAN ES DARI *COOLING AGENT* TERHADAP PENYERAPAN KALOR
PADA PROSES PEMBUATAN *ICE CREAM***

Disusun oleh:

SULTHONI ARIF

NIM. 0510620093

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 27-01-2010

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Agustinus Ariseno, MT
NIP. 19510822 198701 1 001

Ir. Imam Zaky, MT
NIP. 19450918 197702 1 001

Komprehensif

Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT
NIP. 19450307 197603 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Pengaruh Penambahan *Dry Ice* Pada Campuran Garam Dan Es Dari *Cooling Agent* Terhadap Penyerapan Kalor Pada Proses Pembuatan *Ice Cream* ini dengan baik.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku dosen pembimbing I yang dengan penuh kesabaran dan ketelitian telah mendampingi, membimbing dan memberikan masukan kepada penulis..
4. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan merangkap sebagai dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
5. Kedua orang tua, kakak, adik dan *sayangq* yang telah memberikan segala yang terbaik untuk penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
6. Teman-teman yang telah banyak memberikan arahan, motivasi dan inspirasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Semua pihak yang telah memberikan dukungan, semangat serta doa dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Dan terlepas dari segala kekurangan yang ada, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang, 13 Januari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 3
2.1 Penelitian Sebelumnya	3
2.2 <i>Ice cream</i>	3
2.3 Proses Pembuatan <i>Ice Cream</i>	4
2.4 <i>Cooling Agent</i>	5
2.5 <i>Dry Ice</i>	6
2.6 Perpindahan Kalor	8
2.6.1 Perpindahan Kalor Konduksi	8
2.6.2 Perpindahan Kalor Konveksi	10
2.7 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi	11
2.8 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh	13
2.9 Keseimbangan Energi	13
2.10 Hipotesis	14
 BAB III METODE PENELITIAN	 15
3.1 Metode Penelitian	15
3.2 Variabel Penelitian	15
3.3 Peralatan Penelitian	16
3.4 Instalasi Alat Penelitian	20

3.5	Prosedur Penelitian	21
3.6	Diagram Alir Penelitian	22
BAB IV PENGOLAHAN DATA		23
4.1	Data Hasil Penelitian	23
4.2	Perhitungan	23
4.2.1	Perhitungan Berdasarkan Fisika	24
4.2.2	Perhitungan Berdasarkan Perpindahan Kalor	29
4.3	Hasil Penelitian dan Pembahasan	31
4.3.1	Pengaruh Perbandingan Garam dan Es dari <i>Cooling Agent</i> terhadap Penyerapan Kalor pada Proses Pembuatan <i>Ice Cream</i>	31
4.3.1.1	Kalor Pembuatan <i>Ice Cream</i>	31
4.3.1.2	Laju Aliran Kalor Rata-Rata	32
4.3.1.3	Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Rata-Rata ...	33
4.3.1.4	Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Rata-Rata	34
4.3.2	Pengaruh Putaran terhadap Penyerapan Kalor pada Proses Pembuatan <i>Ice Cream</i>	35
4.3.2.1	Kalor Pembuatan <i>Ice Cream</i>	35
4.3.2.2	Laju Aliran Kalor Rata-Rata	36
4.3.2.3	Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Rata-Rata ...	37
4.3.2.4	Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Rata-Rata	38
4.3.3	Laju Perpindahan Kalor Rata-Rata Berdasarkan Fisika dan Perpindahan Kalor	39
BAB V PENUTUP		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

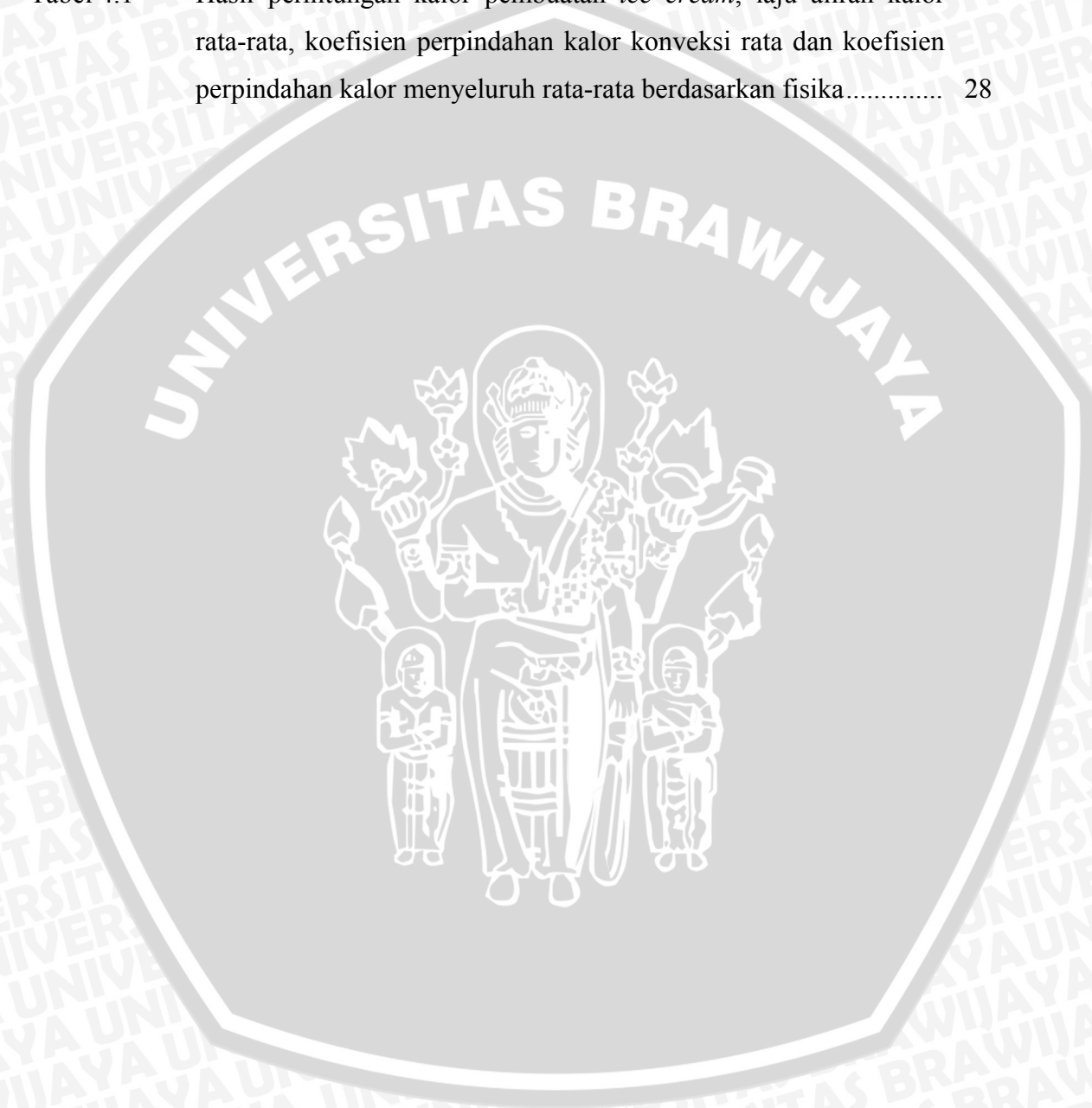
No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	Skema pertumbuhan kristal es	4
Gambar 2.2	Diagram fase larutan garam	6
Gambar 2.3	Diagram fase <i>Dry Ice</i>	7
Gambar 2.4	Konduksi pada plat datar	9
Gambar 2.5	Konduksi pada silinder berlubang	9
Gambar 2.6	Konveksi dari suatu permukaan ke fluida.....	10
Gambar 3.1	Alat Pembuat <i>Ice Cream</i>	16
Gambar 3.2	Termometer Digital.....	16
Gambar 3.3	<i>Thermocouple</i>	17
Gambar 3.4	<i>Analog to Digital Converter</i>	17
Gambar 3.5	Komputer	18
Gambar 3.6	Timbangan	18
Gambar 3.7	Gelas Ukur	19
Gambar 3.8	Mixer	19
Gambar 3.9	Tachometer	20
Gambar 3.10	Instalasi alat penelitian	20
Gambar 3.11	Diagram alir penelitian	22
Gambar 4.1	Diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap kalor pembuatan <i>ice cream</i> untuk putaran 45 rpm	31
Gambar 4.2	Diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap laju aliran kalor rata-rata untuk putaran 45 rpm	32
Gambar 4.3	Diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata untuk putaran 45 rpm.....	33
Gambar 4.4	Diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata untuk putaran 45 rpm.....	34
Gambar 4.5	Perbandingan diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap kalor pembuatan <i>ice cream</i> pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm	35

Gambar 4.6	Perbandingan diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap laju aliran kalor rata-rata pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm.....	36
Gambar 4.7	Perbandingan diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm.....	37
Gambar 4.8	Perbandingan diagram pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm	38
Gambar 4.9	Grafik pengaruh penambahan <i>dry ice</i> dari <i>cooling agent</i> terhadap laju aliran kalor berdasarkan fisika.....	39



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
Tabel 2.1	Rumusan Nusselt untuk benda berbentuk silinder yang terbenam dalam fluida gas atau cair	12
Tabel 4.1	Hasil perhitungan kalor pembuatan <i>ice cream</i> , laju aliran kalor rata-rata, koefisien perpindahan kalor konveksi rata dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata berdasarkan fisika.....	28



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel sifat-sifat makanan
Lampiran 2	Sifat-sifat NaCl dan larutannya dalam air
Lampiran 3	Data hasil penelitian
Lampiran 4	Perhitungan berdasarkan fisika
Lampiran 5	Perhitungan berdasarkan perpindahan kalor
Lampiran 6	Perhitungan koefisien koreksi
Lampiran 7	Perhitungan berdasarkan rumus empirik hasil penelitian
Lampiran 8	Grafik hasil penelitian



RINGKASAN

SULTHONI ARIF, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2010, *Pengaruh Penambahan Dry Ice pada Campuran Garam dan Es dari Cooling Agent Terhadap Penyerapan Kalor pada Proses Pembuatan Ice Cream*. Dosen Pembimbing: Ir. Djoko Sutikno M.Eng dan Ir. I Made Gunadiarta, MT.

Prinsip dasar pembuatan *ice cream* adalah penyerapan sejumlah kalor dari adonan *ice cream* oleh *cooling agent* (media pendingin), dimana *cooling agent* yang digunakan pada proses pembuatan *ice cream* secara tradisional adalah campuran garam dan es. Adonan yang diletakkan di dalam tabung yang dikelilingi oleh *cooling agent* diputar selama waktu tertentu. Besarnya kalor yang diserap dipengaruhi oleh bahan adonan, putaran tabung dan *cooling agent*.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *dry ice* pada campuran garam dan es dari *cooling agent* dan putaran terhadap penyerapan kalor pada proses pembuatan *ice cream*. Pada penelitian ini menggunakan variasi penambahan *dry ice* 30%, 25%, 20 % dan 15% serta putaran tabung 45 rpm dan 60 rpm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar penambahan *dry ice* yang ditambahkan dalam campuran garam dan es dari *cooling agent* maka tingkat penyerapan kalornya meningkat, sedangkan peningkatan putaran tabung akan meningkatkan penyerapan kalor.

Kata kunci: Adonan *ice cream*, *dry ice*, putaran, penyerapan kalor.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ice cream adalah produk makanan beku yang sangat digemari oleh seluruh kalangan masyarakat di dunia. Selain rasanya yang manis, mengkonsumsi *ice cream* juga memberikan banyak manfaat bagi tubuh. Ditinjau dari kandungan gizinya, *ice cream* yang bahan bakunya adalah susu mengandung kalsium dan protein berkualitas tinggi. Kalsium dan protein adalah zat gizi yang dibutuhkan segala usia.

Pembuatan *ice cream* sebenarnya sederhana saja, yakni dengan mencampurkan bahan-bahan kemudian mendinginkannya. Campuran bahan (adonan) *ice cream* dimasukkan ke dalam wadah berupa tabung logam yang berada dalam wadah kayu dengan ukuran yang lebih besar, kemudian di ruang antara wadah kayu dan tabung logam tersebut dimasukkan es. Selama proses pembuatan *ice cream* tabung logam diputar dan adonan diaduk secara periodik untuk mencegah pembentukan kristal es berukuran besar.

Awalnya suhu es akan kurang dari 0°C , dengan menaburkan garam pada campuran es dan air akan didapatkan hal yang berbeda. Air lelehan es dengan segera akan melarutkan garam yang ditabur. Karena larutan garam mempunyai titik beku di bawah 0°C , es akan turun suhunya sampai titik beku air garam tercapai. Dengan kata lain, adonan *ice cream* dikelilingi oleh larutan garam yang temperaturnya lebih rendah dari 0°C sehingga kandungan panasnya terserap dan adonan dapat membeku.

Penambahan *dry ice* pada larutan garam menurunkan suhu *cooling agent*. Hal itu disebabkan *dry ice* memiliki temperatur sublimasi $-78,5^{\circ}\text{C}$ sehingga terjadi perbedaan temperatur antara larutan garam dan *dry ice*. Temperatur larutan garam akan menyesuaikan temperatur sublimasi *dry ice*. Menurunnya suhu *cooling agent* mempercepat laju perpindahan kalor yang mengakibatkan proses pembuatan *ice cream* semakin cepat.

Prinsip dasar proses pembuatan *ice cream* adalah ilmu perpindahan kalor, dimana sejumlah kalor harus dibuang dari adonan *ice cream* ke media pendingin (*cooling agent*), yaitu campuran es, garam dan *dry ice*, untuk mendapatkan *ice cream* yang padat dan beku. Laju aliran kalor tersebut dipengaruhi oleh adonan *ice cream*,

cooling agent dan putaran tabung logam. Oleh karena itu, perlu diadakan penelitian mengenai laju penyerapan kalor pada proses pembuatan *ice cream*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh variasi jumlah *dry ice* pada *cooling agent* terhadap perpindahan kalor pada proses pembuatan *ice cream*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih mengarahkan pembahasan dan agar permasalahan tidak meluas maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Media pendingin yang digunakan adalah campuran es dan garam .
2. Perbandingan campuran es dan garam yang digunakan adalah 1 : 1
3. Perbandingan *dry ice* pada cooling agent yang digunakan adalah 30%, 25%, 20%, dan 15%
4. Putaran tabung logam yang digunakan adalah 45 dan 60 rpm.
5. Proses dianggap adiabatik.
6. Adonan *ice cream* yang digunakan adalah Pondan *Magic Ice Cream* rasa coklat.
7. Model uji yang digunakan berkapasitas penyajian untuk 5 orang (satu kemasan Pondan *Magic Ice Cream* 90 gram).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan *dry ice* pada garam dan es dari *cooling agent* terhadap perpindahan kalor pada proses pembuatan *ice cream*.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

- Sebagai aplikasi teori perpindahan kalor, serta untuk dasar penelitian selanjutnya mengenai mesin pembuat *ice cream*.
- Memberikan kontribusi pada perancangan mesin pembuat *ice cream*.
- Menyampaikan informasi kepada masyarakat umum tentang pengaruh *dry ice* terhadap pembuatan *ice cream*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Fransisca G.U.D, 2008, melakukan penelitian tentang “Pengaruh Perbandingan Garam dan Es dari *Cooling Agent* dan Putaran Terhadap Penyerapan Kalor Pada Proses Pembentukan Es Krim”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar transfer kalor yang terjadi karena pengaruh perbandingan garam dan es pada *cooling agent* maupun putaran tabung logam yang digunakan. Variasi garam dan es yang digunakan yaitu 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5, dan 1:3. sedangkan variasi putaran yang digunakan adalah 45 rpm dan 60 rpm. Dengan variabel terkontrol waktu proses pembentukan es krim selama 1 jam. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa perbandingan garam dan es pada *cooling agent* serta putaran mempengaruhi penyerapan kalor, yang mana nilai transfer kalor tertinggi terjadi pada perbandingan es dan garam sebesar 1:2 serta pada putaran 60 rpm sebesar 19,712 W.

2.2 Ice Cream

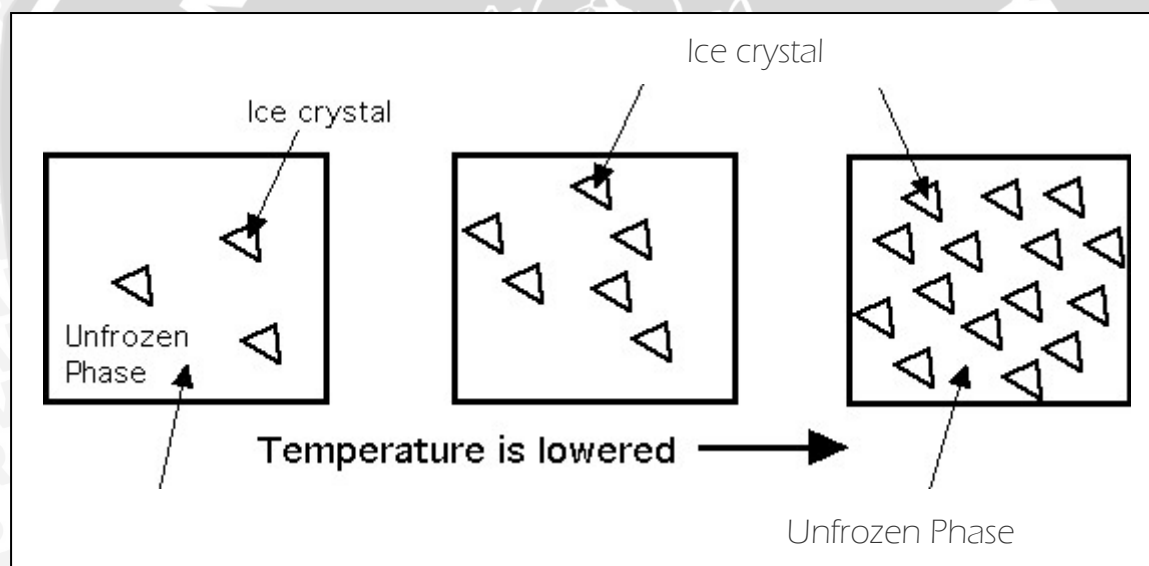
Ice cream adalah produk makanan beku yang memiliki tekstur semi padat dan bernilai gizi tinggi yang terbuat dari campuran lemak susu, padatan susu tanpa lemak (susu skim), bahan pemanis, penstabil dan pengemulsi. Pada umumnya komposisi adonan *ice cream* terdiri dari 10-16 persen lemak susu, 9-12 persen susu skim, 12-16 persen pemanis, 0,2-0,5 persen bahan penstabil dan pengemulsi, serta 55-64 persen air yang berasal dari susu atau bahan lain.

Keunggulan *ice cream* didukung oleh bahan baku yang digunakan. Lemak susu berperan dalam menentukan kualitas *ice cream* dan mencegah pembentukan kristal yang terlalu besar. Susu skim digunakan untuk meningkatkan kandungan padatan dalam *ice cream* dan memberikan tekstur yang halus. Susu skim bersifat mampu menyerap air dan meningkatkan visikositas. Bahan pemanis dalam pembuatan *ice cream* dapat memperbaiki tekstur, meningkatkan kekentalan dan memberi rasa manis. Bahan pemanis ini juga berfungsi untuk menurunkan titik beku sehingga adonan *ice cream* tidak terlalu cepat membeku. Bahan penstabil mempunyai kemampuan mengikat air sehingga menurunkan kecepatan immobilisasi air yang dapat mempertahankan tekstur *ice cream* yang lembut dengan cara memperlambat pembentukan kristal es. Bahan pengemulsi mencegah penggabungan lemak selama prosesing dengan cara mengurangi tegangan permukaan antara lemak dan air selama emulsi. Penambahan bahan

pengemulsi membuat *ice cream* terasa lebih lembut dan tidak cepat meleleh. (Sumber : Desrosier, 1988:22)

Ice cream tidak lain adalah berupa emulsi dan busa yang dibekukan dan diawetkan dengan pendinginan. Walaupun *ice cream* tampak sebagai wujud yang padu, namun bila dilihat dengan mikroskop akan tampak tersusun atas empat komponen penyusun, yaitu padatan globula lemak susu, udara (ukurannya kurang dari 0,1 mm), kristal-kristal kecil es dan air yang melarutkan gula.

Kristal-kristal es dalam *ice cream* terbentuk dari air yang membeku dari bagian larutan gula, sehingga semakin banyak kristal es yang terbentuk semakin tinggi konsentrasi larutan gula yang tersisa dalam *ice cream*. Konsentrasi larutan gula inilah yang menentukan tinggi rendahnya titik beku larutan gula, yakni memiliki titik beku lebih rendah dari 0°C. Pertumbuhan kristal es dalam *ice cream* dapat dijelaskan dengan menggunakan skema gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema pertumbuhan kristal es
Sumber: www.foodsci.ouguelph.ca

Menurut gambar 2.1 diatas dapat dijelaskan bahwa semakin banyak kristal es yang terbentuk semakin sedikit material yang tidak membeku (*unfrozen phase*), hal ini mengakibatkan meningkatnya konsentrasi larutan gula yang menyebabkan titik beku larutan menjadi semakin rendah.

2.3 Proses Pembuatan *Ice Cream*

Langkah awal pembuatan *ice cream* adalah pencampuran bahan, dimana semua bahan yang telah dipilih sesuai kualitas yang diinginkan dicampur, sehingga akan

menghasilkan adonan *ice cream* (*ice cream mix*). Setelah proses pencampuran, dilanjutkan dengan proses pembekuan adonan *ice cream*. Proses pembekuan ini dilakukan dengan alat pembuat *ice cream* (*ice cream maker*). Pada proses pembekuan secara tradisional, adonan *ice cream* diletakkan dalam wadah logam yang berbentuk tabung. Wadah logam tersebut diletakkan di dalam wadah kayu yang berukuran lebih besar sehingga. Di ruang antara wadah logam dan wadah kayu dimasukkan pecahan es, selanjutnya ditaburkan garam diatas es tersebut. Wadah logam berisi adonan, yang dikelilingi campuran es dan garam, kemudian diputar dengan kecepatan tertentu dan untuk selang waktu yang tertentu pula.

Selama proses pembekuan, adonan diaduk perlahan sehingga seluruh bagian adonan menyentuh dinding logam. Tujuan dari proses pengadukan ini adalah untuk mengecilkan ukuran kristal es yang terbentuk, semakin kecil ukuran kristal es semakin lembut *ice cream* yang terbentuk. Selain itu dengan pengadukan akan terjadi pencampuran udara ke dalam adonan *ice cream*. Gelembung-gelembung udara yang tercampur ke dalam adonan inilah yang menghasilkan busa yang seragam.

2.4 Cooling Agent

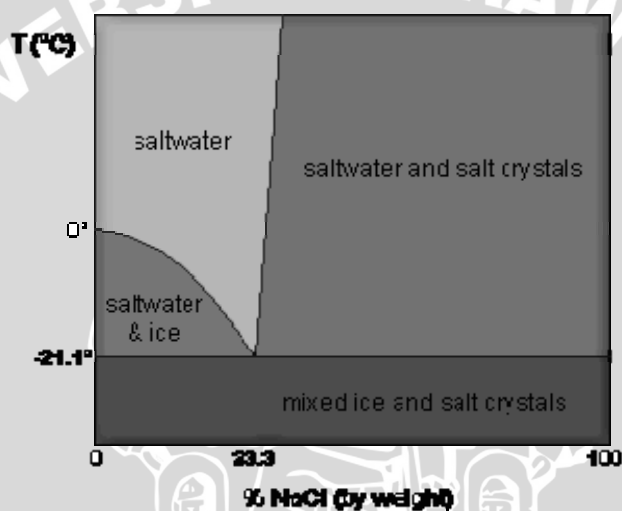
Cooling agent adalah media pendingin pada proses pembuatan *ice cream*. Pada pembuatan *ice cream* secara tradisional umumnya digunakan campuran es dan garam sebagai *cooling agent*.

Temperatur campuran es dan air adalah 0°C , tetapi itu tidak cukup untuk membekukan adonan *ice cream*. Temperatur yang dibutuhkan untuk membekukan *ice cream* adalah -5°C sampai -20°C , dimana diatas -5°C *ice cream* akan cair sedangkan dibawah -20°C *ice cream* menjadi terlalu padat. Garam yang ditaburkan pada es akan membentuk larutan garam yang memiliki titik beku lebih rendah daripada titik beku air murni, sehingga es akan berubah suhunya sampai titik beku larutan garam tersebut tercapai.

Di dalam segumpal es, molekul-molekul air terstruktur membentuk tatanan geometrik yang tertentu dan kaku. Tatanan tersebut rusak ketika diserang oleh garam, sehingga molekul-molekul air menjadi bebas bergerak dalam wujud cair. Tapi untuk merusak struktur padat molekul es memerlukan energi. Untuk seongkah es yang hanya kontak dengan garam dan air, energi itu hanya diperoleh dari kandungan panas air garam. Maka ketika es mencair dan terlarut, proses ini meminjam kalor dari air, dan menurunkan temperaturnya. Setelah temperatur dingin ini tercapai, dalam pemanfaatnya

campuran itu mendapatkan kalor pengganti dari adonan *ice cream*, maka hasilnya adalah *ice cream* padat seperti yang diinginkan.

Besarnya temperatur dari campuran es dan garam dapat dikontrol dengan memvariasikan rasio garam dan es. Temperatur beku untuk 2% larutan garam (NaCl) adalah $-1,4^{\circ}\text{C}$, 5% NaCl temperatur bekunya $-3,5^{\circ}\text{C}$, 10% NaCl temperatur bekunya $-7,4^{\circ}\text{C}$, 15% NaCl temperatur bekunya $-11,7^{\circ}\text{C}$ dan 20% NaCl temperatur bekunya $-16,6^{\circ}\text{C}$. Temperatur beku terendah yang dapat dicapai oleh larutan garam adalah $-21,1^{\circ}\text{C}$, dengan konsentrasi 23,3% NaCl (sumber: www.antoine.frosburg.edu). Konsentrasi garam yang lebih tinggi lagi akan menghasilkan kristalisasi garam. Pengaruh konsentrasi terhadap titik beku larutan garam dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram fase larutan garam
Sumber: www.antoine.frosburg.edu

Larutan garam inilah yang menyerap kalor dari adonan *ice cream* yang berada dalam wadah logam. Proses pendinginan dan pembekuan tersebut melibatkan perhitungan perpindahan kalor.

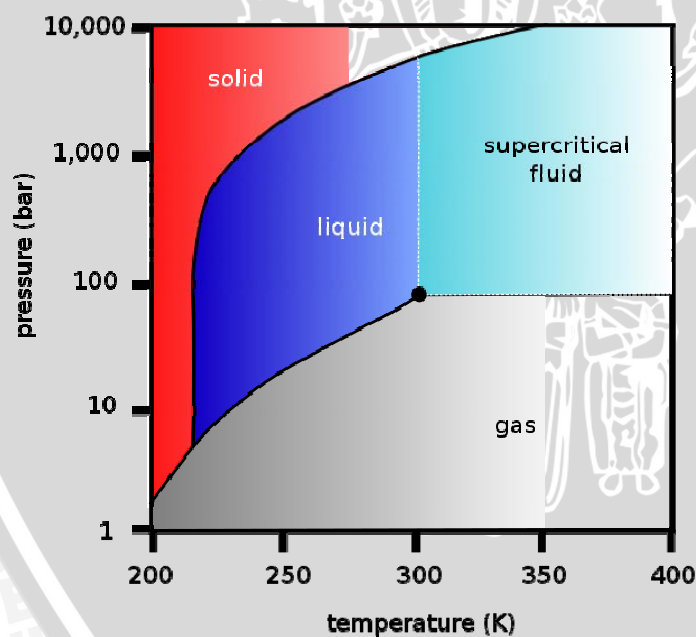
2.5 Dry Ice

Dry Ice (es kering) adalah karbondioksida beku dengan rumus kimia CO_2 . *Dry ice* amat berguna untuk pembekuan dan menjaga pembekuan karena temperaturnya yang sangat dingin yaitu: -78.5°C atau -109.3°F . *Dry Ice* banyak digunakan karena pembuatannya cukup sederhana dan mudah ditangani dengan menggunakan sarung tangan insulasi. *Dry ice* berubah langsung dari bentuk solid menjadi gas (sublimasi) dalam kondisi atmosfer normal tanpa melalui tahapan cairan basah, oleh karena itu

dinamakan es kering. *Dry ice* tidak berwarna, menyublim tanpa adanya residu, berbahaya jika terlalu banyak dihirup makhluk hidup, dan bebas dari air.

Dry ice memiliki kalor laten sublimasi sebesar $1029.953 \text{ kJ/kg}^0\text{k}$, sehingga ketika *dry ice* berubah fase dari padat menjadi gas terdapat kalor yang mengubah fase *dry ice* tanpa menaikkan suhu. *Dry ice* memiliki rapat massa pada 3 fase, yaitu padat, cair dan gas. Pada fase padat (-109.3°F) *dry ice* memiliki rapat massa sebesar 1562 kg/m^3 , sedangkan pada fase cair (0°F) memiliki rapat massa sebesar 1020 kg/m^3 , dan pada fase gas (32°F) memiliki rapat massa sebesar 1.97 kg/m^3 .

Proses penambahan *dry ice* pada campuran garam dan es berpengaruh terhadap laju perpindahan panas dari *cooling agent* menuju ke adonan. Hal ini disebabkan *dry ice* memiliki suhu -78°C , berbeda dengan suhu yang dihasilkan oleh campuran garam dan es yang hanya memiliki suhu -20°C . Sehingga dengan adanya penambahan *dry ice* dapat menurunkan temperatur *cooling agent* dan mempengaruhi laju perpindahan panas dari *cooling agent* menuju ke adonan.



Gambar 2.3 Diagram fase *Dry Ice*

Sumber : www.Commons.wikimedia.org

Dari diagram diatas dapat di ketahui bahwa *dry ice* akan mengalami proses sublimasi pada suhu 27°C dan tekanan 1 atm. Fase dari *dry ice* yang semula padat

menjadi gas (sublimasi) dengan suhu yang lebih dingin dari campuran garam dan es membuat proses pembuatan *ice cream* lebih cepat.

2.6 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor adalah proses perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antara daerah-daerah tersebut. Terdapat tiga cara perpindahan kalor, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.6.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan kalor melalui lapis benda padat. Laju perpindahan kalor konduksi dipengaruhi oleh aktivitas atom dan molekul suatu medium. Konduksi dapat dianggap sebagai transfer energi dari partikel yang mempunyai lebih banyak energi ke partikel yang mempunyai energi lebih sedikit. Menurut persamaan Fourier, laju perpindahan kalor secara konduksi dirumuskan sebagai berikut:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{Kreith, 1986: 7}) \quad (2.1)$$

dengan:

q_k = laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = konduktivitas termal bahan ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

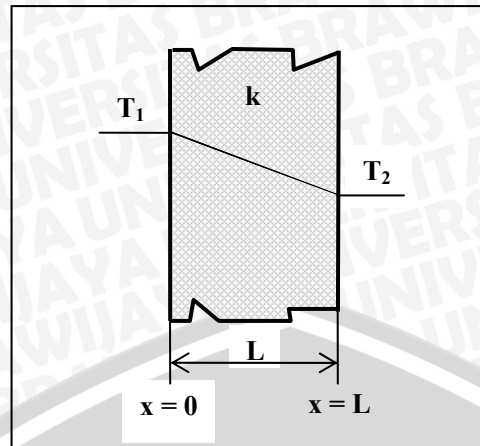
A = luas kalor (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = gradien temperatur ($^\circ\text{C m}^{-1}$)

T_1 = temperatur permukaan dinding sebelah kiri, $x = 0$ ($^\circ\text{C}$)

T_2 = temperatur permukaan dinding sebelah kanan, $x = L$ ($^\circ\text{C}$)

L = tebal dinding (m)



Gambar 2.4 Konduksi pada plat datar

Untuk benda berbentuk silinder, dapat diasumsikan bahwa aliran kalor berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang diperlukan untuk menentukan sistem itu adalah jari-jari (r). Jika luas bidang aliran kalor silinder tersebut adalah $A_r = 2\pi rL$, maka laju perpindahan kalor dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr} = -2\pi krL \frac{dT}{dr} = 2\pi kL \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \quad (\text{Kreith, 1986: 28}) \quad (2.2)$$

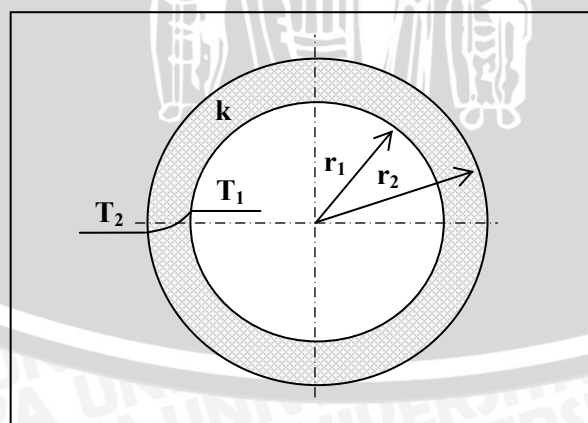
dengan:

q_r = laju perpindahan kalor konduksi pada silinder (W)

L = panjang (m)

r_1 = jari-jari dalam silinder (m)

r_2 = jari-jari luar silinder (m)



Gambar 2.5 Konduksi pada silinder berlubang

2.6.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan kalor melalui lapis fluida. Konveksi merupakan gabungan antara konduksi dengan gerakan fluida. Semakin cepat aliran fluida, maka laju perpindahan kalor konveksi yang terjadi semakin besar pula. Menurut persamaan Newton tentang pendinginan, laju perpindahan kalor konveksi dirumuskan sebagai berikut:

$$q_c = hA\Delta T \quad (\text{Kreith, 1986: 307}) \quad (2.3)$$

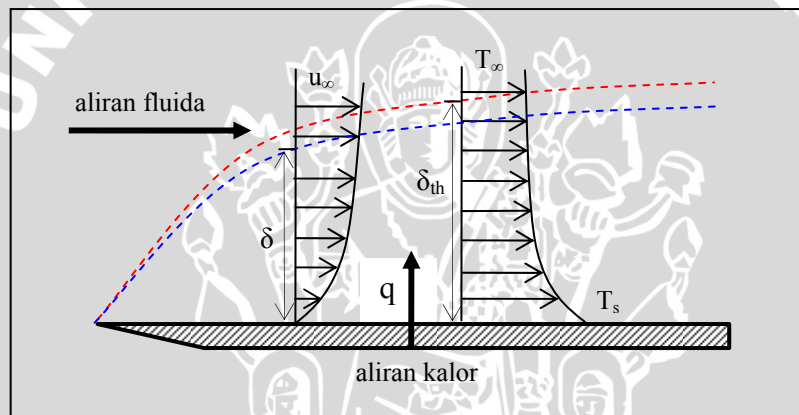
dengan:

q_c = laju perpindahan kalor konveksi (W)

h = koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

A = luas permukaan aliran kalor (m^2)

ΔT = beda antara temperatur permukaan dan temperatur fluida ($^\circ\text{C}$)



Gambar 2.6 Konveksi dari suatu permukaan ke fluida

Interaksi antara fluida dan permukaan terdapat suatu daerah yang besar kecepatannya bervariasi dari nol pada permukaan hingga U_∞ pada jarak tertentu dari permukaan. Daerah ini berkembang semakin tebal dalam arah aliran, daerah ini disebut sebagai lapisan batas hidrodinamik atau lapisan batas kecepatan. Selain itu bila temperatur fluida dan temperatur permukaan berbeda akan terdapat daerah dalam aliran fluida yang temperaturnya bervariasi dari T_s pada permukaan hingga T_∞ pada suatu titik tertentu, dimana daerah ini disebut lapisan batas termal. Tebal lapisan batas hidrodinamik (δ) dapat ditentukan dengan rumusan:

$$\delta = \frac{5x}{\sqrt{Re_e}} = \frac{5L}{\sqrt{Re_e}} \quad (\text{Kreith, 1986: 332}) \quad (2.4)$$

dengan:

Re_e = bilangan Reynold

Sedangkan tebal lapisan batas termal (δ_t) ditentukan dengan rumusan:

$$\delta_t = \frac{\delta}{P_r^{1/2}} \quad (\text{Kreith, 1986: 337}) \quad (2.5)$$

dengan:

P_r = bilangan Prandtl

Untuk menentukan laju perpindahan kalor secara konveksi, gradien temperatur pada permukaan harus diketahui. Karena fluida bergerak, maka energi yang tersimpan dalam partikel-partikel fluida terangkut oleh gerakan partikel-partikel tersebut. Laju angkutan kalor tersebut bergantung pada kecepatan partikel-partikel fluida. Sehingga terjadi keseimbangan energi, dimana kalor yang dikonduksikan dari plat harus sama dengan kalor yang dikonveksikan ke fluida.

2.7 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi

Koefisien perpindahan kalor konveksi (h) menunjukkan kemampuan satu satuan luas permukaan persentuhan antara fluida dan material padat dalam meneruskan energi per detik untuk setiap satu satuan perbedaan suhu antara fluida dan permukaan material padat tersebut. Koefisien perpindahan kalor konveksi dipengaruhi oleh bilangan Nusselt, ukuran material padat dan konduktivitas termal fluida. Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynold dan bilangan Prandtl. Bilangan Nusselt, Reynold dan Prandtl adalah bilangan-bilangan tanpa dimensi. Penjelasan mengenai bilangan-bilangan tanpa dimensi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bilangan Reynold (Re)

Bilangan Reynold adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos dalam aliran, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Re = \frac{ux}{\nu} = \frac{\rho ux}{\mu} = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (\text{Holman, 1991:194}) \quad (2.6)$$

dengan:

u = kecepatan aliran bebas (m s^{-1})

x = panjang karakteristik (m)

D = diameter (m)

ν = viskositas kinematik ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)

μ = viskositas dinamik ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$)

ρ = massa jenis fluida (kg m^{-3})

2. Bilangan Prandlt (Pr)

Bilangan Prandlt adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara difusivitas momentum fluida dengan difusivitas termal fluida, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (\text{Welty, 2002: 94}) \quad (2.7)$$

dengan:

c_p = kapasitas kalor jenis fluida pada tekanan konstan ($\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

k = konduktivitas termal fluida ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

3. Bilangan Nusselt (Nu)

Bilangan Nusselt merupakan parameter yang menghubungkan antara koefisien perpindahan kalor konveksi dan konduktivitas termal, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (\text{Welty, 2004: 95}) \quad (2.8)$$

Berdasarkan analisis dimensional dan hasil-hasil eksperimen yang diperoleh dalam percobaan-percobaan, perpindahan kalor konveksi dikolerasikan menurut persamaan yang berbentuk:

$$Nu = c Re^m Pr^n \quad (2.9)$$

dimana c , m dan n adalah konstanta yang harus ditentukan dari hasil percobaan. Untuk benda berbentuk silinder, nilai c , m dan n dipilih berdasarkan besarnya bilangan Reynold, yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rumusan Nusselt untuk benda berbentuk silinder yang terbenam dalam fluida gas atau cair.

Re	Bilangan Nusselt
0,4 – 4	$Nu = 0,989 Re^{0,330} Pr^{1/3}$
4 – 40	$Nu = 0,911 Re^{0,385} Pr^{1/3}$
40 – 4000	$Nu = 0,683 Re^{0,466} Pr^{1/3}$
4000 – 40000	$Nu = 0,193 Re^{0,618} Pr^{1/3}$
40000 – 400000	$Nu = 0,027 Re^{0,805} Pr^{1/3}$

Sumber: Cengel; 1998: 367

Dengan mengatur kembali persamaan (2.8) dan mensubstitusikan persamaan (2.9) didapatkan persamaan koefisien perpindahan kalor permukaan berikut:

$$h = \frac{Nuk}{L}$$

$$h = \frac{c Re^m Pr^n k}{L} \quad (2.10)$$

Untuk obyek berbentuk silinder koefisien perpindahan kalor permukaan dinyatakan dengan persamaan:

$$h = \frac{c Re^m Pr^n k}{D} \quad (2.11)$$

2.8 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Proses perpindahan kalor yang terjadi pada pembuatan *ice cream* merupakan kombinasi dari mekanisme perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi. Untuk menyatakan laju perpindahan kalor untuk suatu situasi yang melibatkan suatu kombinasi mekanisme adalah dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang didefinisikan sebagai:

$$q = UA\Delta T \quad (\text{Welty, 2004: 15}) \quad (2.12)$$

dengan:

U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

A = luas bidang aliran kalor (m^2)

ΔT = beda temperatur ($^\circ\text{C}$)

2.9 Keseimbangan Energi

Keseimbangan energi didasarkan atas hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Jadi jumlah energi yang diberikan kepada suatu sistem sama dengan jumlah energi yang keluar dari sistem tersebut.

Keseimbangan energi pada proses pembuatan *ice cream* adalah kalor yang dikeluarkan adonan *ice cream* dari tabung logam, untuk merubah fase cair menjadi fase padat, besarnya sama dengan kalor yang diterima oleh *cooling agent*, untuk merubah fase padat menjadi fase cair, yang berada di sekeliling tabung logam tersebut. Energi tersebut dibedakan menjadi:

1. Kalor sensibel

Kalor sensibel adalah jumlah kalor yang diambil atau diberikan kepada suatu zat yang akan menyebabkan terjadinya perubahan temperatur tanpa mengalami perubahan fase dari zat yang bersangkutan.

$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2.13)$$

dengan:

Q_s = kalor sensibel (J)

m = massa (kg)

c = kapasitas kalor jenis ($\text{Jkg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

ΔT = perubahan temperatur ($^\circ\text{C}$)

2. Kalor laten

Kalor laten adalah jumlah kalor yang diambil atau diberikan kepada suatu zat yang akan menyebabkan terjadinya perubahan fase dari suatu zat yang bersangkutan tanpa mengalami perubahan temperatur.

$$Q_L = m \cdot L \quad (2.14)$$

dimana:

Q_L = kalor laten (J)

L = kalor laten spesifik (Jkg^{-1})

2.10 Hipotesis

Penambahan *dry ice* pada campuran garam dan es menurunkan suhu dan mempengaruhi sifat *cooling agent*; semakin cepat putaran tabung maka bilangan Reynold dan bilangan Nusselt meningkat, sehingga koefisien perpindahan konveksi dan koefisien kalor menyeluruh juga bertambah, dengan demikian laju aliran kalor menjadi lebih besar.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *dry ice* pada campuran garam dan es dari *cooling agent* terhadap penyerapan kalor pada proses pembuatan *ice cream*.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang dipilih dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian sehingga diperoleh hubungan di antara keduanya. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah Variasi penambahan *dry ice* pada *cooling agent*, yaitu 30%, 25%, 20%, dan 15%

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan nilainya diketahui saat penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah jumlah kalor pembuatan *ice cream*, laju aliran kalor rata-rata, koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya tetap dan ditentukan sebelum penelitian. Variabel terkontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah putaran tabung logam, yaitu 45 rpm dan 60 rpm.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat pembuat *ice cream*

Alat pembuat *ice cream* yang digunakan terdiri dari tabung dalam (tabung logam) untuk menampung adonan *ice cream*, tabung luar untuk menampung campuran es dan garam, serta motor untuk memutar tabung logam.



Gambar 3.1 Alat Pembuat *Ice Cream*

Sumber : Dokumen Pribadi

2. Termometer Digital

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur adonan *ice cream*, es dan garam, serta temperatur atmosfer di tempat penelitian dilakukan.



Gambar 3.2 Termometer Digital

Sumber : Dokumen Pribadi

3. Sensor Temperatur

Sensor temperatur (*thermocouple*) digunakan untuk mengukur temperatur pada titik tinjauan.

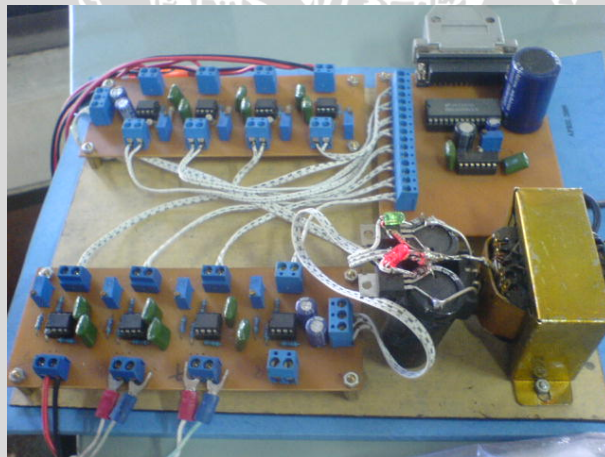


Gambar 3.3 *Thermocouple*

Sumber : Dokumen Pribadi

4. *Analog to Digital Converter (ADC)*

ADC digunakan untuk mengkonversikan sinyal tegangan (analog) dari sensor menjadi sinyal digital agar dibaca oleh komputer.



Gambar 3.4 *Analog to Digital Converter*

Sumber : Dokumen Pribadi

5. Komputer

Komputer digunakan untuk menerima, memproses dan merekam sinyal dari sensor setelah mengalami pengkonversian sinyal dari analog ke digital oleh ADC.



Gambar 3.5 Komputer

Sumber : Dokumen Pribadi

6. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur massa adonan *ice cream*, es dan garam sebelum dan sesudah proses pembuatan *ice cream*.



Gambar 3.6 Timbangan

Sumber : Dokumen Pribadi

7. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume air yang ditambahkan pada bubuk *ice cream*.



Gambar 3.7 Gelas Ukur

Sumber : Dokumen Pribadi

8. *Mixer*

Mixer digunakan untuk mencampur bubuk *ice cream* dan air sehingga menghasilkan adonan *ice cream*.



Gambar 3.8 Mixer

Sumber : Dokumen Pribadi

9. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur putaran tabung logam.

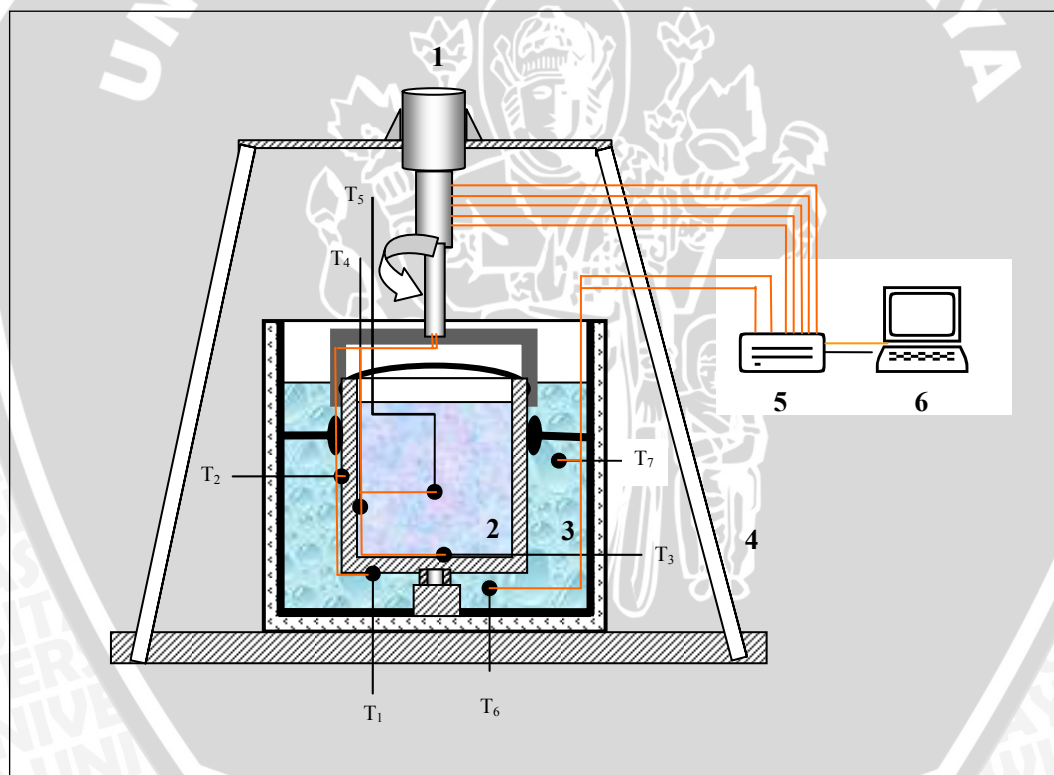


Gambar 3.9 Tachometer

Sumber : Dokumen Pribadi

3.4 Instalasi Alat Penelitian

Susunan alat dalam penelitian ini adalah seperti pada gambar 3.10 berikut ini:



Gambar 3.10 Instalasi alat penelitian

Keterangan gambar:

- 1 = motor
- 2 = tabung dalam (tabung logam)
- 3 = tabung luar
- 4 = rangka

5 = ADC

6 = komputer

T_1 = temperatur permukaan dinding luar tabung logam bagian bawah

T_2 = temperatur permukaan dinding luar tabung logam bagian samping

T_3 = temperatur permukaan dinding dalam tabung logam bagian bawah

T_4 = temperatur permukaan dinding dalam tabung logam bagian samping

T_5 = temperatur adonan *ice cream*

T_6 = temperatur *cooling agent* bagian bawah

T_7 = temperatur *cooling agent* bagian samping

Prinsip kerja instalasi alat penelitian sebagai berikut. Adonan *ice cream* yang berada di dalam tabung dalam diputar dengan kecepatan tertentu. Tabung dalam tersebut terletak di dalam tabung luar yang memiliki ukuran lebih besar, dan di ruang antara tabung dalam dan tabung luar tersebut dimasukkan campuran es dan garam sebagai *cooling agent*. Setelah itu ditambahkan *dry ice* dengan perbandingan yang telah ditentukan kedalam *cooling agent*. Adanya perbedaan temperatur antara adonan dan *cooling agent* akan menyebabkan penyerapan kalor dari adonan ke *cooling agent*. Penyerapan kalor berlangsung terus hingga adonan berubah menjadi *ice cream* yang diinginkan.

Pengambilan data dilakukan mulai saat adonan serta *cooling agent* dimasukkan dalam tempatnya masing-masing sampai *ice cream* terbentuk. Jadi penelitian ini dilakukan dari kondisi adonan *ice cream* berbentuk cair sampai adonan menjadi padat.

3.5 Prosedur Penelitian

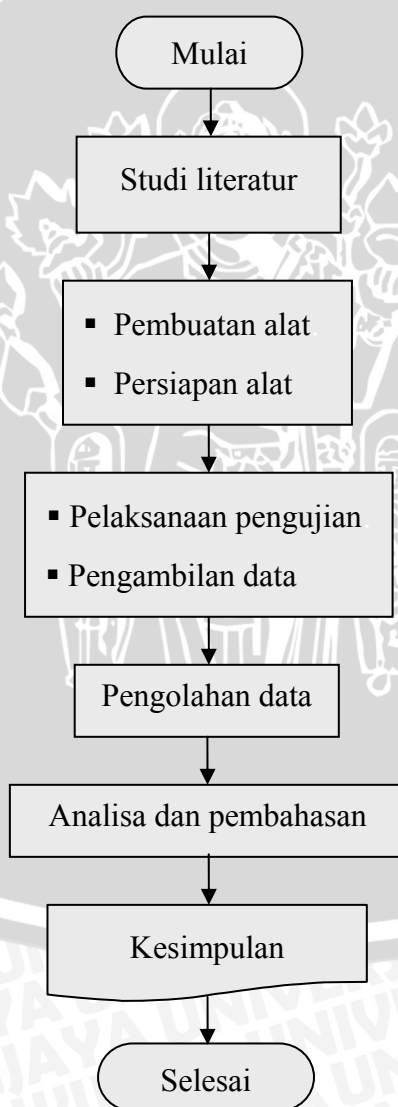
Langkah-langkah dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan-bahan yang akan digunakan.
2. Mengambil data awal (massa dan temperatur) dari masing-masing bahan, yaitu adonan *ice cream*, *dry ice*, es dan garam.
3. Memasukkan adonan *ice cream* ke dalam tabung dalam, yang kemudian diletakkan di dalam tabung luar.
4. Memasukkan garam dan es di ruang antara tabung dalam dan tabung luar.
5. Memasukkan *dry ice* kedalam campuran es dan garam
6. Menghidupkan motor untuk memutar tabung dalam pada putaran yang dipilih.

7. Pengambilan data berupa temperatur di semua titik yang telah ditentukan dilakukan sampai adonan menjadi padat
8. Pengadukan adonan dilakukan pada menit ke 30.
9. Menimbang massa garam dan es yang tersisa.
10. Mengukur volume cairan larutan air garam yang terbentuk.
11. Perhitungan dan pembahasan.
12. Penarikan kesimpulan

3.6 Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan melakukan penelitian ini maka dibuat diagram alir penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 3.11 berikut ini:



Gambar 3.11 Diagram alir penelitian

BAB IV

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengujian, untuk setiap variasi Penambahan *dry ice* pada *cooling agent* dan putaran tabung logam pada proses pembuatan *ice cream* diperoleh data sebagai berikut:

- a. Temperatur permukaan dinding luar tabung logam bagian bawah (T_1)
- b. Temperatur permukaan dinding luar tabung logam bagian samping (T_2)
- c. Temperatur permukaan dinding dalam tabung logam bagian bawah (T_3)
- d. Temperatur permukaan dinding dalam tabung logam bagian samping (T_4)
- e. Temperatur adonan *ice cream* (T_5)
- f. Temperatur *cooling agent* bagian bawah (T_6)
- g. Temperatur *cooling agent* bagian samping (T_7)

Data temperatur T_1 sampai dengan T_7 diambil menggunakan sensor temperatur yang dihubungkan dengan ADC. Pengambilan data temperatur ini dilakukan selama 60 menit (800 data) untuk setiap variasi pengujian dengan selang waktu 10 milidetik secara bersamaan untuk semua sensor.

4.2 Perhitungan

Perhitungan dilakukan untuk mencari besaran-besaran yang diperlukan sehingga dapat diketahui besarnya pengaruh besarnya penambahan *dry ice* pada garam dan es dari *cooling agent* dan putaran tabung logam terhadap penyerapan kalor pada proses pembuatan *ice cream*. Dalam bab ini hanya ditampilkan contoh perhitungan data dari salah satu variasi penambahan *dry ice* pada *cooling agent* dan putaran tabung logam, sedangkan perhitungan pada variasi yang lain sama dengan perhitungan ini. Sebagai contoh, perhitungan dilakukan pada perlakuan penambahan *dry ice* sebesar 30% pada garam dan es dari *cooling agent* dan putaran tabung logam 45 rpm, dengan data hasil pengujian sebagai berikut:

- | | |
|---|------------|
| ▪ Massa air (m_{air}) | = 0,155 kg |
| ▪ Massa padatan (m_{pdt}) | = 0,090 kg |
| ▪ Massa garam awal (m_{grm}) | = 0.525 kg |
| ▪ Massa garam sisa (m_{grmsisa}) | = 0.498kg |
| ▪ Massa larutan garam (m_{lrt}) | = 0.155 kg |

- Temperatur awal *ice cream* (T_{eko}) = 24 °C
- Temperatur akhir *ice cream* (T_{eki}) = -7.096 °C
- Temperatur awal permukaan dinding luar (T_{dlo}) = 14.482 °C
- Temperatur akhir permukaan dinding luar (T_{dli}) = -22.986 °C
- Temperatur awal *cooling agent* (T_{cao}) = -3.883 °C
- Temperatur akhir *cooling agent* (T_{cai}) = -40.037 °C
- Diameter luar tabung logam (D_o) = 0,124 m

4.2.1 Perhitungan berdasarkan Fisika

a. Kalor pembuatan *ice cream* (Q)

- Massa adonan (m_{adn})

$$\begin{aligned} m_{adn} &= m_{air} + m_{pada\ tan} \\ &= 0,155 + 0,090 \\ &= 0,245\ kg \end{aligned}$$

- Kandungan air (ω_{air})

$$\begin{aligned} \omega_{air} &= \frac{m_{air}}{m_{adn}} \\ &= \frac{0,155}{0,245} \\ &= 0,633 \end{aligned}$$

- Kapasitas kalor jenis adonan (C_{pa})

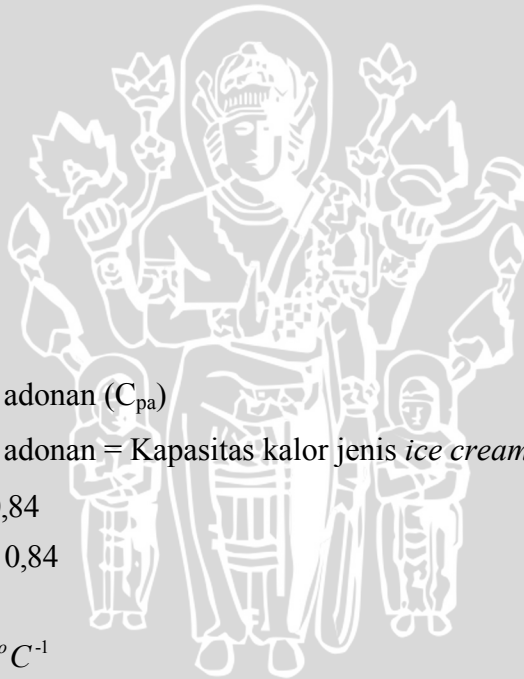
Kapasitas kalor jenis adonan = Kapasitas kalor jenis *ice cream* sebelum pembekuan

$$\begin{aligned} C_{pa} &= (3,35 \cdot \omega_{air}) + 0,84 \\ &= (3,35 \cdot 0,633) + 0,84 \\ &= 2,9605 + 0,84 \\ &= 2,9605\ kJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1} \\ &= 2960,5\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1} \end{aligned}$$

- Kapasitas kalor jenis *ice cream* (C_{pek})

Kapasitas kalor jenis *ice cream* = Kapasitas kalor jenis *ice cream* setelah pembekuan

$$\begin{aligned} C_{pek} &= (1,26 \cdot \omega_{air}) + 0,84 \\ &= (1,26 \cdot 0,633) + 0,84 \\ &= 0,79758 + 0,84 \\ &= 1,63758\ kJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1} \\ &= 1637,58\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1} \end{aligned}$$



- Kalor laten spesifik (L)

$$\begin{aligned} L &= 334 \cdot \omega_{air} \\ &= 334 \cdot 0,633 \\ &= 221,668 \text{ kJ kg}^{-1} \\ &= 221422 \text{ J kg}^{-1} \end{aligned}$$

- Kalor sensibel adonan (Q_1)

$$\begin{aligned} Q_1 &= m_{adn} C_{pa} \Delta T_1 \\ &= m_{adn} C_{pa} (T_{eko} - T_b) \\ &= 0,245 \cdot 2960,55 \{24 - 0\} \\ &= 725.33475 \cdot 24 \\ &= 17408.034 \text{ J} \end{aligned}$$

- Kalor laten *ice cream* (Q_2)

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_{adn} L \\ &= 0,245 \cdot 211422 \\ &= 51798,39 \text{ J} \end{aligned}$$

- Kalor sensibel *ice cream* (Q_3)

$$\begin{aligned} Q_3 &= m_{adn} C_{pek} \Delta T_3 \\ &= m_{adn} C_{pek} (T_b - T_{eki}) \\ &= 0,245 \cdot 1637,58 \{0 - (-7.096)\} \\ &= 401,2071 \cdot (7.096) \\ &= 2846.97 \text{ J} \end{aligned}$$

- Kalor pembuatan *ice cream* (Q_{ek})

$$\begin{aligned} Q_{ek} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= 17408,034 + 51798.39 + 2846.97 \\ &= 72053 \text{ J} \end{aligned}$$

b. Laju aliran kalor rata-rata (q)

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q_{ek}}{t} \\ &= \frac{72053}{3600} \\ &= 20.01 \text{ W} \end{aligned}$$

c. Koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata (h)

- Luas permukaan dinding luar bagian samping (A_{os})

$$A_{os} = \pi D_o L$$

$$= 3,14 \cdot 0,124 \cdot 115$$

$$= 0,0448 \text{ m}^2$$

- Luas permukaan dinding luar bagian bawah (A_{ob})

$$A_{ob} = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \cdot 0,124^2}{4}$$

$$= \frac{0,048305}{4}$$

$$= 0,01208 \text{ m}^2$$

- Luas permukaan kalor dinding luar (A_o)

$$A_o = A_{os} + A_{ob}$$

$$= 0,0448 + 0,01208$$

$$= 0,05688 \text{ m}^2$$

- Temperatur rata-rata dinding luar (T_{dl})

$$T_{dl} = \frac{T_{dlo} + T_{dli}}{2}$$

$$= \frac{14,482 + (-22,986)}{2}$$

$$= -4,252^\circ \text{C}$$

- Temperatur rata-rata *cooling agent* (T_{ca})

$$T_{ca} = \frac{T_{cao} + T_{cai}}{2}$$

$$= \frac{-3,8 + (-40,037)}{2}$$

$$= -21,96^\circ \text{C}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata (h)

$$q = h A_o \Delta T_l$$

$$= h A_o (T_{dl} - T_{ca})$$

maka,

$$h = \frac{q}{A_o (T_{dl} - T_{ca})}$$

$$= \frac{20,01}{0,05688 \{-4,252 - (-21,96)\}}$$

$$= 19,87 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$$

d. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata (U)

- Temperatur rata-rata *ice cream* (T_{ek})

$$\begin{aligned} T_{ek} &= \frac{T_{eko} + T_{eki}}{2} \\ &= \frac{24 + (-7.096)}{2} \\ &= 8.452^{\circ}C \end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata (U)

$$\begin{aligned} q &= UA_o \Delta T_2 \\ &= UA_o (T_{ek} - T_{ca}) \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} U &= \frac{q}{A_o (T_{ek} - T_{ca})} \\ &= \frac{20.01}{0.05688 \{8.452 - (-21.96)\}} \\ &= 11.57 W m^{-2} C^{-1} \end{aligned}$$



Hasil perhitungan kalor pembuatan *ice cream*, laju aliran kalor rata-rata, koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata untuk semua variasi penambahan *dry ice* pada *cooling agent* dan putaran tabung logam berdasarkan fisika ditabulasikan sebagai tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan kalor pembuatan *ice cream*, laju aliran kalor rata-rata, koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata berdasarkan fisika.

n (rpm)	Penambahan <i>dry ice</i> (%)	Q (J)	q (W)	h (W m⁻² K⁻¹)	U (W m⁻² K⁻¹)
45	15%	70410	19.55835	18.2764	11.18
	20%	71231	19.78637	18.999	11.3727
	25%	71813	19.94796	19.5247	11.4979
	30%	72053	20.01483	19.8711	11.5704
60	15%	70847	19.67982	18.7289	11.2963
	20%	71623	19.89536	19.0526	11.5486
	25%	71929	19.98017	19.6086	11.6677
	30%	72345	20.09585	20.687	11.7998

4.2.2 Perhitungan berdasarkan Perpindahan Kalor

a. Koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata (h)

- Konsentrasi larutan garam

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi larutan garam} &= \frac{\text{Massa garam terlarut}}{\text{Massa larutan garam}} \\ &= \frac{\text{Massa garam awal} - \text{Massa garam sisa}}{\text{Massa larutan garam}} \\ &= \frac{0,525 - 0,498}{0,155} \\ &= \frac{0,027}{0,155} \\ &= 0,1742\end{aligned}$$

Berdasarkan konsentrasi larutan garam, yaitu sebesar 0,1742 atau 17,42%, diperoleh sifat-sifat larutan garam sebagai berikut:

$$\rho = 1130 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\mu = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$\nu = 0,00248 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$C_p = 3450 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$k = 0,501 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$



- Kecepatan sudut (ω)

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{\pi n}{30} \\ &= \frac{\pi \cdot 45}{30} \\ &= 4,71 \text{ rad s}^{-1}\end{aligned}$$

- Bilangan Reynold (Re)

$$\begin{aligned}Re &= \frac{uD}{\nu} \\ &= \frac{\omega r D}{\nu} \\ &= \frac{4,71 \cdot 0,062 \cdot 0,124}{0,00248 \cdot 10^{-3}} \\ &= 14613,52\end{aligned}$$

- Bilangan Prandtl (Pr)

$$\begin{aligned}Pr &= \frac{\mu c_p}{k} \\ &= \frac{2,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3450}{0,501} \\ &= 19,281\end{aligned}$$

- Bilangan Nusselt (Nu)

Perhitungan bilangan Nusselt berdasarkan persamaan standar untuk silinder terbenam dengan Re pada daerah 4000 – 40.000:

$$\begin{aligned}Nu &= 0,193 Re^{0,618} Pr^{1/3} \\ &= 0,193 \cdot 14613,52^{0,618} \cdot 19,281^{1/3} \\ &= 193,78\end{aligned}$$

- Koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata (h)

$$Nu = \frac{hD}{k}$$

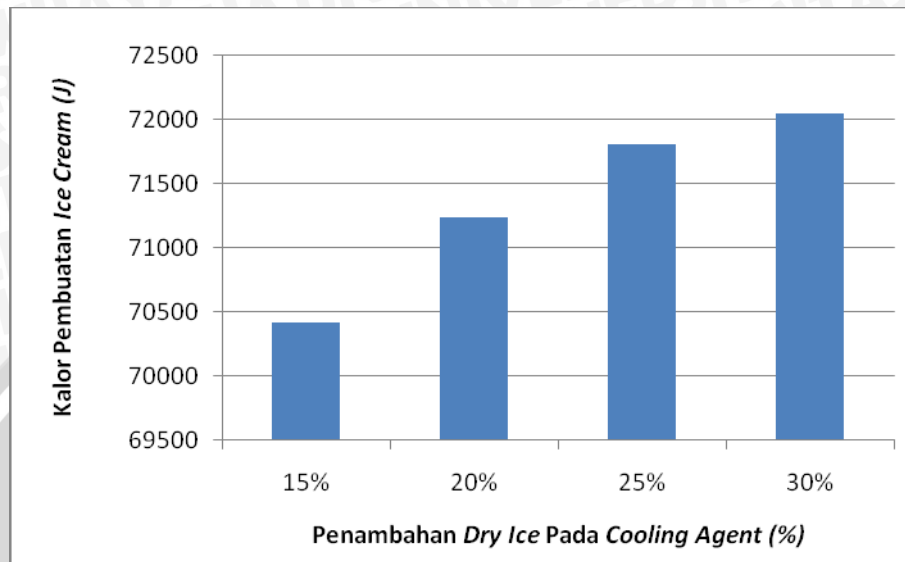
maka,

$$\begin{aligned}h &= \frac{Nu k}{D} \\ &= \frac{193,78 \cdot 0,501}{0,124} \\ &= 782,66 \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\end{aligned}$$

4.3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Penambahan *Dry Ice* pada *Cooling Agent* terhadap Penyerapan Kalor pada Proses Pembuatan *Ice Cream*

4.3.1.1 Kalor Pembuatan *Ice Cream*



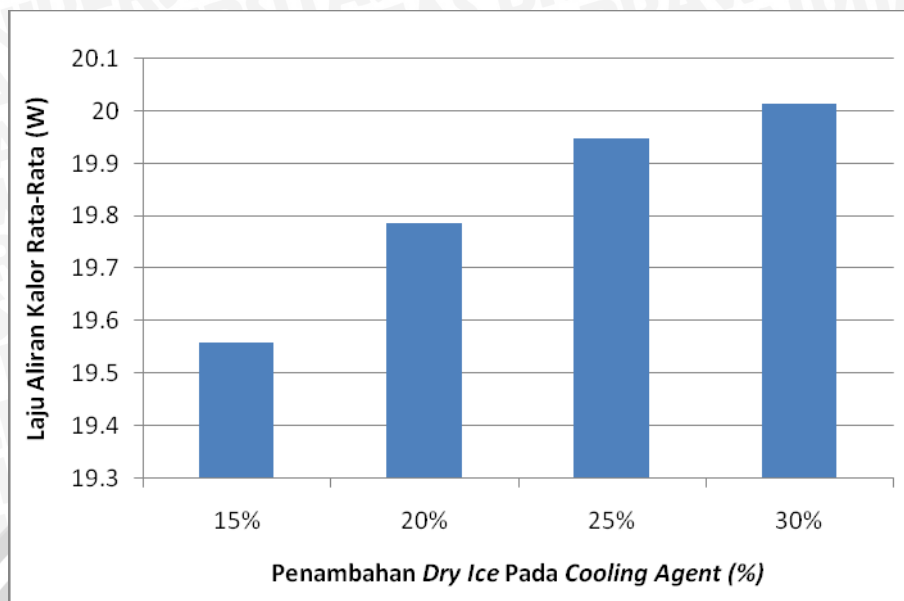
Gambar 4.1 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap kalor pembuatan *ice cream* untuk putaran 45 rpm

Kalor pembuatan *ice cream* merupakan kalor yang harus dikeluarkan dari adonan untuk merubah adonan menjadi *ice cream*. Menurut hukum keseimbangan energi, besarnya kalor yang dikeluarkan dari adonan sama dengan kalor yang diserap oleh *cooling agent*.

Pada gambar 4.1 dapat dilihat pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap kalor pembuatan *ice cream*, dimana untuk penambahan *dry ice* 30% menunjukkan nilai kalor pembuatan *ice cream* yang paling besar, diikuti oleh penambahan *dry ice* 25%, 20% dan 15 %.

Hal tersebut di atas disebabkan karena pada penambahan *dry ice* 30% memiliki temperatur akhir *ice cream* dan temperatur *cooling agent* yang paling rendah dibandingkan dengan variasi yang lain. Semakin rendah temperatur *ice cream* dengan temperatur awal adonan yang sama, maka akan meningkatkan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk membekukan *ice cream*.. Semakin rendah temperatur *cooling agent* maka semakin banyak pula kalor yang diserap oleh *cooling agent* pada *ice cream*.

4.3.1.2 Laju Aliran Kalor Rata-Rata

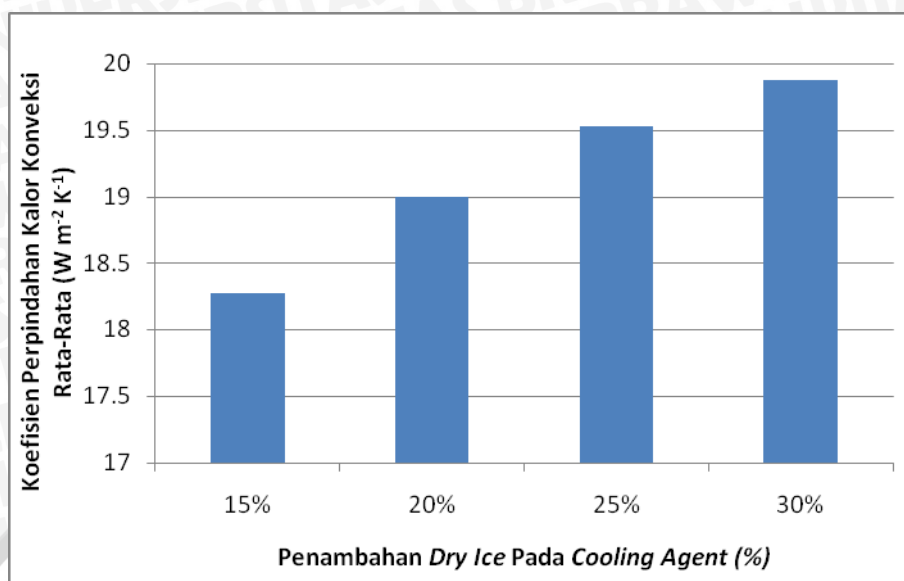


Gambar 4.2 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap laju aliran kalor rata-rata *ice cream* untuk putaran 45 rpm

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa laju aliran kalor terbesar terjadi pada penambahan *dry ice* 30%, dan diikuti oleh penambahan *dry ice* 25%, 20% dan 15 %.

Hal yang demikian disebabkan karena penambahan *dry ice* pada *cooling agent* membuat konsentrasi larutan garam yang timbul paling rendah. Konsentrasi yang kecil ini diakibatkan oleh gas karbondioksida yang dingin mencegah butiran-butiran garam mencair atau terlarut dengan es, oleh karena itu terbentuk larutan garam yang sedikit. Sehingga Penambahan *dry ice* 30% memiliki konsentrasi larutan garam yang paling rendah. Konsentrasi larutan mempengaruhi sifat-sifat larutan, dimana larutan dengan konsentrasi yang rendah akan membentuk larutan yang encer, viskositasnya rendah dengan kapasitas panas dan konduktivitas termal yang tinggi. Karena koefisien perpindahan kalor konveksi berbanding terbalik dengan viskositas kinematik dan berbanding lurus dengan kapasitas kalor dan konduktivitas termal, maka penambahan *dry ice* 30% memiliki nilai koefisien perpindahan kalor konveksi yang paling besar. Semakin rendah temperatur *cooling agent* maka akan semakin besar pula laju aliran kalor rata-rata yang terjadi.

4.3.1.3 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Rata-Rata

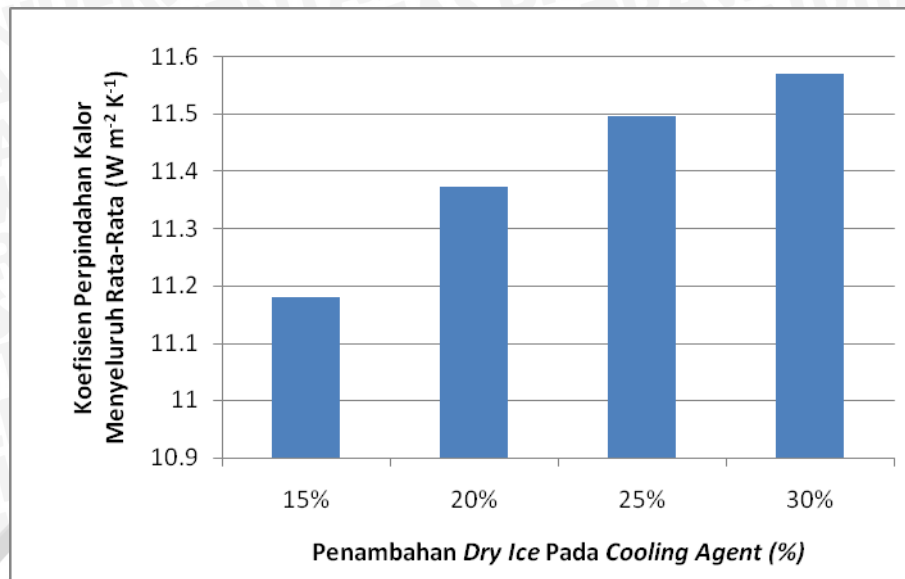


Gambar 4.3 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi *ice cream* untuk putaran 45 rpm

Pada gambar 4.3 dapat dilihat pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata, dimana untuk penambahan *dry ice* 30% menunjukkan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata yang paling besar, dan diikuti oleh penambahan *dry ice* 25%, 20% dan 15 %.

Hal yang demikian disebabkan karena penambahan *dry ice* 30% memiliki beda temperatur rata-rata dinding luar tabung dan *cooling agent* yang paling kecil. Karena beda temperatur rata-rata berbanding terbalik dengan koefisien perpindahan kalor konveksi maka dengan luas penampang yang besarnya tetap dan laju aliran kalor yang relatif sama maka penambahan *dry ice* 30% memiliki nilai koefisien perpindahan kalor konveksi yang paling besar.

4.3.1.4 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Rata-Rata



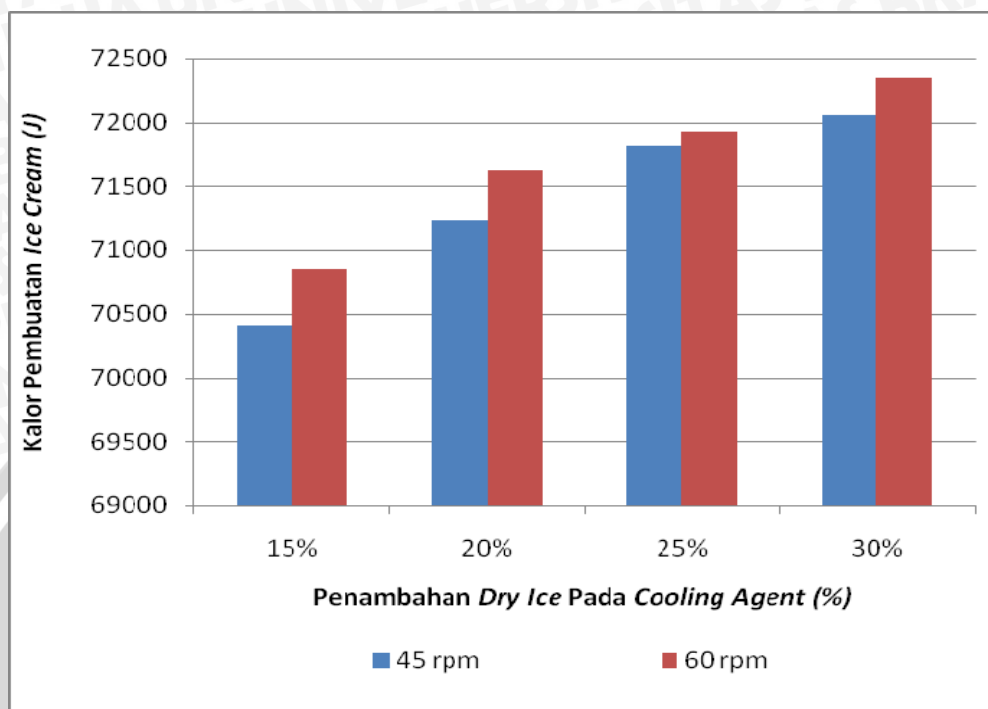
Gambar 4.4 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap Koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata *ice cream* untuk putaran 45 rpm

Dari gambar 4.4 dapat dinyatakan bahwa nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata terbesar terjadi pada penambahan *dry ice* 30 %, dan diikuti oleh penambahan *dry ice* 25%, 20% dan 15 %..

Hal tersebut diatas disebabkan karena pada penambahan *dry ice* 30 % memiliki beda temperatur rata-rata *ice cream* dan *cooling agent* yang paling kecil. Karena koefisien perpindahan kalor menyeluruh berbanding terbalik dengan beda temperatur rata-rata *ice cream* dan *cooling agent*, maka nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruhnya menjadi yang paling besar. Sebaliknya pada penambahan *dry ice* 15%, beda temperatur antara adonan dan *cooling agent* paling besar, sehingga nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruhnya paling rendah. Jadi semakin besar beda temperatur antara adonan dan *cooling agent*, dengan luas penampang yang sama dan laju aliran kalor yang besarnya relatif sama maka semakin kecil koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-ratanya.

4.3.1 Pengaruh Putaran terhadap Penyerapan Kalor pada Proses Pembuatan *Ice Cream*

4.3.2.1 Kalor Pembuatan *Ice Cream*

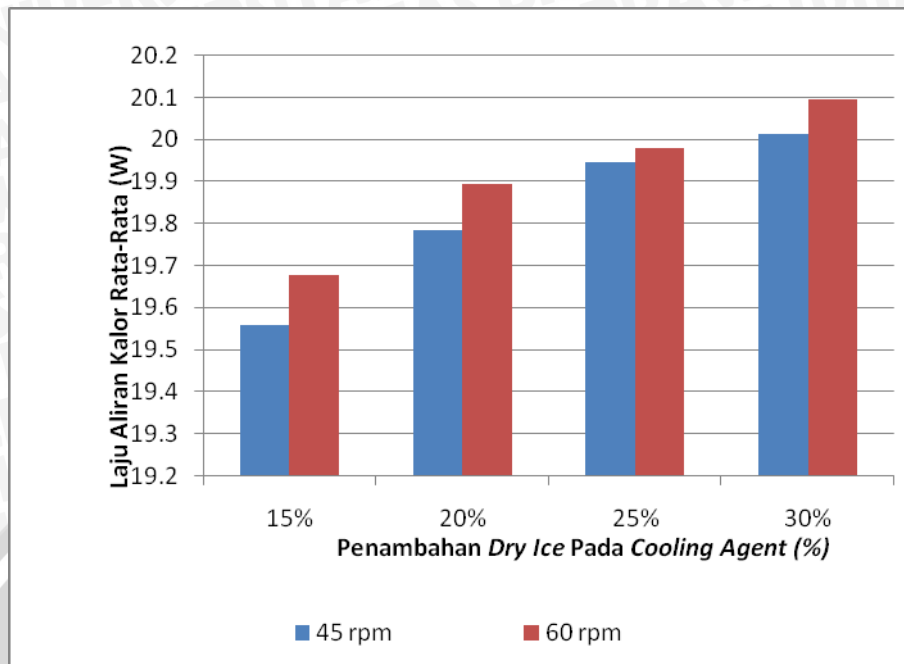


Gambar 4.5 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap kalor pembuatan *ice cream* pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm.

Gambar 4.5 menunjukkan kecenderungan kalor pembuatan *ice cream* yang sama antara variasi putaran tabung logam 45 rpm dan 60 rpm. Pada putaran 45 rpm, kalor pembuatan *ice cream* memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan kalor pada putaran 60 rpm. Jadi pada putaran 60 rpm *cooling agent* menyerap lebih banyak kalor dibandingkan pada putaran 45 rpm.

Hal yang demikian disebabkan karena pada putaran 45 rpm memiliki konsentrasi larutan garam yang terbentuk lebih tinggi daripada putaran 60 rpm untuk perbandingan garam dan es yang sama. Larutan dengan konsentrasi yang lebih tinggi memiliki nilai kapasitas panas lebih rendah, sehingga kalor yang diserap digunakan untuk menaikkan beda temperatur yang mengakibatkan temperatur akhir *cooling agent* menjadi lebih tinggi. Dengan temperatur *cooling agent* yang lebih tinggi maka penyerapan kalornya menjadi lebih rendah.

4.3.2.2 Laju Aliran Kalor Rata-Rata

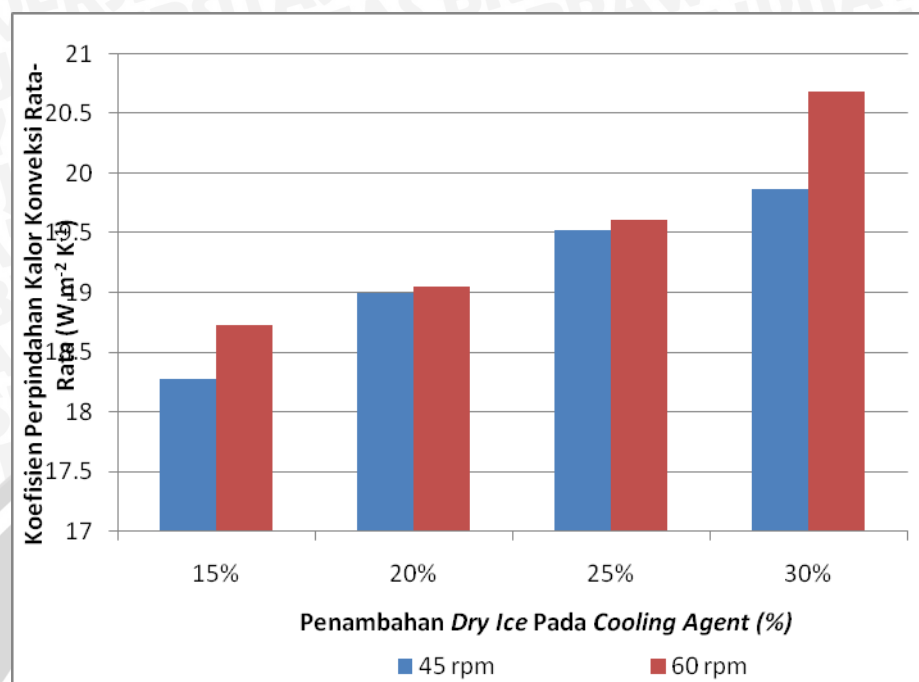


Gambar 4.6 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap laju aliran kalor rata-rata pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm

Gambar 4.6 menunjukkan kecenderungan laju aliran kalor rata-rata yang sama antara variasi putaran tabung logam 45 rpm dan 60 rpm. Pada putaran 45 rpm, laju aliran kalornya lebih rendah dibandingkan dengan putaran 60 rpm.

Hal tersebut diatas disebabkan karena semakin tinggi putaran akan mengakibatkan kecepatan tangensial tabung menjadi semakin tinggi, sehingga bilangan Reynold akan semakin tinggi. Sebagai konsekuensinya bilangan Nusselt juga akan semakin tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan kemampuan transfer kalor permukaan. Karena laju aliran kalor berbanding lurus dengan koefisien perpindahan kalor permukaan, maka semakin besar koefisien perpindahan kalor permukaan, laju aliran kalornya menjadi semakin besar pula.

4.3.2.3 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Rata-Rata



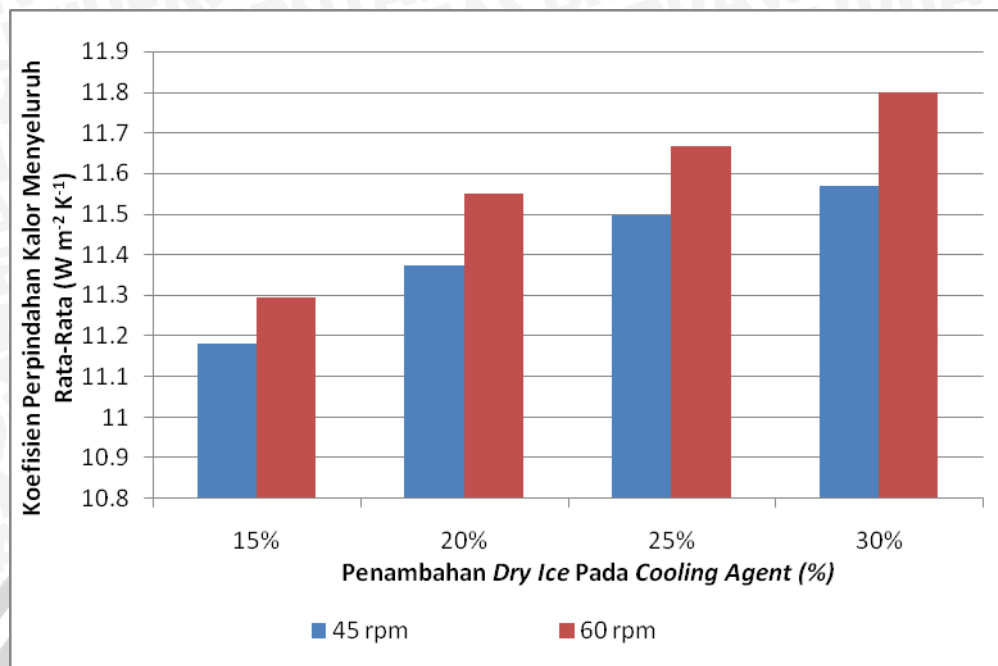
Gambar 4.7 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm

Gambar 4.7 menunjukkan kecenderungan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata yang hampir sama. Pada putaran 45 rpm koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata memiliki nilai yang lebih rendah daripada putaran 60 rpm.

Hal tersebut di atas disebabkan karena perbedaan sifat-sifat *cooling agent* yang dipengaruhi oleh konsentrasi larutan garam yang terjadi. Putaran 45 rpm memiliki konsentrasi larutan garam lebih tinggi dibandingkan dengan putaran 60 rpm untuk perbandingan garam dan es yang sama, sehingga nilai koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata putaran 45 rpm lebih rendah dibandingkan dengan putaran 60 rpm.

Selain itu kecepatan putaran tabung juga mempengaruhi koefisien perpindahan kalor permukaan. Karena semakin tinggi putaran akan mengakibatkan kecepatan tangensial tabung menjadi semakin tinggi, sehingga bilangan Reynold akan semakin tinggi. Sebagai konsekuensinya bilangan Nusselt juga akan semakin tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan kemampuan transfer kalor permukaan.

4.3.2.4 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Rata-Rata

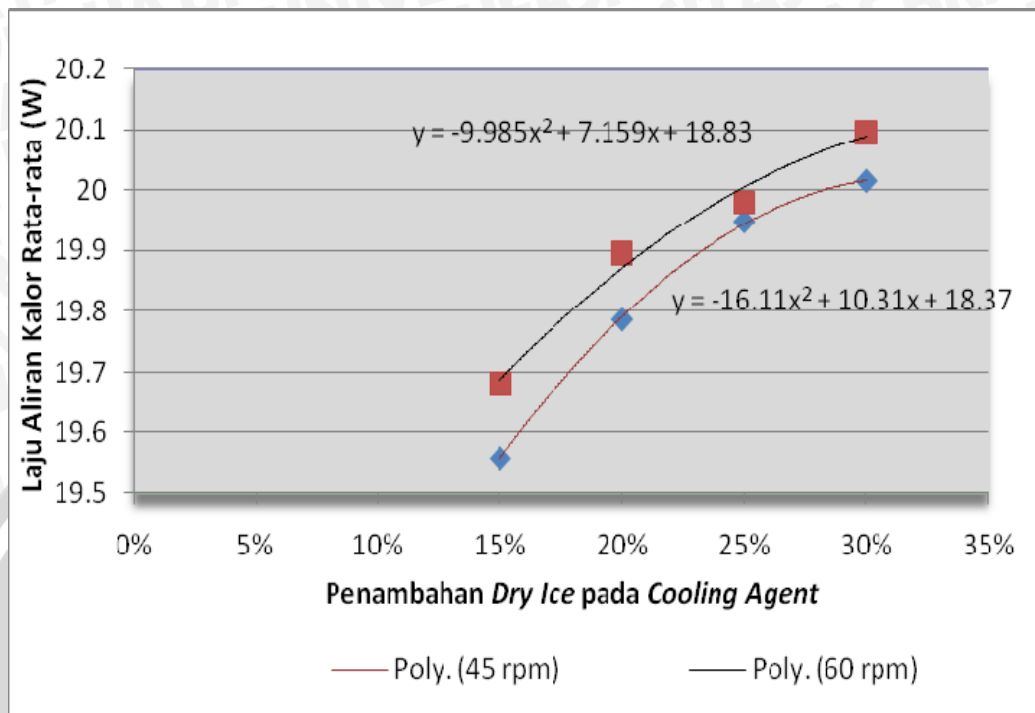


Gambar 4.8 Diagram pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata pada putaran 45 rpm dan putaran 60 rpm

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada putaran 60 rpm memiliki koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata lebih besar dari pada putaran 45 rpm.

Hal tersebut di atas disebabkan karena pada putaran 45 rpm memiliki beda temperatur antara adonan dan *cooling agent* yang lebih besar daripada putaran 60 rpm. Karena koefisien perpindahan kalor menyeluruh berbanding terbalik dengan beda temperatur antara adonan dan *cooling agent*, dengan luas penampang yang sama dan besarnya laju aliran kalor yang relatif sama besar, maka semakin rendah beda temperatur antara keduanya nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruhnya menjadi semakin besar.

4.3.3 Laju Perpindahan Kalor Rata-Rata berdasarkan Fisika dan Perpindahan Kalor



Gambar 4.9 Grafik pengaruh penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap laju aliran kalor berdasarkan fisika

Dari grafik diatas dapat dilihat semakin besar penambahan *dry ice* maka laju aliran kalor rata-rata semakin besar dan semakin cepat putaran tabung maka dapat memperbesar laju aliran kalor rata-rata juga.

Dari perhitungan secara perpindahan kalor dan secara fisika dapat dilihat bahwa penambahan *dry ice* pada *cooling agent* terhadap laju aliran kalor memiliki kecenderungan yang berbeda, dimana nilai laju aliran kalor berdasarkan perpindahan kalor lebih besar daripada fisika. Jadi lebih banyak kalor yang diserap pada perhitungan perpindahan kalor dibandingkan dengan perhitungan fisika.

Perbedaan nilai laju aliran kalor tersebut disebabkan karena pada perhitungan perpindahan kalor didekati berdasarkan rumus standar untuk silinder terbenam, dimana hubungan sifat-sifat fluida, dimensi dan kondisi operasi dinyatakan dengan persamaan:

$$Nu = 0,193 Re^{0,618} Pr^{1/3}$$

Karena koefisien perpindahan kalor konveksi berhubungan dengan bilangan Nusselt, maka semakin besar nilai koefisien perpindahan kalor konveksi, semakin besar pula kalor yang dapat diserap. Dengan demikian untuk mencari bilangan Nusselt pada

sistem yang diamati harus dikalikan suatu faktor koreksi agar besarnya kalor yang diserap sesuai dengan yang terjadi pada perhitungan fisika, dinyatakan dengan:

$$Nu = 0.0049Re^{0.618}Pr^{1/3}$$

Persamaan tersebut diatas berlaku untuk penambahan *dry ice* pada *cooling agent* antara 15% sampai 30%.



BAB V PENUTUP

1.7 Kesimpulan

Dari pembahasan terhadap hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Penambahan *dry ice* pada *cooling agent* mempengaruhi penyerapan kalor pada proses pembuatan *ice cream*, semakin besar jumlah *dry ice* yang ditambahkan pada *cooling agent* maka tingkat penyerapan kalornya semakin bertambah, sedangkan pengaruh terbesar adalah pada putaran 60 rpm.
- Semakin cepat putaran tabung logam maka tingkat penyerapan kalornya semakin bertambah.
- Laju aliran kalor terbesar adalah 20,042 W pada variasi penambahan *dry ice* 30 % dan putaran 60 rpm.

1.8 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan mengambil variasi putaran tabung logam yang lebih luas.
2. Perlu dilakukan penelitian yang menggunakan periode pengadukan yang lebih pendek.
3. Perlu adanya penelitian dengan variasi rasa dan adonan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A.; 1998: *Heat Transfer: A Practical Approach*; International edition; McGraw-Hill, Inc., New York.

Desrosier, Norman W.; 1988: *Teknologi Pengawetan Pangan*; Alih bahasa: Muchji Muljohardjo; Edisi ketiga; Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

Holman, J.P.; 1991: *Perpindahan Kalor*; Alih bahasa: Ir. E. Jafri, M.Sc.; Edisi kelima; Erlangga, Jakarta.

Kreith, Frank; 1986: *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*; Alih bahasa: Arko Prijono, M.Sc.; Edisi ketiga; Erlangga, Jakarta.

Welty, James R., et al.; 2002: *Dasar-Dasar Fenomena Transport Transfer Panas*; Alih bahasa: Ir. Gunawan Prasetio; Edisi keempat; Erlangga, Jakarta.

www.antoine.froburg.edu (*Why does Salt Melt Ice*)

www.Commons.wikimedia.org

www.engineeringtoolbox.com

www.foodsci.uoguelph.ca (*Finding Science in Ice Cream*)



LAMPIRAN



Lampiran 1. Tabel sifat-sifat makanan

Food	Water content, ^a % (mass)	Freezing point, ^a °C	Specific heat, ^b kJ/kg °C		Latent heat of fusion, ^c kJ/kg
			Above freezing	Below freezing	
Almonds	5	-	-	0,89	17
Butter	16	-	-	1,04	53
Cheese, cheddar	37	-12,9	2,08	1,31	124
Cheese, Swiss	39	-10,0	2,15	1,33	130
Chocolate, milk	1	-	-	0,85	3
Eggs, whole	74	-0,6	3,32	1,77	247
Honey	17	-	-	1,05	57
Ice cream	63	-5,6	2,95	1,63	210
Milk, whole	88	-0,6	3,79	1,95	294
Peanuts	6	-	-	0,92	20
Peanuts, roasted	2	-	-	0,87	7
Pecans	3	-	-	0,87	10
Walnuts	4	-	-	0,88	13

Sources: ^aWater content and freezing point data are from ASHRAE, *Handbook of Fundamental*, SI version (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Chap. 30, Table 1. Used with permission. Freezing point is the temperature at which freezing starts for fruits and vegetables, and the average freezing temperature for other foods.

^bSpecific heat data are based on specific heat values of water and ice at 0°C and are determined from Siebel's formulas: $C_{p, \text{fresh}} = 3,35 \times (\text{Water content}) + 0,84$, above freezing, and $C_{p, \text{frozen}} = 1,26 \times (\text{Water content}) + 0,84$, below freezing.

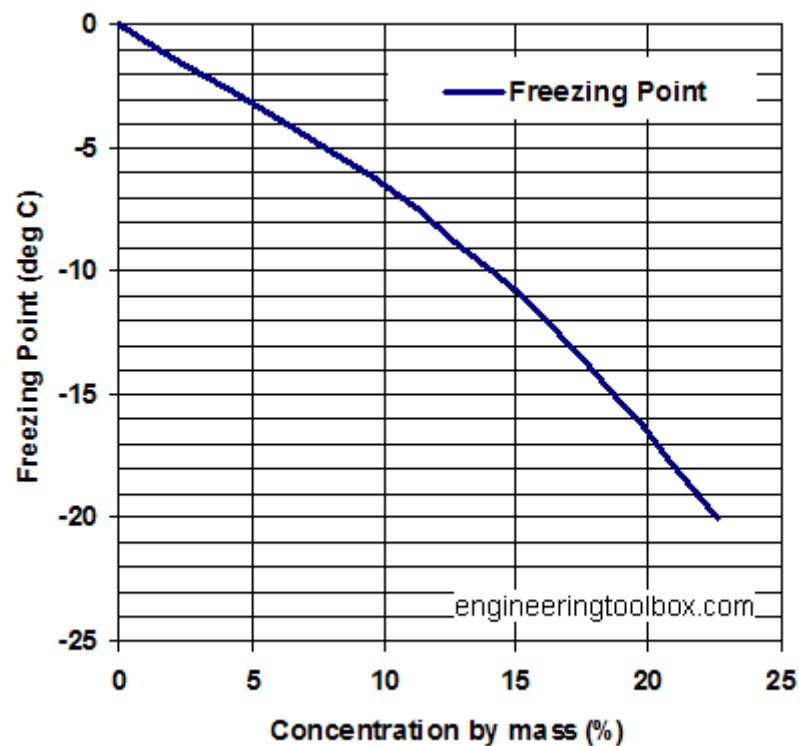
^cThe latent heat of fusion is determined by multiplying the heat of fusion of water (334 kJ/kg) by the water content of the food.

(Sumber: Cengel; 1998: 955)

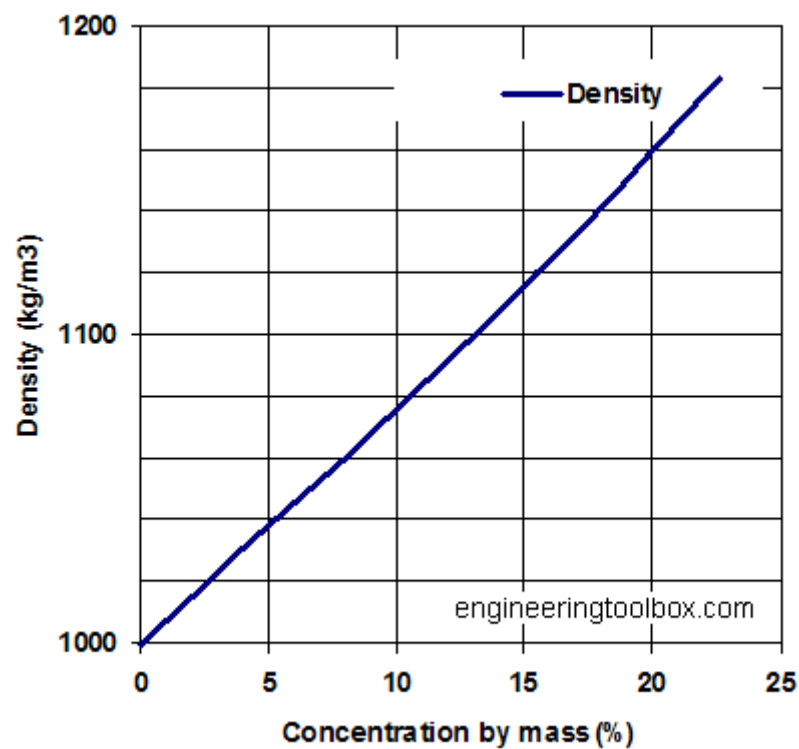


Lampiran 2. Sifat-sifat NaCl dan larutannya dalam air

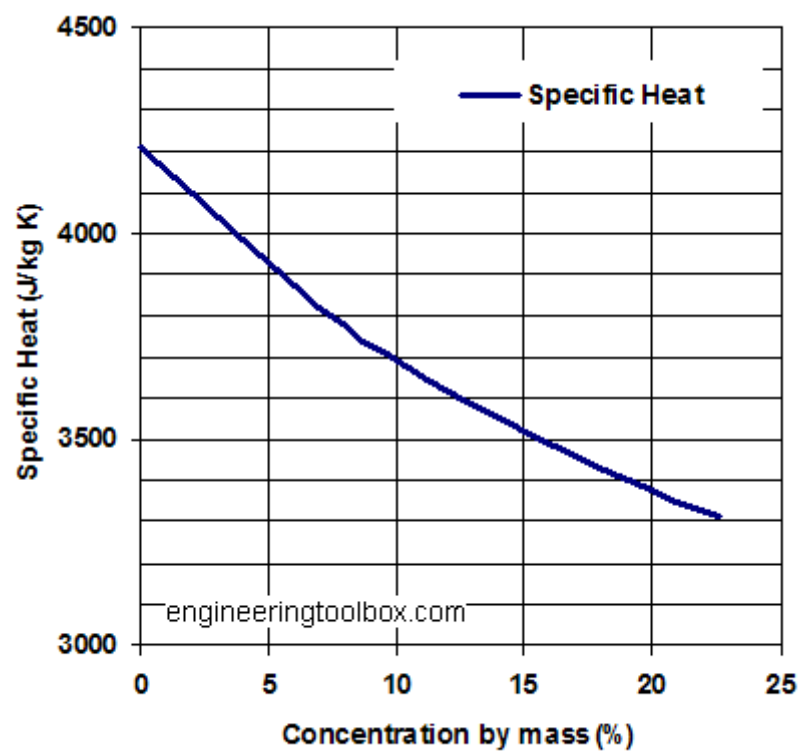
▪ Temperatur Beku



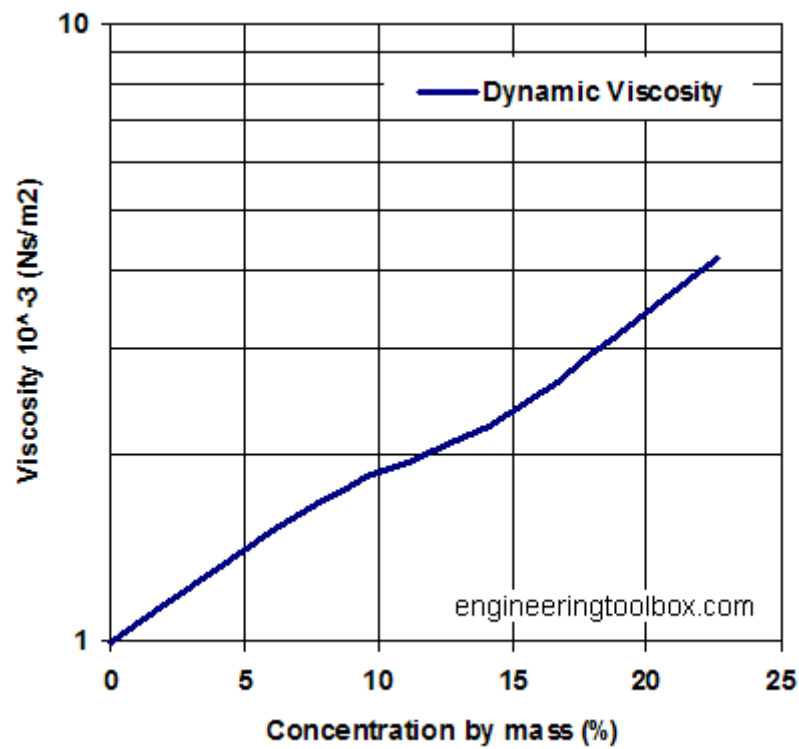
▪ Massa Jenis



▪ Kapasitas Panas Jenis



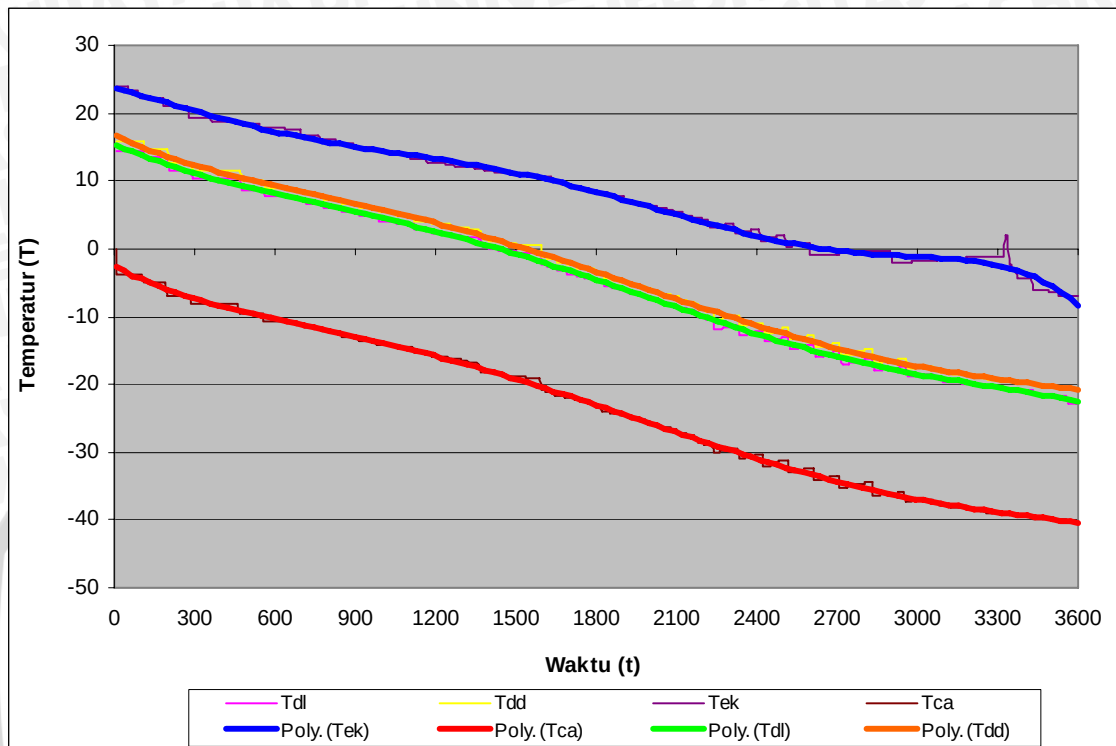
▪ Viskositas Dinamik



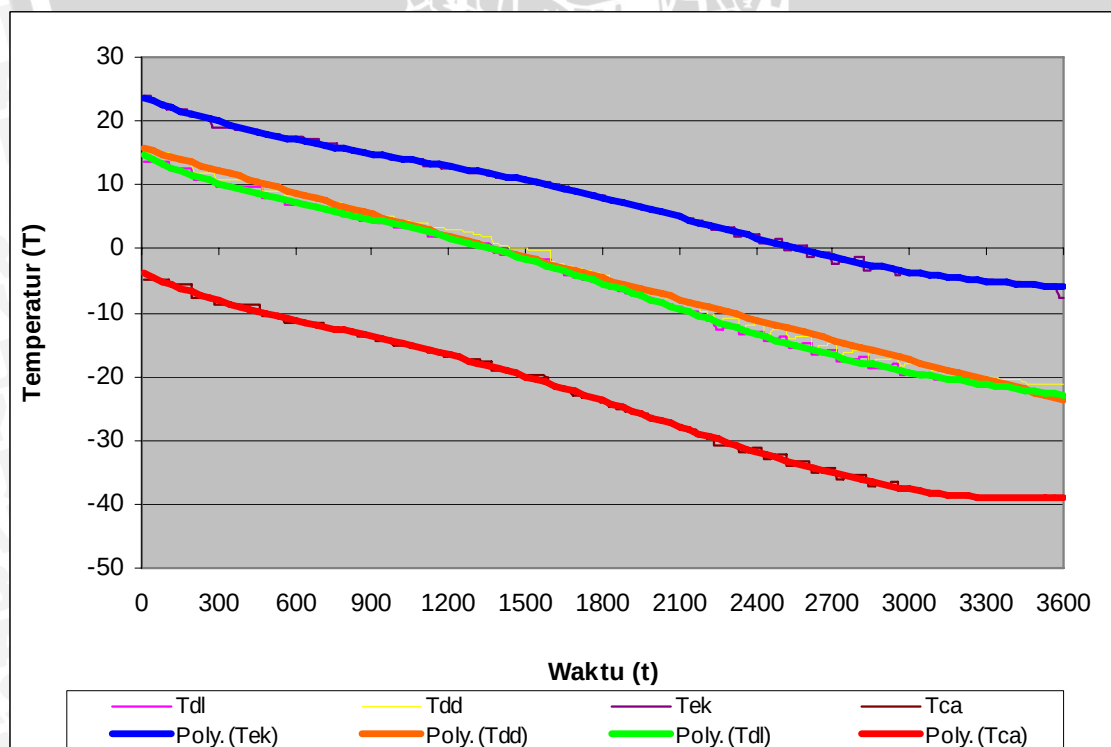
(Sumber: www.engineeringtoolbox.com)

Lampiran 3. Data hasil penelitian

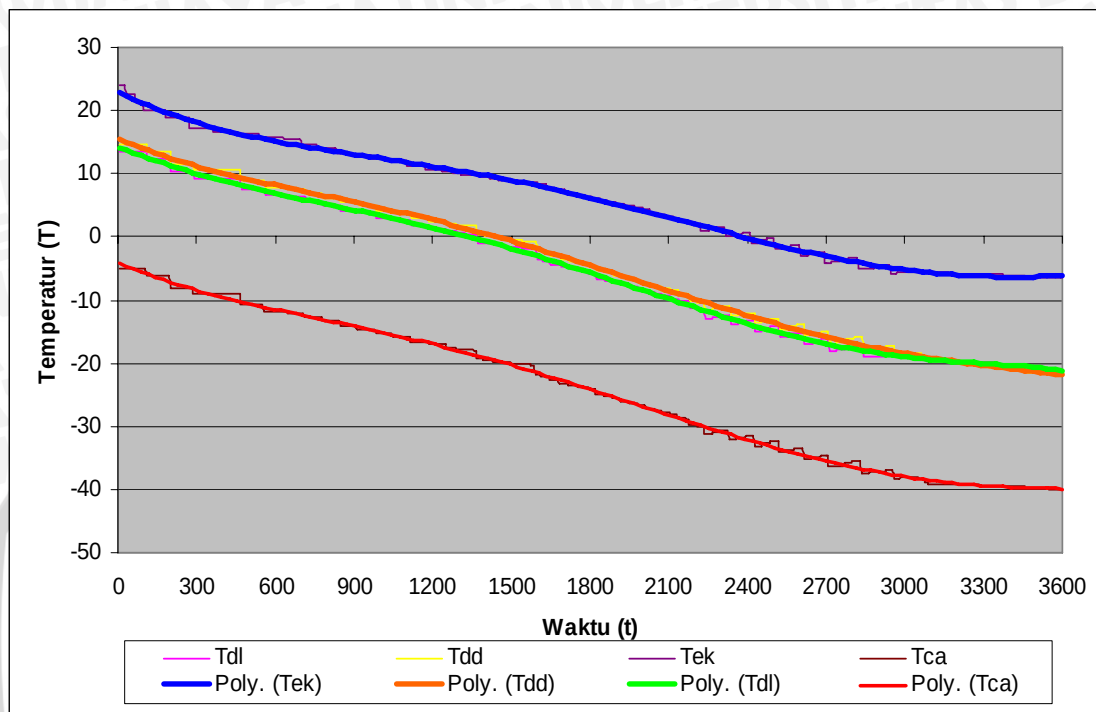
- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan *dry ice* 30 % putaran 45 rpm



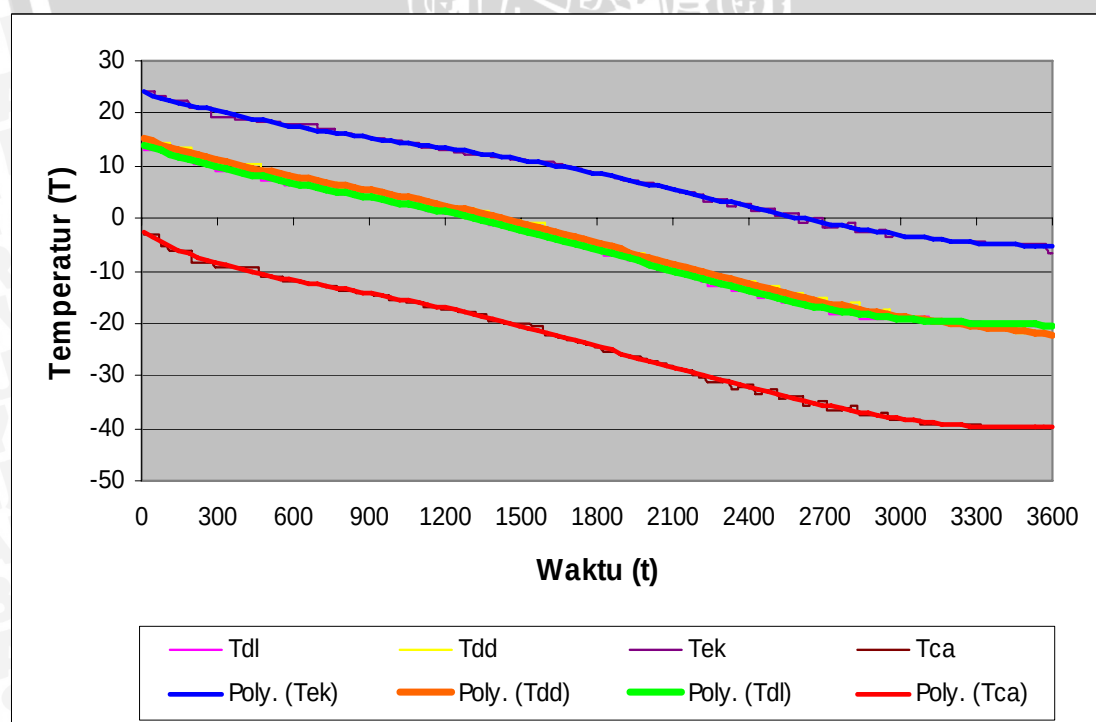
- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan *dry ice* 30 % putaran 60 rpm



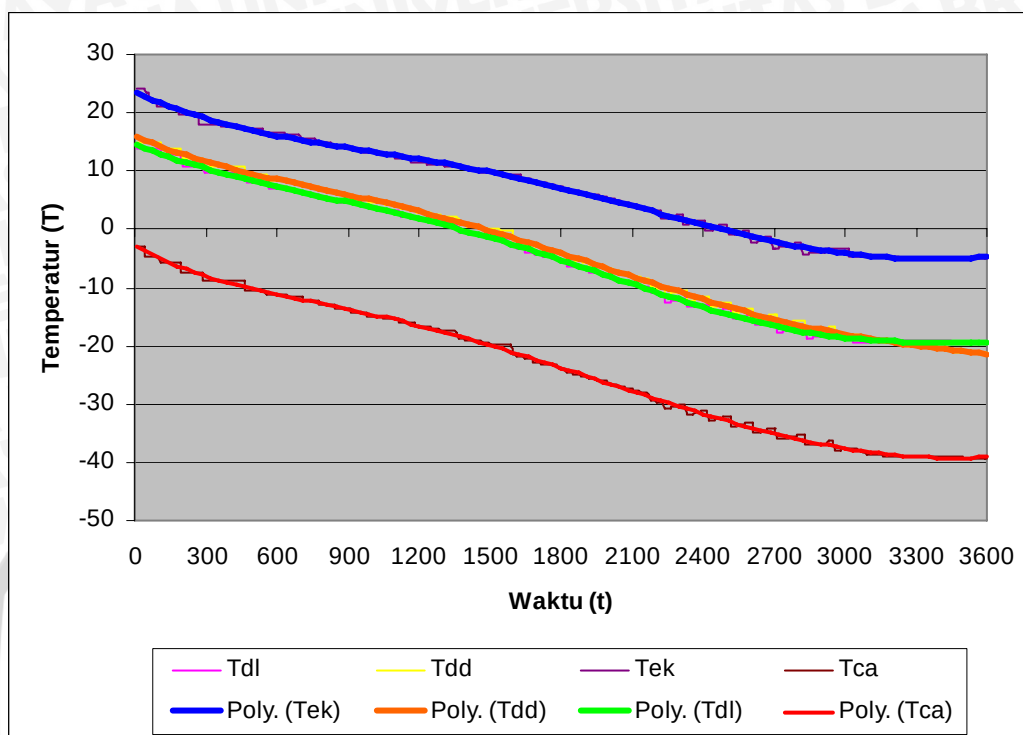
- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan dry ice 25 % putaran 45 rpm



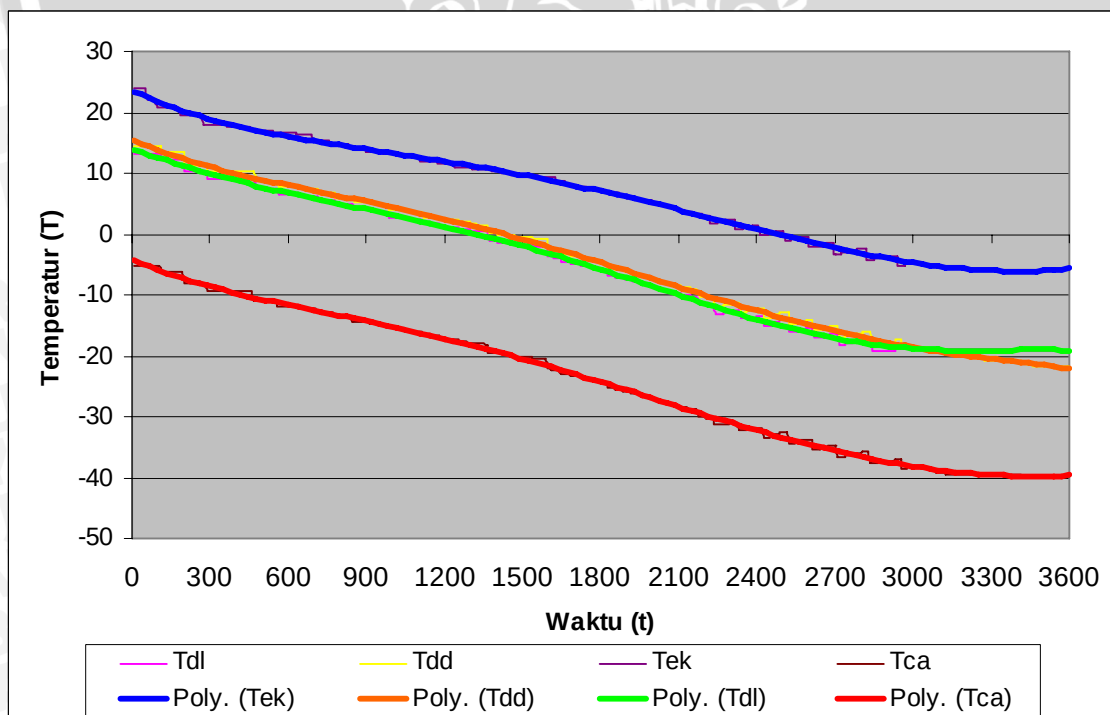
- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan dry ice 25 % putaran 60 rpm



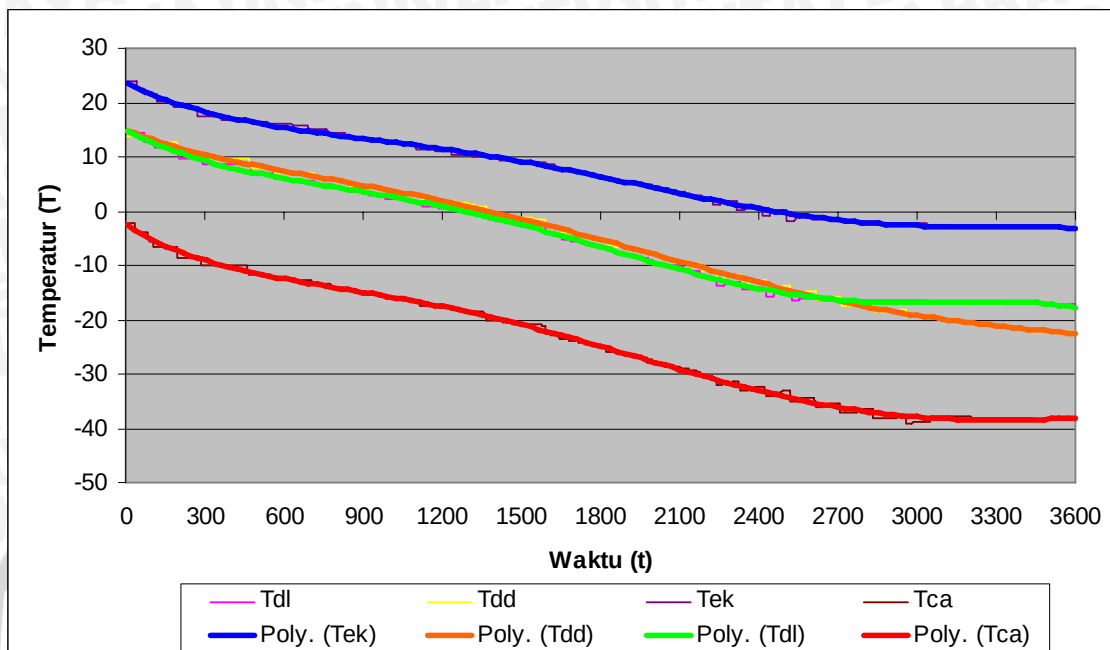
- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan dry ice 20 % putaran 45 rpm



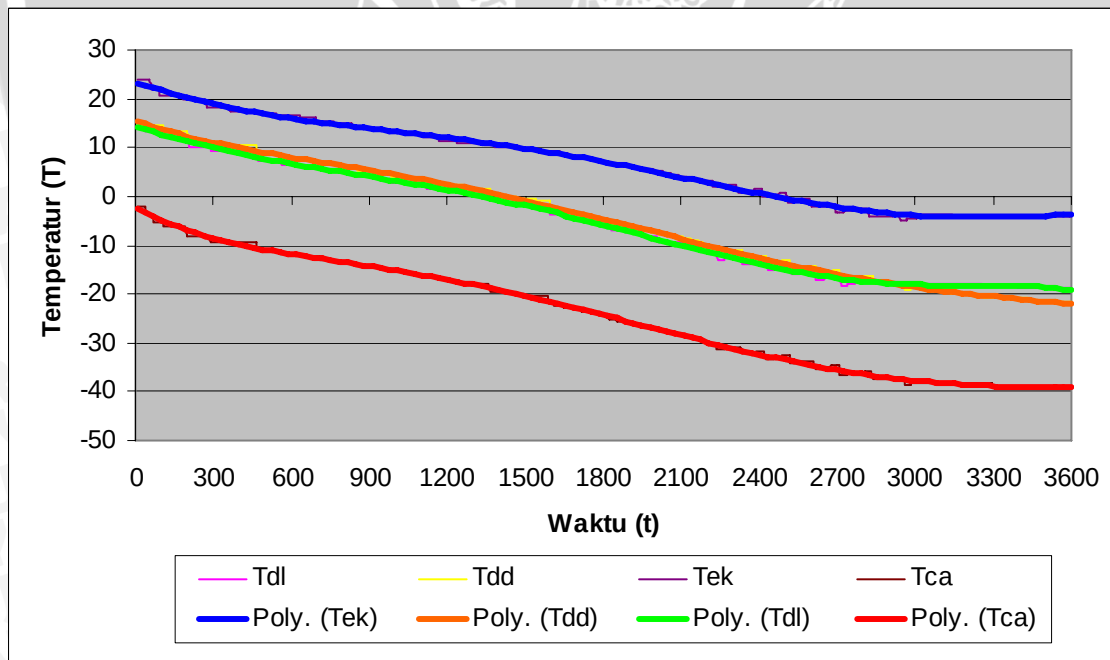
- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan dry ice 20 % putaran 60 rpm



- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan dry ice 15 % putaran 45 rpm



- Grafik perubahan temperatur rata-rata terhadap waktu untuk variasi penambahan dry ice 15 % putaran 60 rpm



lampiran 4. Perhitungan berdasarkan fisika

n (rpm)	Penambahan Dry Ice (%)	M _{grm} (kg)	M _{es} (kg)	M _{pdt} (kg)	M _{air} (kg)	M _{adn} (kg)	M _{dry ice} (kg)	T _{ek} (°C)			T _{dl} (°C)			T _{ca} (°C)			ω (%)
								T _{ekaw}	T _{ekak}	T _{ek}	T _{dlaw}	T _{dlak}	T _{dl}	T _{caaw}	T _{caak}	T _{ca}	
45	30	0.525	0.525	0.90	0.15	0.243	0.45	24	-7.096	8.452	14.482	-22.986	-4.252	-3.883	-40.037	-21.96	4.71
	25	0.562	0.562	0.90	0.15	0.243	0.375	24	-6.496	8.752	13.36	-20.935	-3.787	-3.546	-39.953	-21.75	4.71
	20	0.6	0.6	0.90	0.15	0.243	0.3	24	-5.046	9.477	13.785	-19.387	-2.801	-2.978	-39.243	-21.11	4.71
	15	0.637	0.637	0.90	0.15	0.243	0.225	24	-3	10.5	14.352	-17.236	-1.442	-2.056	-38.456	-20.25	4.71
60	30	0.525	0.525	0.90	0.15	0.243	0.45	24	-7.823	8.088	13.682	-23.231	-4.774	-4.683	-39.023	-22.02	6.28
	25	0.562	0.562	0.90	0.15	0.243	0.375	24	-6.785	8.607	13.156	-20.325	-3.584	-3.054	-39.943	-21.99	6.28
	20	0.6	0.6	0.90	0.15	0.243	0.3	24	-6.024	8.988	13.193	-19.075	-2.941	-2.876	-39.723	-21.3	6.28
	15	0.637	0.637	0.90	0.15	0.243	0.225	24	-4.09	9.955	14.365	-18.765	-2.2	-2.06	-39.287	-20.67	6.28

C _{pa} (J kg ⁻¹ °C)	C _{pek} (J kg ⁻¹ °C)	L (J kg ⁻¹)	Q ₁ (J)	Q ₂ (J)	Q ₃ (J)	Q _{ek} (J)	q (W)	A _{os} (m ²)	A _{ob} (m ²)	A _o (m ²)	h (W m ⁻² K ⁻¹)	U (W m ⁻² K ⁻¹)
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	2846.966	72053	20.015	0,044817	0,012081	0,056898	19.8711	11.57
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	2606.241	71813	19.948	0,044817	0,012081	0,056898	19.5247	11.498
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	2024.491	71231	19.786	0,044817	0,012081	0,056898	18.999	11.373
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	1203.621	70410	19.558	0,044817	0,012081	0,056898	18.2764	11.18
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	3138.643	72345	20.096	0,044817	0,012081	0,056898	20.687	11.8
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	2722.19	71929	19.98	0,044817	0,012081	0,056898	19.6086	11.668
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	2416.872	71623	19.895	0,044817	0,012081	0,056898	19.0526	11.549
2960.5	1637.58	221422	17408.034	51798.39	1640.937	70847	19.68	0,044817	0,012081	0,056898	18.7289	11.296

lampiran 5. Perhitungan berdasarkan perpindahan kalor

n (rpm)	Penambahan Dry Ice (%)	Konsentrasi larutan (%)	ρ (kg m ⁻³)	$\mu \cdot 10^{-3}$ (kg m ⁻³ s ⁻¹)	$\nu \cdot 10^{-3}$ (m ² s ⁻¹)	C_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	k (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Re	Pr	Nu
45	30	17.419	1130	2.8	0.0025	3450	0.501	14613.52	19.2814	193.788
	25	19.231	1145	3.3	0.0029	3390	0.485	12563.94	23.066	187.364
	20	20	1160	3.6	0.0031	3380	0.48	11667.82	25.35	184.706
	15	20.455	1165	3.7	0.0032	3375	0.475	11401.41	26.2895	184.308
60	30	12.5	1090	2.1	0.0019	3600	0.525	25059.95	14.4	245.393
	25	18.333	1135	3	0.0026	3500	0.489	18266.18	21.4724	230.554
	20	19.685	1155	3.4	0.0029	3385	0.485	16401.22	23.7299	223.01
	15	19.928	1157	3.5	0.003	3383	0.483	15960.2	24.5145	221.673

h (W m ⁻² K ⁻¹)	A ₀ (m ²)	T _{dl} (°C)	T _{ca} (°C)	ΔT_1 (°C)	q (W)	Q (J)	T _{ek} (°C)	ΔT_2 (°C)	U (W m ⁻² °C ⁻¹)
782.966	0,056898	-4.252	-21.96	17.708	788.63	2839061.319	8.452	30.412	455.8980162
732.836	0,056898	-3.7875	-21.75	17.962	748.72	2695402.008	8.752	30.5015	431.5590829
714.992	0,056898	-2.801	-21.11	18.3095	730.39	2629405.283	9.477	30.5875	424.6680239
706.02	0,056898	-1.442	-20.25	18.814	735.46	2647660.183	10.5	30.756	427.3548571
1038.96	0,056898	-4.7745	-22.02	17.0785	1009.3	3633383.391	8.088	29.9415	592.6190179
909.199	0,056898	-3.5845	-21.99	17.914	926.43	3335136.092	8.607	30.106	541.0014317
872.257	0,056898	-2.441	-21.3	18.8585	893.47	3216502.776	8.988	30.2875	533.6062621
863.452	0,056898	-1.7	-20.67	18.9735	875.37	3151326.147	9.955	30.6285	522.0665688

Lampiran 6. Perhitungan koefisien koreksi

n (rpm)	Penambahan Dry Ice (%)	h ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)		C
		Fisika	Perpindahan Kalor	
45	30	19.8711	782.966	0.02538
	25	19.5247	732.836	0.02664
	20	18.999	714.992	0.02657
	15	18.2764	706.02	0.02589
60	30	20.687	1038.96	0.01991
	25	19.6086	909.199	0.02157
	20	19.0526	872.257	0.02184
	15	18.7289	863.452	0.02169

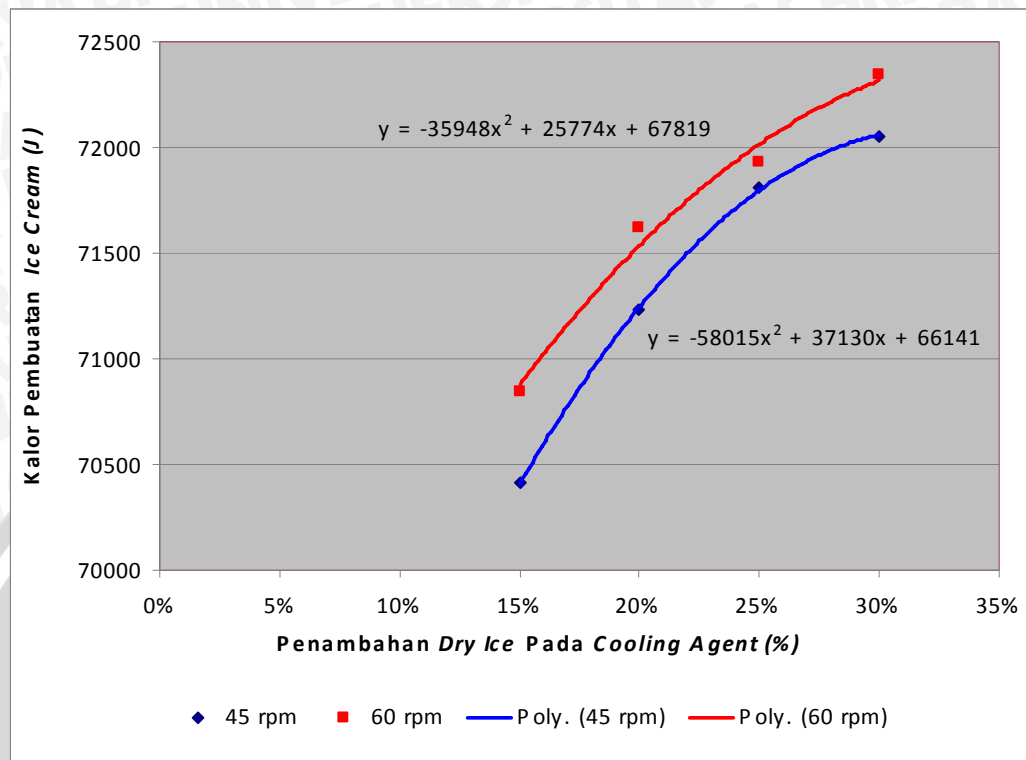
Lampiran 7. Perhitungan berdasarkan rumus empirik hasil penelitian

n (rpm)	Penambahan Dry Ice (%)	Konsentrasi larutan (%)	ρ (kg m ⁻³)	$\mu \cdot 10^{-3}$ (kg m ⁻³ s ⁻¹)	$\nu \cdot 10^{-3}$ (m ² s ⁻¹)	C_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	k (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Re	Pr	Nu
45	30	17.419	1130	2.8	0.0025	3450	0.501	14613.52	19.2814	4.918
	25	19.231	1145	3.3	0.0029	3390	0.485	12563.94	23.066	4.992
	20	20	1160	3.6	0.0031	3380	0.48	11667.82	25.35	4.908
	15	20.455	1165	3.7	0.0032	3375	0.475	11401.41	26.2895	4.771
60	30	12.5	1090	2.1	0.0019	3600	0.525	25059.95	14.4	4.886
	25	18.333	1135	3	0.0026	3500	0.489	18266.18	21.4724	4.972
	20	19.685	1155	3.4	0.0029	3385	0.485	16401.22	23.7299	4.871
	15	19.928	1157	3.5	0.003	3383	0.483	15960.2	24.5145	4.808

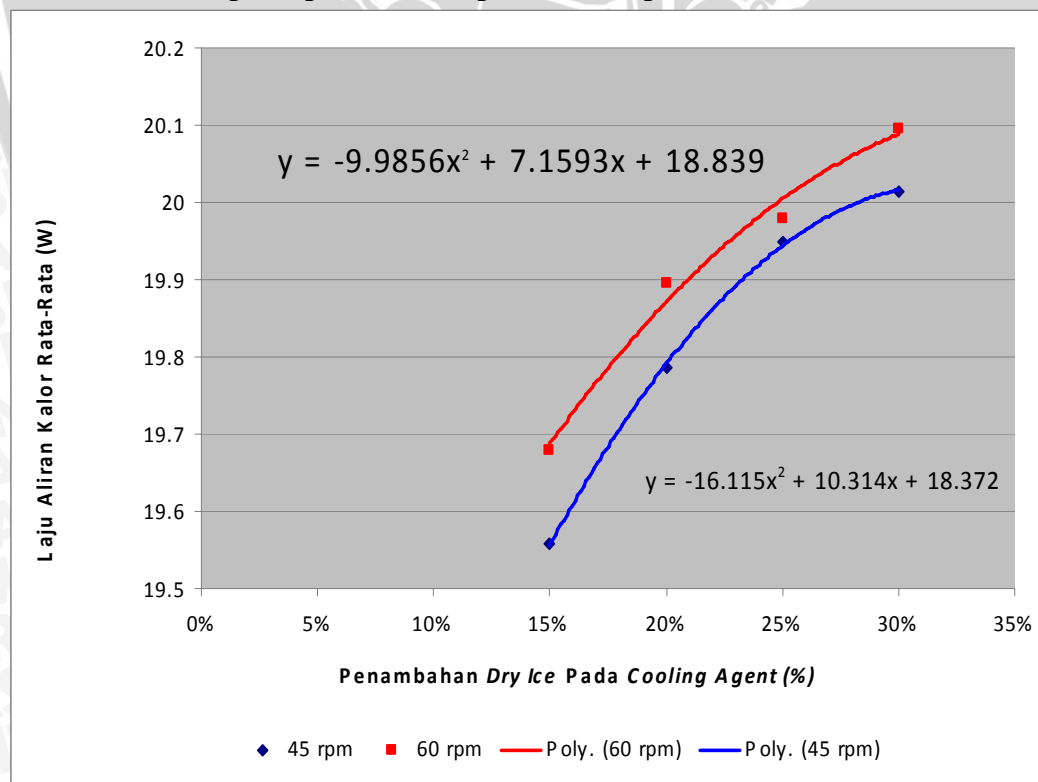
h (W m ⁻² K ⁻¹)	A _o (m ²)	T _{dl} (°C)	T _{ca} (°C)	ΔT_1 (°C)	q (W)	Q (J)	T _{ek} (°C)	ΔT_2 (°C)	U (W m ⁻² °C ⁻¹)
19.871	0,056898	-4.252	-21.96	17.708	20.015	72053.28	8.452	30.412	11.57
19.525	0,056898	-3.7875	-21.75	17.962	19.948	71812.68	8.752	30.5015	11.498
18.999	0,056898	-2.801	-21.11	18.3095	19.786	71231.05	9.477	30.5875	11.373
18.276	0,056898	-1.442	-20.25	18.814	19.558	70409.92	10.5	30.756	11.18
20.687	0,056898	-4.7745	-22.02	17.0785	20.096	72345.23	8.088	29.9415	11.8
19.609	0,056898	-3.5845	-21.99	17.914	19.98	71928.53	8.607	30.106	11.668
19.053	0,056898	-2.441	-21.3	18.8585	19.895	71623.14	8.988	30.2875	11.549
18.729	0,056898	-1.7	-20.67	18.9735	19.68	70847.35	9.955	30.6285	11.296

Lampiran 8. Grafik hasil penelitian

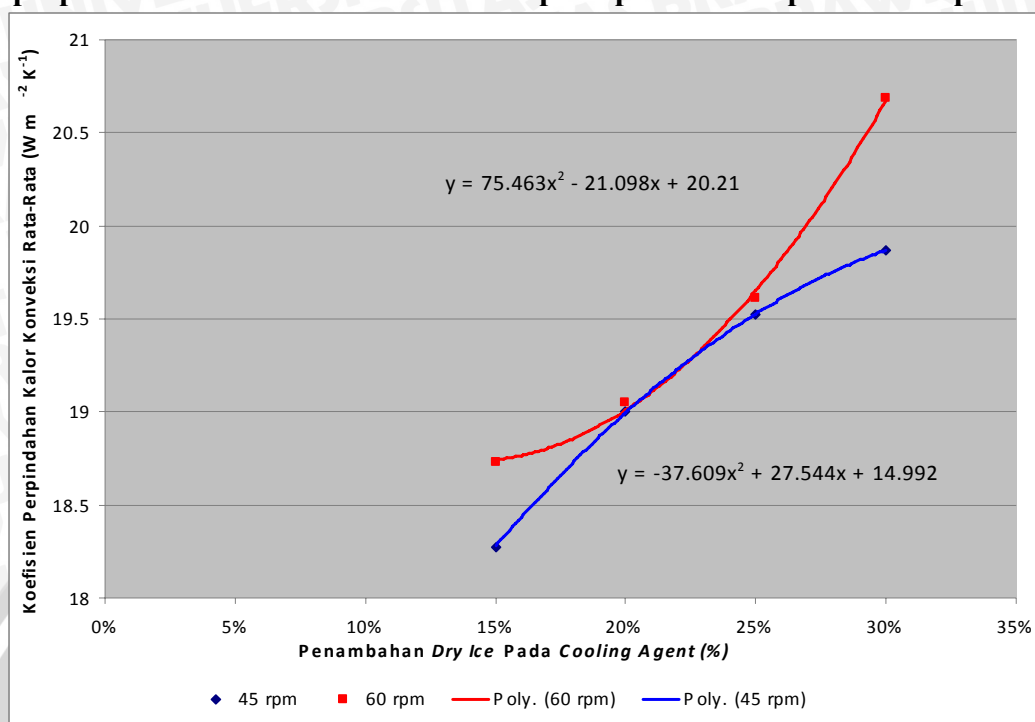
- Grafik pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap kalor pembuatan *ice cream* pada putaran 45 rpm dan 60 rpm



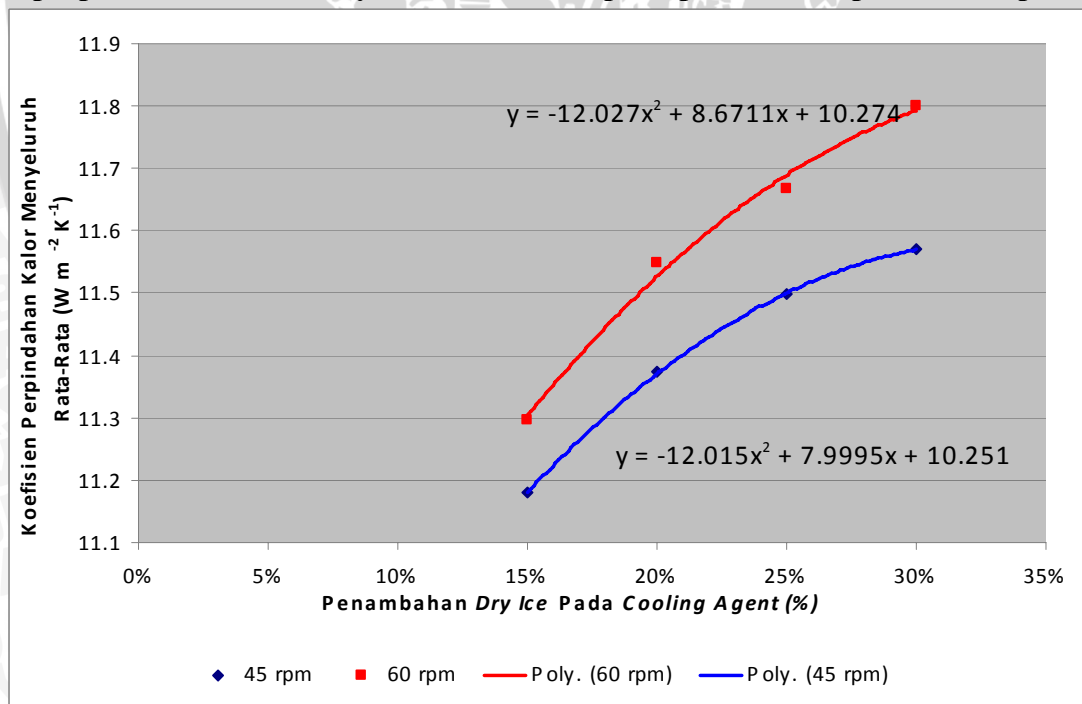
- Grafik pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap laju aliran kalor rata-rata pada putaran 45 rpm dan 60 rpm



- Grafik pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata pada putaran 45 rpm dan 60 rpm



- Grafik pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh rata-rata pada putaran 45 rpm dan 60 rpm



- Grafik pengaruh penambahan *dry ice* dari *cooling agent* terhadap Temperatur *Cooling Agent* pada putaran 45 rpm dan 60 rpm

