



**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN
PELAKSANAAN PROGRAM HIBAH PENELITIAN DESENTRALISASI
TAHUN ANGGARAN 2015**

Nomor : 2/SP2H/PDSTRL_PEN/LPPM-UKP/V/2016

Pada hari ini **Senin** tanggal **Sembilan** bulan **Mei** tahun **Dua ribu enam belas**, kami yang bertandatangan dibawah ini:

1. **Dr. Juliana Anggono, ST.,M.Sc.** : Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Kristen Petra, bertindak atas nama Rektor Universitas Kristen Petra yang selanjutnya dalam Surat Perjanjian ini disebut sebagai **PIHAK PERTAMA**;
2. **Dr. Ir. Ekadewi A. Handoyo, M.Sc.** : Dosen Universitas Kristen Petra dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Desentralisasi Tahun Anggaran 2016 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

Perjanjian penugasan ini berdasarkan pada Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian bagi dosen Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VII Tahun Anggaran 2016, Nomor: **002/SP2H/P/K7/KM/2016**, tanggal **25 April 2016**

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Program Hibah Penelitian Desentralisasi Tahun Anggaran 2016, dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

**Pasal 1
Penugasan Penelitian**

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberi tugas kepada **PIHAK KEDUA**, dan **PIHAK KEDUA** menerima tugas tersebut untuk melaksanakan Penelitian Desentralisasi tahun 2016 dengan judul "RANCANG BANGUN "FLEXIBLE BLAST CHILLER"".
- (2) **PIHAK KEDUA** bertanggung jawab penuh atas pelaksanaan Administrasi dan keuangan atas pekerjaan sebagai mana dimaksud pada ayat 1 dan berkewajiban menyerahkan semua bukti-bukti pengeluaran serta dokumen pelaksanaan lainnya dalam bendel laporan yang tersusun secara sistematis kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (3) Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing tahun 2016 sebagaimana dimaksud judul penelitian di atas didanai dari DIPA Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan No. SP DIPA 023.04.1.673.453/2016, revisi 01 tanggal 03 Maret 2016.

**Pasal 2
Tim Penelitian**

Susunan Tim penelitian:

- 1) Peneliti Utama : Dr. Ir. Ekadewi A. Handoyo, M.Sc.
- 2) Anggota Peneliti : Dr. Ing. Suwandi Sugondo, Dipl. Ing.
Yusak Tanoto, S.T., M. Eng.
Amelia, S.T., M.T.

gls



Pasal 3 Beban Tugas

PIHAK PERTAMA memberikan beban tugas 4 SKS kepada peneliti dengan pembagian: Ketua Peneliti (1 SKS), Anggota Peneliti 1 (1 SKS), Anggota Peneliti 2 (1 SKS), Anggota Peneliti 3 (1 SKS), dan untuk 2 (dua) semester yang diatur oleh Program Studi masing-masing peneliti.

Pasal 4 Biaya Penelitian dan Cara Pembayaran

- (1) **PIHAK PERTAMA** menyerahkan dana penelitian sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 sebesar **Rp. 110.000.000 (Seratus Sepuluh Juta Rupiah)** yang berasal dari SP DIPA Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan No. SP DIPA 023.04.1.673.453/2016, revisi 01 tanggal 03 Maret 2016.
- (2) Dana Penugasan Pelaksanaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
 - a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total bantuan dana kegiatan yaitu $70\% \times \text{Rp. 110.000.000} = \text{Rp. 77.000.000}$ (**Tujuh Puluh Tujuh Juta Rupiah**).
 - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar 30% dari total dana yaitu $30\% \times \text{Rp. 110.000.000} = \text{Rp. 33.000.000}$ (**Tiga Puluh Tiga Juta Rupiah**), dibayarkan setelah **PIHAK KEDUA** menyerahkan *hardcopy* Laporan Kemajuan Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing Baru Tahun Anggaran 2015 dan Laporan Penggunaan Anggaran 70% yang telah dilaksanakan kepada **PIHAK PERTAMA** dan mengunggah *soft copy*nya ke SIMLITABMAS paling lambat tanggal 15 Juli 2016.
 - c. **PIHAK KEDUA** bertanggungjawab mutlak dalam pembelanjaan dana tersebut pada ayat (1) sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui dan berkewajiban untuk menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** semua bukti-bukti pengeluaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA**.
 - d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengembalikan sisa dana yang tidak dibelanjakan ke kepada **PIHAK PERTAMA** untuk disetor ke Kas Negara.
 - e. Dana Penugasan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ayat 3 dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** melalui rekening yang diajukan dan atas nama **PIHAK KEDUA**.

Pasal 5 Jangka waktu penelitian

Jangka waktu penelitian terhitung bulan **Maret 2016** sampai dengan Tanggal **30 Oktober 2016**.

Pasal 6 Publikasi dan HKI

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menindaklanjuti dan mengupayakan hasil Program Hibah Penelitian berupa hak kekayaan intelektual dan atau publikasi ilmiah sesuai dengan luaran yang diwajibkan dan dijanjikan pada Proposal.
- (2) Perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan Tri Dharma Perguruan Tinggi.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan perolehan hasil sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA** selambat-lambatnya pada tanggal **30 Oktober 2016**.

f 8/2



Pasal 7 **Monev Internal dan Eksternal**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah laporan kemajuan pelaksanaan kegiatan ke SIM-LITABMAS paling lambat tanggal **15 Juli 2016** sesuai ketentuan pada Buku Panduan Program Hibah Penelitian Tahun 2013.
- (2) **PIHAK PERTAMA** melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Program Hibah Penelitian tahun 2016 sebelum pelaksanaan monitoring dan evaluasi eksternal oleh Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.

Pasal 8 **Kewajiban Ketua Peneliti**

Ketua Peneliti wajib hadir pada:

- a. Monitoring dan Evaluasi Internal dan Eksternal;
- b. Seminar Hasil Penelitian yang diadakan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Kristen Petra dan/atau Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.
- c. Bersama dengan tim memenuhi luaran yang diwajibkan dan dijanjikan sesuai dengan skema yang diusulkan.

Pasal 9 **Pergantian Tim Peneliti**

- (1) Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan Program Hibah Penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 tidak dapat melaksanakan Program Hibah Penelitian Tahun 2016, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (3) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (4) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 10 **Laporan Penelitian**

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Akhir pelaksanaan Penugasan Program Hibah Penelitian Tahun 2016 sesuai ketentuan pada Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi edisi IX Tahun 2013 dan mengisi Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran 100% pada SIM-LITABMAS **paling lambat tanggal 30 Oktober 2016**.
- (2) Hard copy Laporan Akhir dan Rekapitulasi Laporan Penggunaan Anggaran sebagaimana dimaksud ayat (1) diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA** paling lambat tanggal **30 Oktober 2016**.
- (3) Laporan Akhir sebagaimana dimaksud ayat (2) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - a. Bentuk/ukuran kertas A4;
 - b. Warna sampul/cover sesuai dengan skema;
 - c. Di bawah bagian sampul/cover ditulis:

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal
Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian
Nomor: 002/SP2H/P/K7/KM/2016

skz



Pasal 11 Sanksi

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Hibah Penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya dan atau terlambat mengirim laporan Kemajuan dan atau terlambat mengirim laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi denda sebesar 1‰ (satu permil) setiap hari keterlambatan sampai dengan setinggi-tingginya 5% (lima persen), dihitung dari tanggal jatuh tempo sebagaimana tersebut pada pasal 5 Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Program Penelitian Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2016;
- (2) Denda sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disetorkan ke Kas Negara dan foto copy bukti setor denda yang telah divalidasi oleh KPPN setempat diserahkan kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 12 Keaslian Penelitian dan Ketidakterikatan dengan Pihak Lain

- (1) Apabila dikemudian hari judul Penelitian Hibah Bersaing sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Hibah Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran/itikad kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka kegiatan Program Hibah Penelitian tersebut dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana Hibah Program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2016 yang telah diterima kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 13 Pajak

Hal-hal dan atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan ke kantor pelayanan pajak setempat sebagai berikut:

1. Pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
2. Belanja honorarium dikenai PPh Pasal 21 dengan ketentuan:
 - a. 5% bagi yang memiliki NPWP untuk golongan III, serta 6% bagi yang tidak memiliki NPWP.
 - b. Untuk golongan IV sebesar 15%; dan
3. Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku.

Pasal 14 Hak Kepemilikan

- (1) Hak atas kekayaan intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan Program Hibah Penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.
- (2) Hasil Program Hibah Penelitian berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari kegiatan ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga/masyarakat melalui Surat Keterangan Hibah.

Pasal 15 Perselisihan

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.
- (2) Hal-hal yang belum diatur dalam perjanjian ini diatur kemudian oleh kedua belah pihak.

7 4/2



UNIVERSITAS KRISTEN PETRA

JALAN SIWALANKERTO 121 – 131 SURABAYA 60236
TELP : [031] 8439040, 8494830, 8494831
FAX : [031] 8436418
E-MAIL : info@petra.ac.id
Homepage internet : <http://www.petra.ac.id>

Pasal 16
Penutup

Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Hibah Penelitian ini dibuat rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

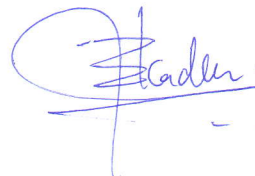
PIHAK PERTAMA



Juliana Agg

Dr. Juliana Anggono, ST., M.Sc.
NIDN. 0718056801

PIHAK KEDUA



Dr. Ir. Ekadewi A. Handoyo, M.Sc.
NIDN. 0714116701

LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
02/LIT-DIKTI/2016



RANCANG BANGUN “FLEXIBLE BLAST CHILLER”

Tahun ke-1 dari rencana 3 tahun

TIM PENELITIAN

Dr. Ir. Ekadewi Anggraini Handoyo, MSc (NIDN: 0714116701)

Dr.-Ing. Suwandi Sugondo, Dipl.-Ing (NIDN: 0706034401)

Yusak Tanoto, S.T., M.Eng. (NIDN: 0715068101)

Amelia, S.T., M.T. (NIDN: 0731087201)

Universitas Kristen Petra

November 2016

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Program Penelitian
Nomor: 002/SP2H/P/K7/KM/2016

Halaman Pengesahan

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : RANCANG BANGUN “FLEXIBLE BLAST CHILLER”
Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Dr. EKADEWI ANGGRAINI HANDOYO
Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Petra
NIDN : 0714116701
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP : 08123082735
Alamat surel (e-mail) : ekadewi@petra.ac.id
Anggota (1)
Nama Lengkap : SUWANDI SUGONDO
NIDN : 0706034401
Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Petra
Anggota (2)
Nama Lengkap : YUSAK TANOTO S.T., M.Eng.
NIDN : 0715068101
Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Petra
Anggota (3)
Nama Lengkap : AMELIA S.T., M.T.
NIDN : 0731087201
Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Petra
Institusi Mitra (jika ada) : -
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 110.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 285.777.000,00



Mengetahui,
Dekan FTI

(Dr. Gan Shu San, M.Sc)
NIP/NIK 91014

Surabaya, 10 - 11 - 2016

Ketua,

(Dr. EKADEWI ANGGRAINI HANDOYO)
NIP/NIK 91-021



Menyetujui,
Kepala LPPM

(Dr. Juliana Anggono, S.T., M.Sc)
NIP/NIK 94016

RINGKASAN

Sebuah mesin pendingin cepat diperlukan untuk mendinginkan kuah kaldu yang baru selesai direbus. Kuah kaldu yang direbus mempunyai temperatur jauh di atas temperatur kamar. Menurut (Bassett, (1999), bakteri dapat berkembang dengan cepat pada rentang temperatur 3°C hingga 69°C. Oleh karenanya, pendinginan pada rentang temperatur tersebut diupayakan secepat mungkin. Pendinginan disebut higienis jika proses pendinginan dari 70°C menjadi 3°C dalam waktu kurang dari 90 menit.

Mesin pendinginan cepat yang komersial telah ada, disebut 'blast chiller'. Bentuk blast chiller adalah seperti lemari pendingin biasa, tetapi dilengkapi dengan fan yang besar sehingga menghasilkan udara dingin banyak. Dengan udara dingin yang banyak, maka perpindahan panas konveksi antara produk dengan udara ikut meningkat. Dengan demikian produk mengalami pendinginan cepat.

Pada penelitian ini dirancang dan dibuat mesin pendingin cepat yang fleksibel dengan bentuk berbeda dari komersial yang telah ada. Mesin pendingin yang dibuat mengambil bentuk seperti dispenser air minum. Evaporator dililitkan di luar tabung tempat kuah kaldu yang akan didinginkan. Komponen mesin pendingin dirancang agar dapat mendinginkan 10 liter kuah kaldu dari 70°C menjadi 3°C dalam waktu 75 menit. Pemilihan kompresor dan kondensor yang digunakan melebihi kapasitas yang diperlukan dari perhitungan, karena kuah kaldu dalam keadaan panas sekali. Jika tidak dilebihkan, maka dikuatirkan kompresor akan otomatis shut off karena temperatur refrigerant di inlet terlalu tinggi dan kondensor tidak dapat membuang seluruh beban panas. Kapasitas kondensor dari perhitungan adalah 2,1 kW. Sedang yang terpasang adalah tipe FN 11,5 dengan kapasitas 3,0 kW. Daya refrigerasi yang diperlukan sebesar 807 Watt. Kompresor yang digunakan adalah merk Tecumseh tipe CAJ9510Z dengan kapasitas pendinginan sebesar 1453 Watt. *Thermostatic expansion valve* merk Danfoss tipe TES 2 dengan *inlet size* sebesar 3/8 in dan *maximum working pressure* (MWP) sebesar 34 bar. Evaporator rancangan yang terdiri dari panci *stainless steel* diameter 27 x tinggi 24 cm, diameter 27,7 cm x tinggi 24 cm, diameter 32 cm x tinggi 32 cm; pipa tembaga 3/8 in; *seal* karet; insulasi Armaflex 4cm; ethylene glycol 10 L. Komponen lain dalam mesin pendingin meliputi: *Receiver tank*, *accumulator*, *dryer*, *sight glass*, dan tutup dengan motor pengaduk.

Berdasarkan perancangan dan hasil uji coba mesin, *Flexible Blast Chiller* mampu mendinginkan kuah dengan kapasitas 10 liter dari 70°C menjadi 3°C selama 60,5 menit tanpa menggunakan mesin pengaduk dan selama 49 menit dengan menggunakan mesin pengaduk.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa...

Hanya karena pertolonganNYA penelitian tahun pertama dari usulan tiga tahun dapat terselesaikan. Banyak hal yang terjadi di luar pemikiran saya. Berkat pertolongan Tuhan dan kerjasama dari Tim serta bantuan dua mahasiswa (Ellihu dan Richard) maka penelitian ini dapat dilaksanakan.

Hasil yang dicapai dalam penelitian ini sangat baik. Produk mesin pendingin yang dirancang dapat bekerja sesuai harapan, bahkan proses pendinginan terjadi lebih cepat dari yang direncanakan. Namun pendinginan yang cepat ini memerlukan kompresor dan kondensor yang lebih besar dari hitungan yang dilakukan. Penelitian berikut dilakukan untuk kompresor dan kondensor yang lebih kecil, agar konsumsi energi listrik lebih rendah dan biaya pembuatan mesin pendingin dapat dikurangi. Penamaan “blast chiller” untuk mesin pendingin ini kurang tepat, karena tidak ada angin yang bertiup di dalamnya. Pada penelitian berikut, namanya akan diganti “Flexible Fast Chiller”.

Sangatlah menyenangkan apabila kita dapat ikut berperan dalam membawa kesejahteraan bagi sesama. Semoga hasil penelitian ini nantinya dapat menjadi peralatan yang berguna bagi banyak orang, terutama dalam hal pendinginan cepat.

Semoga penelitian ini membawa manfaat bagi kita semua...

Surabaya, 5 November 2016

Ekadewi A. Handoyo dan Tim

Daftar ISI

Halaman sampul	i
Halaman pengesahan	ii
Ringkasan	iii
Prakata	iv
Daftar isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
Daftar Lampiran	viii
Bab 1. Pendahuluan	1
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
Bab 3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	9
Bab 4. Metode Penelitian	10
Bab 5. Hasil dan Pembahasan	13
Bab 6. Rencana Tahapan Berikutnya	51
Bab 7. Kesimpulan dan Saran	52
Daftar Pustaka	53
Lampiran	54

Daftar Tabel

Tabel 5.1 Kapasitas kondensor tipe FN	28
Tabel 5.2 Kompresor merk Tecumseh	29
Tabel 5.3 Spesifikasi <i>Thermostatic Expansion Valve</i> merk Danfoss	35
Tabel 5.4 Hasil uji coba <i>Flexible Blast Chiller</i> tanpa diaduk	46
Tabel 5.5 Hasil uji coba ulang <i>Flexible Blast Chiller</i> tanpa pengaduk	47
Tabel 5.6 Hasil uji coba <i>Flexible Blast Chiller</i> dengan diaduk 150 rpm	48
Tabel 5.7 Hasil uji coba <i>Flexible Blast Chiller</i> dengan diaduk 150 rpm	48

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Blok diagram <i>hybrid refrigeration system</i> (Gazda, 2013)	3
Gambar 2.2 Blast freezer jenis statik (Briley, 2002)	5
Gambar 2.3 Blast freezer jenis dinamik (Briley, 2002)	6
Gambar 2.4 Diagram blok dan P-h dari siklus pendingin kompresi uap yang ideal	8
Gambar 4.1 Metode penelitian yang dilakukan	10
Gambar 5.1 Arah tekanan pada tangki	18
Gambar 5.2 Komponen pengaduk	22
Gambar 5.3 Motor dan <i>dimmer</i>	22
Gambar 5.4 Pemasangan rumah <i>bearing</i>	22
Gambar 5.5 Proses <i>assembly</i> tangki dan pengaduk	23
Gambar 5.6 Siklus mesin <i>Flexible Blast Chiller</i>	24
Gambar 5.7 Perbandingan kinerja beberapa refrigerant	25
Gambar 5.8 Diagram P-h R-404a	26
Gambar 5.9 Kondensor tipe FN	28
Gambar 5.10 Kompresor hermetik	30
Gambar 5.11 Skema desain evaporator	30
Gambar 5.12 Rencana desain evaporator	31
Gambar 5.13 Skema jala termal dalam evaporator	34
Gambar 5.14 Desain <i>Flexible Blast Chiller</i>	38
Gambar 5.15 Pembuatan kabin dan wadah	39
Gambar 5.16 Pembuatan evaporator	39
Gambar 5.17 <i>Condensing unit</i>	40
Gambar 5.18 Kompresor merk Tecumseh tipe CAJ9510Z	40
Gambar 5.19 Pembuatan kerangka <i>condensing unit</i>	41
Gambar 5.20 Pembuatan dan pemasangan kerangka untuk evaporator	42
Gambar 5.21 <i>Expansion valve</i> merk Danfoss tipe TES 2 R404A	42
Gambar 5.22 Instalasi <i>joint</i> antara pipa pada sistem pendingin	43
Gambar 5.23 Tes kebocoran sistem pendingin	44
Gambar 5.24 Tangki refrigerant R-404a	44
Gambar 5.25 Memanaskan kuah hingga 70°C	46
Gambar 5.26 <i>Thermocouple</i> yang terhubung ke Picolog <i>Data Logger</i>	46
Gambar 5.27 Grafik temperatur percobaan pertama	47
Gambar 5.28 Grafik temperatur percobaan kedua	47
Gambar 5.29 Grafik temperatur percobaan ketiga	48
Gambar 5.30 Grafik temperatur percobaan keempat	49
Gambar 5.31 a.Tekanan keluar evaporator (1,2 bar), b.Tekanan masuk kondensor (15,1 bar), c.Tekanan keluar kondensor (15,1 bar), d.Tekanan masuk evaporator (2,1 bar)	49
Gambar 5.32 Diagram P-h percobaan <i>Flexible Blast Chiller</i>	50

Daftar Lampiran

Lampiran 1. Formulir evaluasi atas capaian luaran kegiatan	54
Lampiran 2. Sertifikat presenter pada SNTTM XV, 5 – 6 Oktober 2016	57
Lampiran 3. Makalah yang diseminarkan di SNTTM XV, 5 – 6 Oktober 2016	58

Bab I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dengan meningkatnya jumlah manusia, kebutuhan akan makanan ikut meningkat. Peningkatan kebutuhan ini menyebabkan semakin banyak depot maupun restoran, terutama di perkotaan. Salah satu bagian penting dari proses memasak makanan adalah penyediaan dan pengolahan bahan baku, seperti sayuran, daging, dan pembuatan kaldu.

Bahan baku sering dibeli dalam jumlah besar. Pembuatan kaldu juga sering dilakukan dalam jumlah besar. Bahan baku dan kaldu yang tidak terpakai perlu disimpan untuk digunakan di lain waktu. Air kaldu didapatkan dari proses merebus yang berarti pada temperatur lebih tinggi dari temperatur kamar. Pada umumnya, air kaldu dibiarkan di udara yang pada temperatur kamar hingga menjadi dingin baru kemudian disimpan di dalam lemari es. Namun, ternyata pendinginan yang perlahan dapat menurunkan kualitas bahan baku dan kaldu. Ketika mendinginkan air kaldu atau makanan secara perlahan, ada daerah “danger zone” yaitu antara $+68^{\circ}\text{C}$ hingga $+8^{\circ}\text{C}$. Pada daerah ini bakteri bertumbuh paling cepat. Oleh karenanya, daerah ini perlu dibuat sesingkat mungkin. Air kaldu atau makanan dapat segera didinginkan di dalam lemari es setelah ke luar dari kompor. Menurut Departemen Kesehatan UK, pendinginan yang higienis adalah ketika dapat menurunkan temperatur dari 70°C ke 3°C dalam waktu kurang dari 90 menit. Lemari es yang biasa tidak dapat melakukan tugas ini. Peralatan yang khusus dirancang untuk pendinginan cepat disebut Blast Chiller. Selain lebih higienis, pendinginan yang berlangsung cepat dapat menghasilkan kristal es yang lebih halus, sehingga kualitas dan struktur bahan makanan menjadi lebih baik ketika dilelehkan kembali dibandingkan jika proses pendinginan berlangsung perlahan.

Pendinginan cepat dapat dilakukan dengan Nitrogen cair yang sekarang sedang marak digunakan di berbagai gerai es krim. Nitrogen cair dapat mendinginkan secara cepat karena titik didihnya sangat rendah, yaitu -196°C . Es krim instan yang dihasilkan memiliki kristal es dan tekstur yang sangat halus. Namun, menurut Profesor Peter Barham yang berasal dari University of Britol School of Physics, nitrogen cair adalah nitrogen gas yang berbahaya, karena dapat menyebabkan luka bakar radang dingin, sesak napas. John Emsley dari Royal Society of Chemsitry mengatakan bahwa jika sedikit saja jumlah nitrogen cair yang tertelan, maka hasilnya dapat menghebohkan. Bila nitrogen cari terminum lebih dari beberapa tetes, seperti satu sendok teh, saluran pencernaan atau lambung yang dilewati akan membeku dan menjadi padat dan rapuh seperti kaca. nitrogen cair dapat menyebabkan cedera serius terutama jika percikan di mata atau

kulit. Dr Alex Valavanis dari Institut Oven Microwave and Photonics – University Leeds yakin bahwa sangat mungkin bagi seseorang untuk menelan seteguk sebelum mereka menyadari rasa sakit, awalnya juga tidak segera terasa dingin. Penundaan dalam merasakan dingin tersebut disebut efek Leidenfrost. Seteguk nitrogen cair akan berubah menjadi 25 liter gas yang mampu meledakkan perut seseorang.

Permasalahan yang akan diteliti

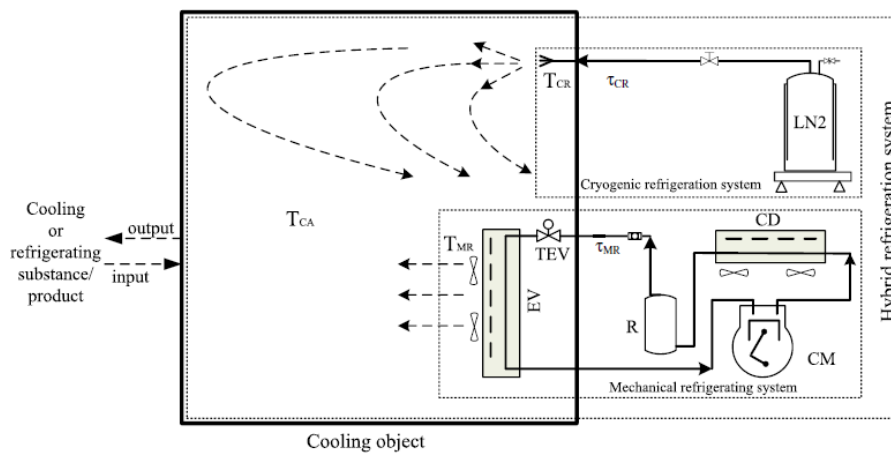
Pendinginan bahan baku makanan sebaiknya dilakukan dengan cepat, agar kualitas makanan terjaga. Proses ini dapat dilakukan dengan memberikan nitrogen cair pada makanan yang akan didinginkan atau memasukkan makanan ke dalam blast chiller. Namun, nitrogen cair bukan pilihan yang baik untuk pemakaian terus menerus dan kontinue seperti di restoran atau depot atau hotel, nitrogen sebaiknya digunakan untuk keperluan insidental.

Blast chiller telah tersedia secara komersial. Namun, dalam bentuk seperti lemari es. Dengan demikian, pendinginan benda akan terjadi secara konveksi dari permukaan benda dan secara konduksi dalam benda yang didinginkan. Laju perpindahan panas secara konduksi lebih kecil dibandingkan secara konveksi. Jika yang didinginkan adalah benda padat, hal itu tidak dapat diubah, yaitu perpindahan panas dalam benda secara konduksi. Namun, perpindahan panas dalam benda cair dapat dibuat menjadi konveksi. Jika perpindahan panas dari benda cair dapat dibuat secara konveksi, maka waktu yang diperlukan dapat menjadi lebih singkat. Dengan demikian, diperlukan suatu blast chiller yang fleksibel yang dapat digunakan untuk mendinginkan makanan padat dan cairan dengan tambahan pengaduk agar cairan yang didinginkan dapat melepas panas secara konveksi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

State of the art dalam bidang yang diteliti

Menurut Gazda (2013), proses pendinginan makanan untuk mengawetkan makanan semakin banyak digunakan. Metoda atau strategi pendinginan dapat menggunakan mesin pendingin mekanikal atau sistem pendingin cryogenic. Mesin pendingin mekanis menggunakan refrigerant sebagai media penyerap panas dari makanan dan sistem pendingin cryogenic menggunakan Nitrogen cair untuk mendinginkan makanan. Besar temperatur penyimpanan makanan yang ingin dicapai dan waktu yang diinginkan menjadi penentu strategi yang tepat. (Gazda, 2013) menganalisa penggabungan kedua strategi ini seperti pada Gambar 2.1. Mesin pendingin gabungan ini disebut: *hybrid refrigeration system*.



Gambar 2.1. Blok diagram *hybrid refrigeration system* (Gazda, 2013)

Waktu pendinginan dan temperatur makanan/benda menjadi dua parameter yang dipilih (Gazda, 2013). Penelitian dilakukan secara eksperimen dan simulasi. Variabel yang digunakan dalam analisa adalah kapasitas pendinginan, kualitas pendinginan (disebut CEI – *Cold Exergy Index*), dan konsumsi energi yang diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan dan CEI sangat bergantung pada temperatur yang hendak dicapai dalam ruangan. Untuk temperatur ruangan – 15°C, kapasitas pendinginan dengan mesin refrigerasi mekanikal lebih tinggi dari sistem cryogenic. Namun, untuk temperatur lebih rendah, sistem cryogenic memberikan kapasitas pendinginan lebih tinggi. CEI yang dihasilkan sistem cryogenic lebih tinggi daripada mesin refrigerasi mekanikal. Sedang konsumsi energi sistem cryogenic lebih tinggi daripada mesin refrigerasi mekanikal.

Refrigerasi menjadi bagian yang penting dalam rantai makanan, karena diperlukan mulai dari pengolahan makanan, distribusi, penjualan, hingga akhirnya dikonsumsi di rumah atau restoran. Makanan dapat didinginkan dan dibekukan untuk mengurangi aktivitas mikrobiologi yang merugikan. Pada umumnya, refrigerasi menggunakan teknologi pendinginan mekanikal yang secara langsung dan tidak langsung meng-emisi gas rumah-kaca (Tassou, Lewis, Ge, Hadawey, & Chaer, 2010). Kesadaran terhadap pentingnya menjaga lingkungan hidup dan fakta bahwa emisi CFC mengikis lapisan ozon membuat larangan penggunaan CFC sejak 1980an. Demikian pula dengan refrigerant HCFC yang juga dilarang digunakan lagi. Bahkan European Union membatasi pemakaian refrigerant yang baru, yaitu HFC yang dibuat dengan *zero ozone depletion potential* (potensi mengikis ozon = 0). Hal ini dikarenakan HFC mempunyai *global warming potential*, GWP (potensi meningkatkan global warming) dan memberi kontribusi menghasilkan emisi gas rumah kaca secara langsung dan tidak langsung. Gas rumah kaca akan diemisi secara langsung jika ada kebocoran refrigerant dan tidak langsung dari pembangkit listrik yang diperlukan untuk menjalankan mesin refrigerasi. Contoh refrigerant HFC adalah R134a, R407C, dan R410A. Untuk mesin refrigerasi makanan yang dulunya menggunakan R22 sekarang digunakan R404a (Tassou, Lewis, Ge, Hadawey, & Chaer, 2010).

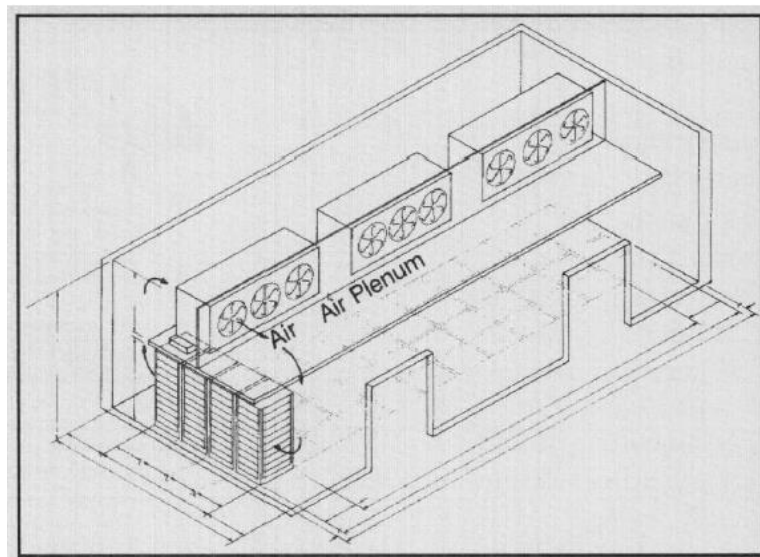
Dari tujuh teknologi pendingin yang dibahas, (Tassou, Lewis, Ge, Hadawey, & Chaer, 2010) menyampaikan bahwa teknologi yang cocok untuk makanan adalah *tri-generation*, *air cycle*, *sorption-adsorption*, dan *ejector*. Teknologi ini digunakan pada mesin pendingin mekanikal yang juga dapat diterapkan pada suatu blast chiller.

Menurut Dempsey & Bansal (2012), tidak banyak literatur tentang *air blast freezer* yang dapat diakses umum, meskipun *air blast freezer* telah banyak dipakai sejak 1950an. Air blast freezer dirancang untuk mendinginkan udara yang dialirkan di atas produk makanan dengan laju tertentu. Makanan menjadi dingin dan beku dari permukaan sebelah luar dan kemudian merambat ke sebelah dalam hingga akhirnya seluruh bagian makanan membeku. Pembekuan cepat (blast freezing) yang digunakan di industri makanan beku di New Zealand mengkonsumsi listrik sebesar 8,1 GWh pada tahun 2005 (Dempsey & Bansal, 2012). Refrigerant yang paling umum dipakai di New Zealand adalah Ammonia. Beberapa metode untuk membekukan makanan, yaitu: *air-blast freezers* (batch dan kontinu), *fluidized bed freezers*, *impingement freezers*, *liquid immersion freezers*, *plate freezers*, *liquid nitrogen freezers* dan *carbon dioxide freezers*. *Plate freezer* memberikan waktu pembekuan lebih singkat, tetapi hanya cocok untuk benda yang

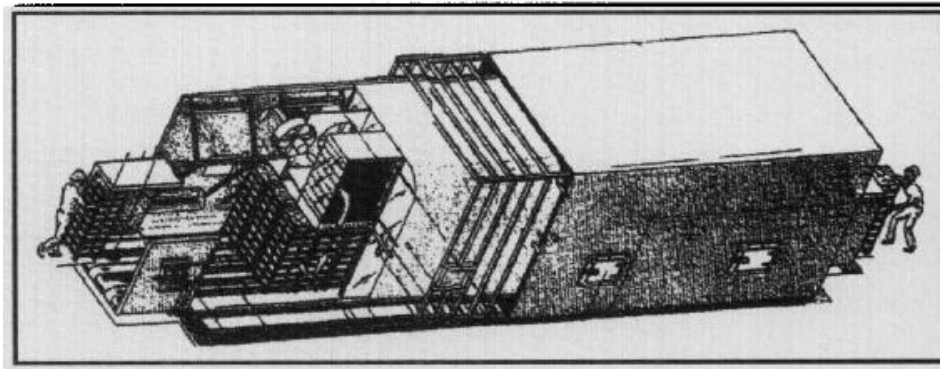
memiliki bentuk geometri datar. Pembahasan untuk jenis makanan yang dibekukan: daging, unggas, ikan, buah, sayuran, butter, adonan, roti, dan makanan padat yang dibekukan.

Temperatur udara dalam air blast freezer setidaknya -35°C dan dalam kasus tertentu -45°C . Untuk mencapai keadaan ini, evaporator harus dirancang pada -42°C dan -52°C . Dempsey & Bansal (2012) memberikan banyak panduan dalam merancang suatu air blast freezer yang baik. Sebagai contoh ketika merancang evaporator untuk tunnel blast freezer: sebaiknya fin dipasang tidak lebih dari 4 fin per inchi untuk mengantisipasi adanya bunga es. Kecepatan udara mengalir dalam tunnel blast freezer umumnya dirancang sebesar 4 m/s.

Menurut Briley (2002) kebanyakan penggunaan blast freezer mempunyai masalah dengan peletakan pallet atau peti yang tidak tepat dalam freezer. Jumlah baris pallet/peti dalam blast freezer jenis statik seharusnya tidak boleh lebih dari empat baris dalam arah aliran udara, karena kenaikan temperatur udara sudah terlalu tinggi ketika mengenai baris kelima. Blast freezer paling efisien menggunakan tiga baris saja (Briley, 2002). Waktu untuk pembekuan biasanya didapat dari pengujian yang juga merupakan fungsi kecepatan aliran udara. Kecepatan udara umumnya berkisar 1500 fpm (8 m/s). Blast freezer jenis statik tidak dapat kontinu dan pembekuan dilakukan manual untuk jenis makanan yang tertentu, tidak dapat terdiri dari beberapa macam makanan. Contoh blast freezer jenis statik ada pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Blast freezer jenis statik (Briley, 2002)



Gambar 2.3. Blast freezer jenis dinamik (Briley, 2002)

Blast freezer jenis dinamik yang sering juga disebut tunnel freezer merupakan freezer semi-otomatis seperti pada Gambar 2.3. Pallet atau peti dimasukkan melalui conveyor. Suatu tunnel freezer dapat terdiri dari dua atau tiga conveyor. Produk atau makanan yang akan dibekukan dapat lebih dari satu macam dengan mengatur kecepatan dua atau tiga conveyor dengan kecepatan berbeda (Briley, 2002).

Peta Jalan Penelitian

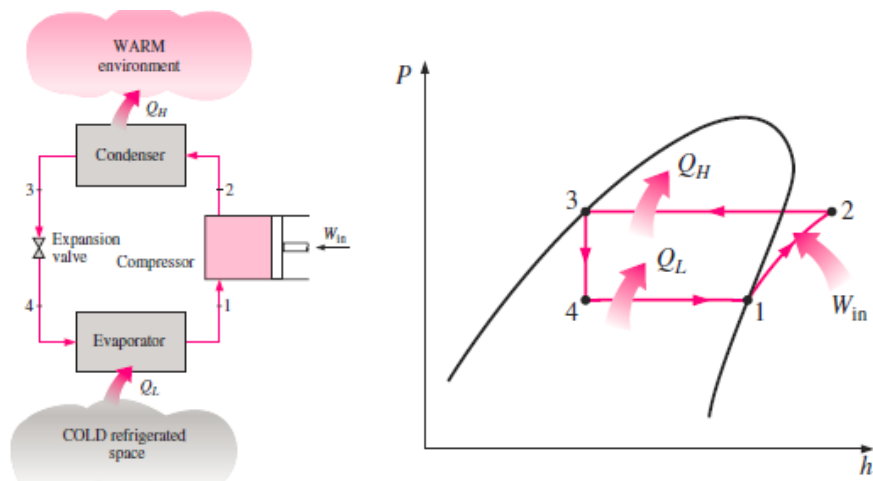
Tahapan	KEGIATAN	TUJUAN/OUTPUT	LUARAN PUBLIKASI & HKI	Rencana Waktu
Mandiri (lal)	Modifikasi dispenser untuk menghemat energi listrik	Mendapatkan dispenser yang memanfaatkan panas dari kompresor untuk <i>pre-heat</i> air	Paper di prosiding SNTTM 8	Thn 2010-2011
Tahap inisiasi	Mempelajari berbagai siklus pendingin yang dapat diterapkan pada suatu blast chiller	Mendapatkan siklus pendingin yang tepat untuk blast chiller	paper di prosiding SNTTM XV	Tahun 1
	Merancang blast chiller untuk air kaldu dengan pengaduk	Mendapatkan disain siklus pendingin, yang meliputi: • tekanan dan temperatur kerja di evaporator dan kondensor, • kompresor, receiver, drier, dan thermal exp. valve yang sesuai, • merancang evaporator, • merancang kondensor, • merancang mekanisme pengaduk + motor yang sesuai, agar blast chiller dapat dibangun		

	Membangun blast chiller sesuai rancangan	Mendapatkan 1 unit blast chiller skala laboratorium		
Tahap pengembangan	Menguji blast chiller	Mendapatkan kinerja blast chiller, meliputi: kapasitas pendinginan (kriteria: temperature turun dari 70°C menjadi 3°C dalam waktu 75 menit)	paper untuk jurnal internasional / proceeding	Tahun 2
	Menganalisa kinerja blast chiller	Mendapatkan parameter yang perlu diperbaiki jika belum mencapai standart.		
Tahap lanjut	Memperbaiki blast chiller sesuai hasil pengujian dan analisa	Mendapatkan rancangan blast chiller yang memenuhi standart	HKI	Tahun 3
	Mengadakan FGD	Me-launching flexible blast chiller hasil penelitian		
Masa mendatang	Meneliti pengaruh bentuk evaporator di blast chiller	Mendapatkan rancangan evaporator yang terbaik untuk flexible blast chiller	HKI	5 thn mendatang

Studi Pendahuluan

Blast chiller pada dasarnya adalah mesin pendingin, tetapi proses pendinginan dilakukan dalam waktu yang singkat. Hal ini menyebabkan kapasitas pendinginan blast chiller lebih tinggi daripada mesin pendingin biasa untuk beban produk/makanan yang sama. Kebanyakan mesin pendingin seperti lemari es dan air conditioning yang banyak dipakai di rumah bekerja dengan siklus pendingin kompresi uap. Siklus pendingin ini lebih banyak digunakan, karena sederhana dan kompak.

Siklus pendingin kompresi uap pada dasarnya terdiri dari empat komponen utama, yaitu: 1) evaporator yang menjadi tempat refrigerant menyerap panas dari udara dalam ruangan mobil, 2) kompresor yang mengalirkan refrigerant ke seluruh komponen, 3) kondensor yang membuang panas refrigerant ke udara sekeliling, dan 4) katup ekspansi yang menurunkan temperatur refrigerant agar ketika mengalir di evaporator dapat menyerap panas ruangan (Cengel & Boles, 2005). Diagram blok dan diagram tekanan-enthalpi, P-h, dari siklus pendingin kompresi uap yang ideal tampak seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Diagram blok dan P-h dari siklus pendingin kompresi uap yang ideal (Cengel & Boles, 2005)

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan Khusus Penelitian

Dalam penelitian ini akan dirancang suatu blast chiller yang fleksibel, dalam artian dapat digunakan untuk mendinginkan makanan padat dan cairan air kaldu. Blast chiller akan dirancang dilengkapi dengan pengaduk agar proses pelepasan panas dari air kaldu dapat terjadi secara konveksi dan pengaduk dapat dilepas ketika digunakan untuk mendinginkan benda padat.

Blast chiller akan dirancang untuk dengan kapasitas 10 liter cairan atau 10 kg makanan padat dari temperatur 70°C menjadi 3°C dalam waktu kurang dari 90 menit - memenuhi Standar dari Departemen Kesehatan Inggris.

Urgensi (Keutamaan) Penelitian

Bahan makanan didinginkan untuk menjaga keawetan dan kualitasnya. Agar bakteri tidak tumbuh selama proses pendinginan dan kristal air yang terbentuk lebih halus, diperlukan blast chiller yang dapat mendinginkan air kaldu dalam waktu singkat. Pendinginan dapat dipersingkat dengan membuat pelepasan panas secara konveksi, yaitu dengan pengadukan. Hal ini belum ditemui pada blast chiller yang ada sekarang. Saat ini, blast chiller komersial di pasaran hanya untuk mendinginkan makanan padat. Oleh karenanya, diperlukan suatu blast chiller yang fleksibel yang dapat mendinginkan makanan padat dan cairan.

Penelitian dilakukan pada blast chiller bukan blast freezer, karena daerah rawan bakteri adalah antara +8°C hingga +68°C. Air kaldu kebanyakan disimpan dalam keadaan cair, agar mudah digunakan kembali. Namun, jika air kaldu hendak disimpan dalam keadaan beku, maka air kaldu yang dingin (3°C) dapat dibekukan dalam freezer. Dengan demikian penelitian difokuskan pada blast chiller.

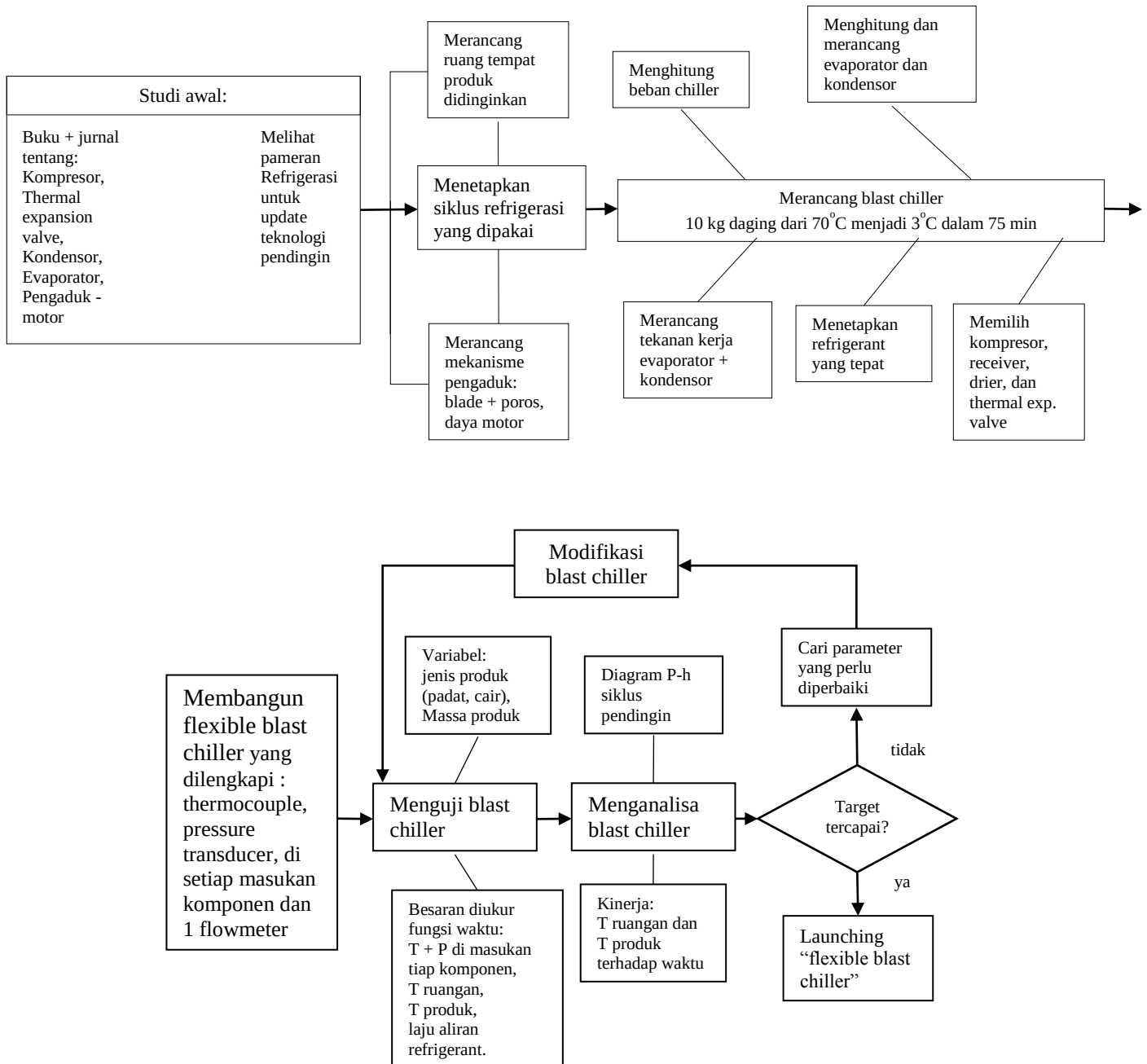
Target dan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan riset unggulan

Menghasilkan suatu blast chiller yang dapat mendinginkan 10 liter air kaldu atau 10 kg makanan padat dari temperatur 70°C menjadi 3°C dalam waktu 75 menit – disebut flexible blast chiller.

Salah satu riset unggulan UK Petra adalah Sustainable Engineering dengan fokus pada Metoda dan Proses. Dengan dirancang dan dibangunnya flexible blast chiller, maka didapatkan metoda dan proses pendinginan baru yang dapat meningkatkan kualitas bahan makanan yang didinginkan dan diharapkan dapat mengurangi konsumsi energi listrik mesin pendingin.

BAB 4. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan langkah seperti pada Gambar 4.1. Studi awal meliputi literatur dan studi lapangan terkait blast chiller hingga proses pembuatan blast chiller dilakukan agar hasil rancangan nantinya tepat dan dapat di-manufaktur.



Gambar 4.1. Metode penelitian yang dilakukan

Langkah berikutnya meliputi tiga hal yang dapat dilakukan bersamaan, yaitu: merancang ruang tempat produk makanan yang akan didinginkan, menetapkan siklus refrigerasi/pendingin yang akan digunakan, dan merancang mekanisme pengaduk untuk cairan. Volume ruang tempat produk akan dihitung sesuai kapasitas yang ditentukan, yaitu 10 liter air kaldu atau 10 kg makanan padat, seperti daging. Ruang tempat produk makanan harus flexibel dalam artian dapat digunakan untuk makanan padat dan untuk cairan. Jika untuk mendinginkan cairan, maka pengaduk (berupa poros dan blade) dipasang dan dihubungkan dengan motor. Besar poros dan blade yang akan digunakan akan dihitung agar tidak patah ketika digunakan. Kemudian, daya motor yang diperlukan untuk memutar poros dan blade juga akan dihitung. Pada penelitian ini, putaran motor akan dibuat tetap. Selain ruangan dan mekanisme pengaduk, siklus pendingin yang akan digunakan juga perlu ditentukan. Penentuan didasarkan pada kemudahan manufaktur, keandalan, dan nilai ekonomis.

Mekanisme pengaduk dirancang dengan urutan: Proses 1: Melakukan percobaan untuk mencari densitas dan viskositas dari kuah kaldu yang merupakan dasar dari perhitungan. Percobaan dilakukan dengan alat-alat sederhana seperti selang diameter 3 mm, penggaris, stopwatch, wadah, dan timbangan digital. Proses 2: Melakukan desain dari alat baik secara *draft* ataupun dengan *software*. Desain dari alat harus sesuai dengan tujuan pembuatan awal. Proses yang dilakukan yaitu pengadukan untuk menginginkan terjadinya *heat transfer*. Faktor yang menentukan yaitu putaran dan bentuk dari *impeller* agar mencapai Reynold number yang dibutuhkan. Proses 3: Melakukan perhitungan kekuatan dan gaya-gaya yang terjadi selama proses pengadukan. Gaya yang terjadi harus dicari dengan tepat mulai dari tekanan fluida sampai torsi yang dibutuhkan motor. Proses 4: Pembuatan alat mulai dari komponen yang diproses secara *custom* hingga komponen-komponen yang dapat dibeli secara komersial. Setelah semua komponen telah siap maka dilakukan proses *assembly*. Proses 5: Melakukan pengujian hasil kerja dari mesin apakah mesin berkerja sesuai dengan hitungan dan target yang ingin dicapai. Proses 6: Konfirmasi hasil pengujian dengan perhitungan yang ada apakah sesuai atau belum. Proses dan hasil yang tidak sesuai akan di analisa pada desain. Proses 7: Hasil dapat diverifikasi dan memenuhi syarat yang ditentukan.

Setelah siklus pendingin ditetapkan, blast chiller dapat mulai dirancang. Perancangan dimulai dengan menghitung beban chiller dari produk daging atau air kaldu yang akan didinginkan. Nantinya beban terbesar yang akan digunakan dalam perancangan. Langkah berikut adalah merancang temperatur kerja evaporator dan kondensor yang tergantung pada temperatur ruang

tempat produk yang dikehendaki dan temperatur lingkungan sekitar. Pemilihan refrigerant dengan dasar bahwa tekanan saturasi refrigerant ketika mengalir di evaporator harus lebih dari tekanan atmosfer (dapat dianggap 1 atm). Setelah menentukan refrigerant, temperatur dan tekanan kerja di evaporator dan kondensor, maka kompresor, *receiver*, *drier*, dan *thermal expansion valve* dapat dipilih dari yang ada di pasaran. Sedangkan evaporator dan kondensor akan dirancang dan dihitung berdasarkan literatur / textbook.

Hasil dari semua yang telah dilakukan akan dipublikasikan dalam jurnal nasional atau prosiding di suatu seminar/konperensi tingkat nasional.

Setelah semua rancangan selesai, maka tahap berikut adalah merealisasi rancangan dan membangun blast chiller. Untuk dapat menganalisa blast chiller yang dibuat, maka perlu dipasang beberapa alat ukur, yaitu thermocouple dan pressure transducer di masukan kompresor, kondensor, valve, dan evaporator, serta 1 flowmeter yang kesemuanya dihubungkan dalam 1 data logger. Dengan mengetahui temperatur, tekanan, dan laju aliran refrigerant, kinerja mesin pendingin dapat diamati dari waktu ke waktu. Permasalahan, seperti ruangan tempat produk tidak dingin, dapat diketahui dengan adanya alat ukur tersebut.

Setelah blast chiller dengan semua alat ukur telah siap, maka tahapan yang menarik, yaitu pengujian dapat dilakukan. Untuk mengetahui kinerja blast chiller, temperatur udara dalam ruangan dan temperatur dalam produk perlu diukur dari waktu ke waktu. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk menurunkan temperatur produk dari 70°C ke 30°C dapat diketahui dan dibandingkan dengan target yang ingin dicapai. Variabel dalam pengujian dapat meliputi: jenis produk (apakah padat atau cairan) dan massa produk yang akan didinginkan.

Dengan dipasangnya alat ukur temperatur, tekanan, dan laju aliran, maka dalam penelitian ini akan didapat beberapa hal yang penting dalam sistem pendingin, yaitu diagram P-h siklus pendingin, COP blast chiller yang dirancang, dan grafik temperatur pendinginan produk sebagai fungsi waktu. Hasil pengujian ini akan dipublikasikan dalam jurnal internasional atau prosiding di suatu seminar/konperensi tingkat internasional.

Dari pengujian dapat diketahui apakah blast chiller telah mencapai target yang diharapkan atau tidak. Jika target tidak tercapai, maka akan dilakukan analisa dari data yang didapat dan dicari parameter yang perlu diperbaiki. Setelah modifikasi/perbaikan selesai dilakukan, pengujian diulangi hingga target tercapai. Akhirnya, blast chiller yang mencapai target dapat di-launching ke pasar dan didaftarkan untuk mendapatkan HKI.

BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Viskositas

Pertama yang dilakukan yaitu melakukan sebuah eksperimen untuk mengetahui *density* dari kuah kaldu. Alat yang dipakai yaitu gelas kosong, timbangan, air, kuah kaldu. Maka dari percobaan dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$m_{\text{gelas kosong}} = 18,4 \text{ gram}$$

$$m_{\text{gelas berisi air}} = 89,84 \text{ gram}$$

$$m_{\text{air}} = 89,84 - 18,4 = 71,44 \text{ gram}$$

Setelah didapatkan massa air maka dapat dicari volume gelas yang dipakai.

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } V_{\text{gelas}} &= \frac{m}{\rho} = \frac{71,44 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} \\ &= 71,44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Proses berikutnya dengan cara yang sama yaitu untuk mencari densitas dari kaldu diketahui data sebagai berikut:

$$m_{\text{kaldu dan gelas}} = 90,62 \text{ gram}$$

$$m_{\text{kaldu}} = 90,62 - 18,4 = 72,2 \text{ gram}$$

$$V_{\text{gelas}} = 71,44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \rho_{\text{kaldu}} &= \frac{m}{V} \\ &= \frac{72,2 \text{ gram}}{71,44 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} \\ &= 1010,9 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Jadi dapat diketahui densitas dari kuah kaldu yaitu $1010,9 \text{ kg/m}^3$.

Untuk mencari viskositas juga dengan melakukan percobaan dengan alat: pipa kapiler panjang 30 cm dengan diameter 3 mm, penggaris, wadah, dan *stopwatch*.

Dari percobaan didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \rho \cdot g \cdot h \\ &= 1010,9 \cdot 9,8 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \\ &= 495,34 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Data material:

Pipa selang infus bahan plastic PVC

$$L_{\text{pipa}} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$d_{\text{pipa}} = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{pipa}} &= \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \\ &= 7,0686 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit aliran, } Q &= A \cdot V \\ &= 7,0686 \cdot 10^{-6} \cdot V \end{aligned}$$

Dari percobaan terhitung waktu rata-rata

Percobaan	1	2	3	4	5
Waktu(detik)	1,9	1,5	2	2,2	2,6

$$\text{waktu}_{\text{rata-rata}} = 2,04 \text{ detik}$$

Dari panjang selang dan waktu rata-rata dicari kecepatan dari aliran fluida.

$$\text{Kecepatan fluida, } V = \frac{L}{T} \\ = \frac{0,3}{2,04} = 0,147 \text{ m/s}$$

$$\text{Maka debit aliran } Q = 0,147 \cdot 7,0686 \cdot 10^{-6} \\ = 1,039 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Viskositas dicari dengan persamaan:

$$\mu = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot d^4}{128 \cdot Q \cdot L} \\ = \frac{\pi \cdot 495,34 \cdot (3 \cdot 10^{-3})^4}{1,039 \cdot 128 \cdot 0,3} \\ = 3,159 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2 \\ = 0,00315 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

Viskositas berubah menjadi semakin kental apabila mengalami penurunan suhu maka perlu dicari viskositas pada suhu 3°C.

$$\text{Pada suhu } 20^\circ \text{ viskositas kaldu} = 0,00315 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

$$\text{Pada suhu } 20^\circ \text{ viskositas air} = 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

$$\text{Pada suhu } 3^\circ \text{ viskositas kaldu} = 0,00165 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

Maka suhu 3° viskositas kaldu

$$\frac{0,001}{0,00165} = \frac{0,00315}{x} \\ x = 0,00512 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

5.2. Impeller

Dari data yang diketahui maka ditentukan *impeller* yang sesuai dengan kebutuhan.

Tujuan pengadukan: *heat transfer*

$$\text{Viskositas: } 0,00512 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

Pola aliran: axial dan radial, Aliran: turbulent

Putaran: 150 rpm, Kapasitas: 17,2 liter

Dari data diatas kita mencari *impeller* yang ideal sesuai dengan kebutuhan maka:

Impeller yang dipakai yaitu tipe *pitched impeller turbine*.

$$\alpha = 45^\circ$$

Spesifikasi perhitungan ukuran *impeller*:

Diameter *impeller*

$$D_a = D_t \cdot 0,5$$

$$= 28 \cdot 0,5$$

$$= 14 \text{ cm}$$

Lt (panjang *impeller*)

$$L_t = 2 \cdot h_2$$

$$= 2 \cdot 2,48$$

$$= 5,6 \text{ cm}$$

Lebar *impeller*

$$h_2 = D_a \cdot 0,2$$

$$= 14 \cdot 0,2$$

$$= 2,8 \text{ cm}$$

J (jarak dasar)

$$J = D_t \cdot 0,1$$

$$= 28 \cdot 0,1$$

$$= 2,8 \text{ cm}$$

Gaya-gaya yang terjadi pada *impeller*

Spesifikasi *impeller* dan cairan kaldu putaran yang dipakai $n = 150 \text{ rpm}$ dan massa jenis kaldu $\rho = 1010,9 \text{ kg/m}^3$. Viskositas kuah kaldu $\mu = 0,00512 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$.

Dengan densitas dan ketinggian tabung dapat dicari tekanan hidrostatik:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$= 1010,9 \cdot 9,8 \cdot 0,28$$

$$= 2773 \text{ Pa}$$

Setelah itu dicari besar gaya yang terjadi:

$$F = P \cdot b \cdot \sin \theta \frac{(d_o - d_i)}{2}$$

$$F = 2773 \cdot 0,028 \cdot 45 \frac{(0,14 - 0,028)}{2}$$

$$= 3,06 \text{ N}$$

Maka resultan gaya

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ &= \sqrt{0,313^2 + 0,313^2} \\ &= \sqrt{0,196} \\ &= 0,443 \text{ kg} \cdot 9,8 \\ &= 4,34 \text{ N} \end{aligned}$$

Tekanan yang ada mengakibatkan momen *bending* maka dari itu diperlukan ketebalan *impeller* yang aman. Momen *bending* pada *impeller* dapat dicari dengan:

$$\begin{aligned} Mb &= \int_{r_1}^{r_2} F \cdot dx \\ &= \int_{r_1}^{r_2} P \cdot A \cdot dx \\ &= P \cdot lb \int_{r_1}^{r_2} x \cdot dx \\ &= 283,052 \cdot 2,8 \cdot 10^{-2} \int_{14 \cdot 10^{-3}}^{7 \cdot 10^{-2}} x \cdot dx \\ &= 283,052 \cdot 2,8 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{(7 \cdot 10^{-2})^2 - (14 \cdot 10^{-3})^2}{2} \right) \\ &= 0,0186 \text{ Kg.m} \\ &= 0,182 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Tegangan *bending* akibat momen *bending*:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_b}{W_b} \\ W_b &= \frac{lb \cdot t^2}{6} \end{aligned}$$

Maka dapat dicari dari persamaan ketebalan dari *impeller* dengan faktor keamanan = 1,2 dan S_{yp} material SS 304 L = 210 MPa.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_b}{W_b} \\ &= \frac{M_b}{\frac{lb \cdot t^2}{6}} \end{aligned}$$

$$t^2 \geq \frac{6 \cdot M_b}{lb \cdot \sigma}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{6 \cdot 0,182}{2,8 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{210 \cdot 10^6}{1,2}}}$$

$$t \geq \sqrt{0,22 \cdot 10^{-6} \text{ m}}$$

$$t \geq 0,46 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t \geq 0,46 \text{ mm}$$

Jadi ketebalan *impeller* minimal yaitu 0,46 **mm** maka tebal *impeller* yang dipakai 1mm.

Maka torsi dari *impeller*

$$F = P \cdot b \cdot \sin \theta \frac{[(\frac{d_o}{2})^2 - (\frac{d_i}{2})^2]}{2}$$

$$F = 283,052 \cdot 0,028 \cdot \sin 45 \frac{[(\frac{0,14}{2})^2 - (\frac{0,028}{2})^2]}{2}$$

$$= 0,0131 \text{ Kgm} \cdot 9,8$$

$$= 0,128 \text{ Nm}$$

Torsi yang terjadi karena massa dari benda tersebut untuk bergerak.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$$= \frac{2\pi \cdot 150}{60}$$

$$= 15,7 \text{ rad/s}$$

Untuk mencapai putaran konstan dibutuhkan waktu 4 detik sehingga:

$$\alpha = \omega/4$$

$$= 15,7/4$$

$$= 3,92 \text{ rad/s}^2$$

Pertama perlu mencari massa dari masing-masing part dengan menghitung volume dan densitas dari material.

Volume *impeller*

$$V = p \cdot l \cdot t$$

$$= 5,6 \cdot 2,8 \cdot 0,1$$

$$= 1,568 \text{ cm}^3$$

$$= 1,568 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Massa *impeller*

$$m = \rho \cdot V$$

$$= 8000 \cdot 1,568 \cdot 10^{-6}$$

$$= 12,4 \text{ gram}$$

Karena *impeller* tidak terletak pada pusat maka torsi

$$0,5 + 0,9 + 2,8 = 4,2 \text{ cm}$$

Sehingga momen inersia

$$= \frac{1}{12} \cdot m \cdot Lt^2 + m \cdot J^2$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{12} \cdot 12,4 \cdot (4,2 \cdot 10^{-2})^2 + 12,4 \cdot (2,8 \cdot 10^{-2})^2 \\
&= (18,22 + 97,216) \cdot 10^{-4} \\
&= 115,43 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^2
\end{aligned}$$

Karena ada 6 maka momen inersia *impeller*.

$$\begin{aligned}
&= 6 \times 115,43 \cdot 10^{-7} \\
&= 692,616 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^2
\end{aligned}$$

Volume poros

$$\begin{aligned}
V &= \frac{\pi \cdot D s^2 \cdot t}{4} \\
&= \frac{\pi \cdot (10^{-2})^2 \cdot 24 \cdot 10^{-2}}{4} \\
&= 18,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Massa poros

$$\begin{aligned}
m &= \rho \cdot V \\
&= 8000 \cdot 18,8 \cdot 10^{-6} \\
&= 15,07 \cdot 10^{-2} \text{ kg}
\end{aligned}$$

Inersia poros

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \\
&= \frac{1}{2} \cdot 15,07 \cdot 10^{-2} \cdot (0,5 \cdot 10^{-2})^2 \\
&= 1,88 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2
\end{aligned}$$

Setelah itu dicari inersia total.

$$\begin{aligned}
\text{Maka } I_{tot} &= I_{impeller} + I_{poros} + I_{piringan} \\
&= 692,616 \cdot 10^{-7} + 18,8 \cdot 10^{-7} + 83,2 \cdot 10^{-7} \\
&= 794,616 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^2
\end{aligned}$$

Torsi inersia

$$\begin{aligned}
T_{inersia} &= \alpha \cdot I_{tot} \\
&= 3,92 \cdot 794,616 \cdot 10^{-7} \\
&= 312 \cdot 10^{-6} \text{ Nm}
\end{aligned}$$

5.3 Tangki

Pada perhitungan spesifikasi tangki ditambah 25% agar tidak tumpah ketika diaduk.

Spesifikasi tangki tinggi $H_t = 28 \text{ cm} = 0,28 \text{ m}$ dan jari-jari tangki $R = 14 \text{ cm} = 0,14 \text{ m}$. Maka besar volume tangki:

$$\begin{aligned}
V &= \pi \cdot r^2 \cdot ht \\
V &= \frac{22}{7} \cdot 0,28^2 \cdot 0,28 \\
V &= 17,2 \text{ liter}
\end{aligned}$$



Gambar 5.1 Arah tekanan pada tangki

Tekanan yang terjadi pada tangki

$$\rho = 1010,9 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \rho \cdot g \cdot h_t \\ &= 1010,9 \cdot 9,8 \cdot 0,28 \\ &= 2773,9 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Tekanan karena gaya sentrifugal dari *impeller*

$$N = 150 \text{ rpm} = 2,5 \text{ rps}$$

maka

$$\begin{aligned} u &= \pi \cdot D \cdot n \\ &= \pi \cdot 0,28 \cdot 2,5 \\ &= 2,19 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Sehingga gaya tekanan pada impeller karena gerak sentrifugal:

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{\rho \cdot u^2 \ln r}{g} \\ &= \frac{1010,9 \cdot 10^{-9} \cdot 2190^2 \cdot \ln 140}{9,8 \cdot 10^3} \\ &= 2,34 \cdot 10^{-3} \frac{N}{\text{mm}^2} = 2340 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Jadi tekanan total

$$\begin{aligned} P_t &= P_1 + P_2 \\ P_t &= 2773,9 + 2340 \\ P_t &= 5113 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Bahan yang dipakai sama yaitu SS304L dengan yield point = 210 MPa dan faktor keamanan = 1,2.

Tegangan ijin bending:

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \frac{210}{1,2} \\ &= 175 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tebal tangki dapat dicari dengan persamaan dengan diketahui besar tekanan yang terjadi dan radius dari tangki.

$$\begin{aligned} t &\geq \frac{P_t \cdot r_t}{\sigma_i - 0,6P} \\ t &\geq \frac{5113 \cdot 0,14}{175 \cdot 10^6 - 0,6 \cdot 5113} \\ t &\geq 4,09 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ t &\geq 4,09 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk ketebalan dasar tangki

Gaya pada dasar tangki:

$$\begin{aligned}W &= m \cdot g \\&= \rho \cdot V \cdot g \\&= 1010,9 \cdot 17,2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \\&= 170,7 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= \pi \cdot r^2 \\&= \pi \cdot (14 \cdot 10^{-2})^2 \\&= 0,0615 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Tekanan dasar tangki

$$\begin{aligned}P &= \frac{F}{A} \\&= \frac{126,36}{0,0615} \\&= 2773,9 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Untuk ketebalan dasar tangki digunakan persamaan:

$$\begin{aligned}t &\geq \frac{P \cdot Dt}{2 \cdot \sigma_i - 0,2 \cdot P} \\t &\geq \frac{2773,9 \cdot 0,28}{2 \cdot 175 \cdot 10^6 - 0,2 \cdot 2773,9} \\t &\geq 2,21 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\t &\geq 2,21 \cdot 10^{-3} \text{ mm}\end{aligned}$$

Poros

Torsi yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya: 0,134 Nm

Bahan SS 304L dengan *safety factor* = 1,2

Tegangan yang diijinkan:

$$\begin{aligned}\tau_i &= \frac{210 \cdot 10^6}{1,2} \\&= 175 \cdot 10^6 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Diameter poros yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}ds^3 &\geq \frac{16}{\pi \cdot \tau_i} \sqrt{Kt \cdot T^2} \\ds^3 &\geq \frac{16}{\pi \cdot 175 \cdot 10^6} \sqrt{1,0 \cdot 134^2} \\ds^3 &\geq 3,8 \cdot 10^{-9} \\ds &\geq \sqrt[3]{3,8 \cdot 10^{-9}} \\ds &\geq 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ds &\geq 0,15 \text{ cm}\end{aligned}$$

Maka diameter yang digunakan = 1 cm

5.4 Pasak

Untuk hubungan piringan dengan poros menggunakan *square key*.

Material key SS304 L dengan $S_{yp} = 210 \text{ MPa}$ maka $S_{syp} = 0,58 \cdot 210 = 121,8 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 F_{kel} &= \frac{T}{r} \\
 &= \frac{4,34}{0,5 \cdot 10^{-2}} \\
 &= 868 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Ditentukan $W = H = 0,4 \text{ cm}$

Maka dicari panjang karena gaya geser dengan: Luasan pasak yang rusak akibat gaya geser

$$A_{geser} = W \cdot L_g$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{F_{kel}}{W \cdot L_g} \leq \frac{S_{syp}}{A_k} \\
 &= \frac{868}{0,4 \cdot 10^{-2} \cdot L_g} \leq \frac{121,8 \cdot 10^6}{1,2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_g &= 2,13 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\
 &= 0,213 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Luasan pasak yang rusak akibat gaya tekan

$$\begin{aligned}
 A_c &= \frac{1}{2} \cdot H \cdot L_c \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 10^{-2} \cdot L_c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= \frac{F_{kel}}{A_c} \leq \frac{S_{yp}}{A_k} \\
 &= \frac{868}{0,2 \cdot 10^{-2} \cdot L_c} \leq \frac{210 \cdot 10^6}{1,2}
 \end{aligned}$$

$$L_c = 2,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$L_c = 0,25 \text{ m}$$

5.5 Daya motor

Efisiensi motor yang ditetapkan sebesar 0,8 dengan sebesar $\omega = 15,7 \text{ rad/s}$ dan i = jumlah *impeller* yang dipakai 2 buah.

$$\begin{aligned}
 \text{Torsi total} &= F \cdot r + T_{inersia} + T_f \\
 &= 0,128 + 312 \cdot 10^{-6} + 0,22 \cdot 10^{-6} \\
 &= 0,128 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui besar torsi maka dapat dicari daya yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{(T_x + T_f + T_i) \cdot \omega \cdot i}{745,7} \\
 P &= \frac{0,128 \cdot 15,7 \cdot 2}{745,7} \\
 &= 5,38 \cdot 10^{-3} \text{ HP} \\
 &= 4,01 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

5.6 Bearing

Data yang diketahui untuk mencari *bearing*.

No.	Type of Bearing	Single Row Bearing		Double Row Bearing	
		X_0	Y_0	X_0	Y_0
1.	Radial contact groove ball bearings	0.60	0.50	0.60	0.50
2.	Self aligning ball bearing and tapered roller bearing	0.50	$0.22 \cot \theta$	1	$0.44 \cot \theta$
3.	Angular contact groove bearing :				
	$\theta = 15^\circ$				
	$\theta = 20^\circ$	0.50	0.46	1	0.92
	$\theta = 25^\circ$	0.50	0.42	1	0.84
	$\theta = 30^\circ$	0.50	0.38	1	0.76
	$\theta = 35^\circ$	0.50	0.33	1	0.66
	$\theta = 40^\circ$	0.50	0.29	1	0.58
	$\theta = 45^\circ$	0.50	0.26	1	0.52
		0.50	0.22	1	0.44

Dengan melihat tabel radial *bearing* digunakan maka dapat diketahui X_0, Y_0 digunakan rumus untuk single row *bearing*.

Dengan $X_0 = 0,5$ dan $Y_0 = 0,46$

Dengan asumsi putaran normal maka diketahui $F_w = 1,2$ dan pemakaian normal maka *safety factor* = 2. Beban ekivalen untuk *angular contact ball bearing* dihitung:

P_0 = beban ekivalen statis

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

$$= 0 + 0,46 (W + F_y)$$

$$= 0,46 \cdot (0,202 + 0,313) \cdot 9,8$$

$$= 2,32 \text{ N}$$

Beban yang diterima

$$P_w = F_w \cdot P_0$$

$$= 1.2 \cdot 2,32$$

$$= 2,78 \text{ N}$$

Kemudian dicari beban sesuai faktor keamanan

P_w aktual

$$= S_0 \cdot P_w$$

$$= 2 \cdot 2,72$$

$$= 5,56 \text{ N}$$

Pada proses awal yaitu persiapan dari semua alat. Pembuatan rumah *bearing* dengan proses bubut. Pembuatan poros dengan proses bubut untuk tempat *snap ring* dan *rigid coupling*. Pembuatan tutup tangki dengan proses tekuk dan las lalu diberi lubang pada bagian tengah untuk tempat rumah *bearing* dengan proses *drilling*. Pembuatan *pulley* dengan proses bubut. Pembuatan *impeller* dengan *laser cutting* lalu *assembly* dengan *rigid coupling* dan proses las. Pembuatan rangka dari mesin dengan proses las. Pengaduk memiliki bentuk seperti Gambar 5.2. Proses menurunkan putaran motor mesin jahit dari 5000 rpm ke 150 rpm dengan dua proses yaitu memakai dimer dan transmisi *pulley*. Hal ini pada Gambar 5.3.



Gambar 5.2 Komponen pengaduk



Gambar 5.3 Motor dan *dimer*



Gambar 5.4 Pemasangan rumah *bearing*

Proses perakitan dimulai dengan pemasangan rumah *bearing* pada tutup tangki, seperti pada Gambar 5.4. Setelah rumah *bearing* terpasang maka *bearing* dimasukkan pada bagian atas dan bawah. Proses pemasangan *bearing* dilakukan dengan ditekan pada bagian kiri dan kanan secara bersamaan.

Kemudian poros dimasukkan lalu diberi *snap ring* agar poros tidak jatuh. *Pulley* dipasang pada bagian atas poros kemudian disejajarkan dengan *pulley* pada motor. Jarak *belt* dari *pulley* dipasang dengan erat agar tidak *loss* atau longgar. Setelah *fix* maka *mounting* motor dilas dengan bagian tutup.. Proses selanjutnya yaitu memasang *impeller* pada bagian bawah dengan system *rigid coupling*. Setelah semua terpasang sempurna maka motor diberi *dimer* untuk mengatur putaran *output* dari motor.



Gambar 5.5 Proses *assembly* tangki dan pengaduk

Lalu dilakukan proses *assembly* dengan tangka, seperti pada Gambar 5.5. Proses ini menggabungkan bagian tutup dengan badan tangki yang telah terpasang pipa evaporator. Setelah terpasang maka dilakukan *setting* pada mesin dengan kalibrasi suhu dan tekanan menggunakan sensor *pressure gauge* dan *thermo couple* yang dibaca oleh panel *PLC display*.

5.7 Perancangan Ruang Kabin Makanan

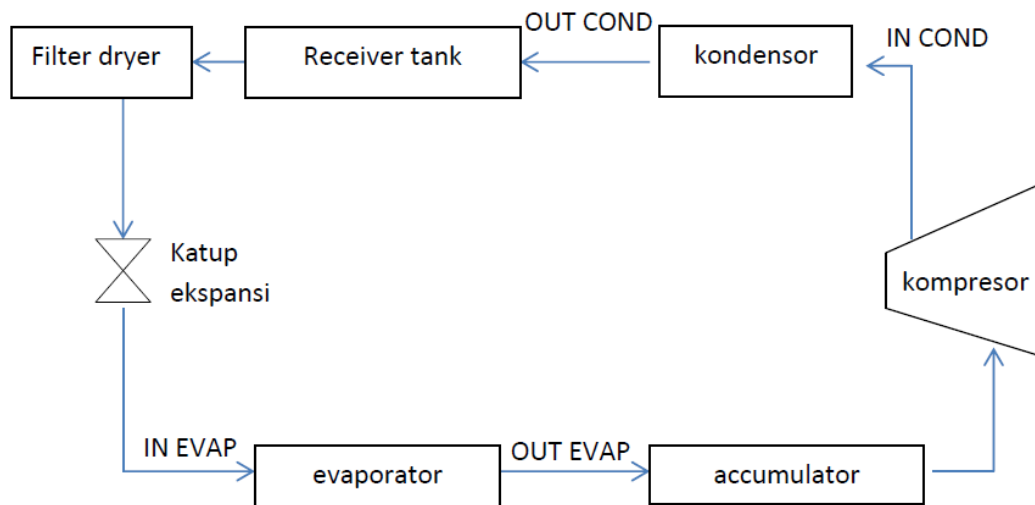
Flexible Blast Chiller dirancang untuk kapasitas 10 kg makanan padat (*daging*) atau 10 L makanan cair (*kuah*), maka dirancang suatu kabin yang mampu menampung makanan tersebut. Menurut Basori (2015), massa jenis *daging sapi* adalah 1506 kg/m^3 , maka :

$$\begin{aligned} V_{\text{daging sapi}} &= \frac{m}{\rho_{\text{daging sapi}}} \\ &= \frac{10}{1506} \\ &= 0,0064 \text{ m}^3 \\ &= 6,4 \text{ L} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka dirancang suatu kabin dengan diameter dalam (D_{in} kabin) 27 cm, diameter luar (D_{out} kabin) 27,1 cm, dan tinggi kabin 24 cm yang mampu memuat kapasitas 13 L. Kabin terbuat dari *stainless steel*.

5.8 Penentuan Siklus Pendingin

Ada bermacam-macam siklus dalam sistem refrigerasi yang dapat digunakan pada *Flexible Blast Chiller*. Siklus yang dipilih untuk mesin adalah siklus kompresi uap ideal. Siklus ini memiliki sistem yang sederhana namun cukup kompak, komponen-komponen yang digunakan cukup sederhana, dan tidak membutuhkan ruang besar. Siklus mesin ditunjukkan pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Siklus mesin *Flexible Blast Chiller*

5.9 Penentuan Temperatur Kerja Evaporator dan Kondensor

Substansi yang ingin didinginkan adalah 10 kg daging atau 10 liter kuah kaldu dengan suhu 70°C menjadi 3°C. Menurut Smith (p.361, 2005), penentuan suhu refrigerant supaya terjadi perpindahan panas minimal memiliki beda temperatur sekitar 10-20°C, lebih dari itu tetap bisa digunakan namun ada konsekuensi kerja yang diperlukan pada siklus ini menjadi terlalu besar sehingga tidak efektif atau boros. Suhu lingkungan udara sekitar *Flexible Blast Chiller* adalah sekitar 35°C. Menurut teori di atas, maka suhu refrigerant pada evaporator adalah -10°C dan suhu refrigerant pada kondensor adalah 45°C.

5.10 Penentuan Jenis Refrigerant

Ada bermacam-macam jenis refrigerant. Pemilihan untuk mesin *blast chiller* berdasarkan faktor keamanan terhadap lingkungan dan kemampuannya untuk berubah fase pada tekanan kerja *Flexible Blast Chiller*. Refrigerant yang sering digunakan dalam industri makanan selama ini adalah R-404a karena refrigerant tersebut memiliki kandungan yang lebih ramah lingkungan. Refrigerant R-404a sering dipilih sebagai refrigerant untuk pendinginan makanan dibandingkan R-134a. Alasannya karena beban pendinginan yang mampu diserap R-404a lebih besar daripada R-134a. Hal ini dibuktikan pada contoh aplikasi perhitungan *condensing unit* dari salah satu *supplier*. Pada unit dan temperatur saturasi evaporator yang sama, refrigerant R-404a mampu menanggung beban pendinginan yang lebih besar dibandingkan refrigerant R-134a (gambar 5.7).

Refrigerant: R404A
 Reference temperature: Dew point temp.
 Series: Standard
 Compressor type: Single Compressor
 Motor version: all

Compressor selection
☐ Cooling capacity: 0,807
☒ Compressor model: 2KES-05Y
☐ Incl. former types

Operating point
 Evaporating SST: -10 °C
 Condensing SDT: 45 °C

Operating conditions
 Liq. subc. (in condenser): 0 K
 Suction gas temperature: 20 °C
☐ Useful superheat: 100 %
 Operating mode: Auto

Capacity control
☒ without

44,7°C
 2KES-05Y (100%)

Result	Limits	Technical Data	Dimensions
Tentative Data. *According to EN12900 (20°C suction gas temp., 0K liquid)			
Compressor		2KES-05Y-40S	
Capacity steps		100%	
Cooling capacity		1,72 kW	
Cooling capacity *		1,72 kW	
Evaporator capacity		1,72 kW	
Power input		0,88 kW	
Current (400V)		1,85 A	
Voltage range		380-420V	
Condenser Capacity		2,60 kW	
COP/EER		1,96	
COP/EER *		1,96	
Mass flow		51,7 kg/h	
Operating mode		Standard	
Discharge gas temp. w/o cooling		99,0 °C	

a. R-404a

Refrigerant: R134a
 Reference temperature: Dew point temp.
 Series: Standard
 Compressor type: Single Compressor
 Motor version: all

Compressor selection
☐ Cooling capacity: 0,807
☒ Compressor model: 2KES-05Y
☐ Incl. former types

Operating point
 Evaporating SST: -10 °C
 Condensing SDT: 45 °C

Operating conditions
 Liq. subc. (in condenser): 0 K
 Suction gas temperature: 20 °C
☐ Useful superheat: 100 %
 Operating mode: Auto

Capacity control
☒ without

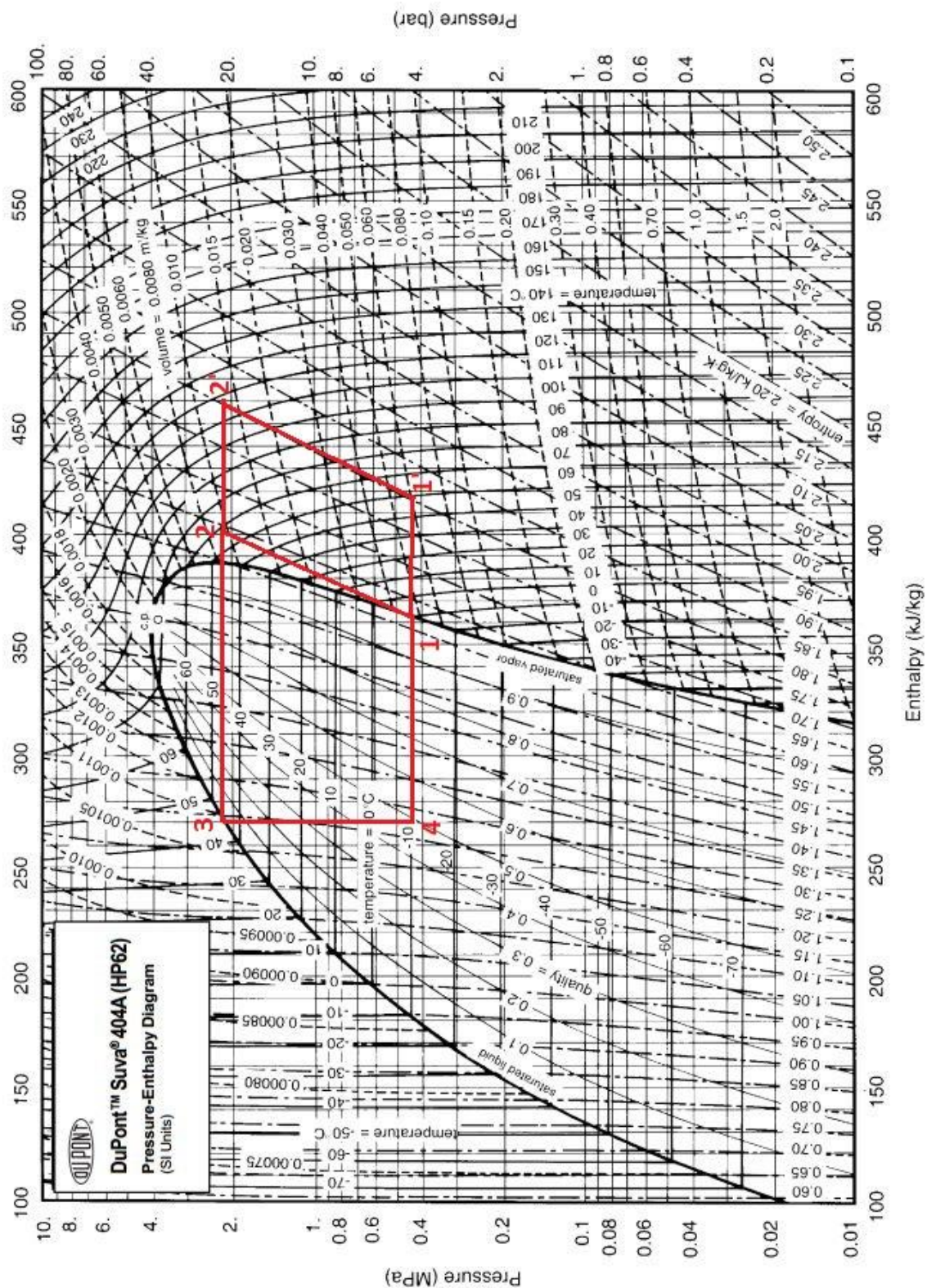
45,0°C
 2KES-05Y (100%)

Result	Limits	Technical Data	Dimensions
Tentative Data. *According to EN12900 (20°C suction gas temp., 0K liquid)			
Compressor		2KES-05Y-40S	
Capacity steps		100%	
Cooling capacity		1,01 kW	
Cooling capacity *		1,01 kW	
Evaporator capacity		1,01 kW	
Power input		0,53 kW	
Current (400V)		1,51 A	
Voltage range		380-420V	
Condenser Capacity		1,54 kW	
COP/EER		1,91	
COP/EER *		1,91	
Mass flow		23,7 kg/h	
Operating mode		Standard	
Discharge gas temp. w/o cooling		114,2 °C	

b. R-134a

Gambar 5.7 Perbandingan kinerja beberapa refrigerant

Sumber : <https://www.bitzer.de/websoftware/>



Gambar 5.8 Diagram $P-h$ R-404a

5.11 Perhitungan Kapasitas Pendinginan

Beban kalor pada *Flexible Blast Chiller* adalah jumlah kalor yang ingin diserap dari substansi ke refrigerant kemudian dibuang ke udara lingkungan. Substansi tersebut adalah 10 kg daging atau

10 liter kuah kaldu yang akan didinginkan dari 70°C menjadi 3°C dalam waktu 75 menit. Data kuah akan diambil dengan diasumsikan sebagai air karena komposisi terbesar dalam kuah adalah air. Berikut perhitungan besarnya kalor masing-masing substansi.

- Beban kalor dari daging :

Massa daging adalah 10 kg, sedangkan kalor jenis daging (C_{daging}) adalah 3100 J/kg.°C, maka beban kalor dari daging :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{daging}} &= \frac{m_{\text{daging}} \times C_{\text{daging}} \times (T_1 - T_2)}{t} \\ &= \frac{10 \times 3100 \times (70 - 3)}{75 \times 60} \\ &= 461,56 \text{ Watt}\end{aligned}$$

- Beban kalor dari kuah kaldu :

Sebagian *properties* kuah diambil menurut *properties* air, karena komposisi terbesar dari kuah adalah air. Volume kuah (V_{kuah}) adalah 10 liter atau 0,01 m³, massa jenis kuah (ρ_{kuah}) adalah 997 kg/m³, dan kalor jenis kuah ($C_{p_{\text{kuah}}}$) adalah 4.100 J/kg.°C (Rahman,2009), maka massa kuah :

$$\begin{aligned}m_{\text{kuah}} &= \rho_{\text{kuah}} \times V_{\text{kuah}} \\ &= 997 \times 0,01 \\ &= 9,97 \text{ kg}\end{aligned}$$

sehingga beban kalor dari kuah :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{kuah}} &= \frac{m_{\text{kuah}} \times C_{p_{\text{kuah}}} \times (T_1 - T_2)}{t} \\ &= \frac{9,97 \times 4.100 \times (70 - 3)}{75 \times 60} \\ &= 608 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Menurut perhitungan di atas, maka perhitungan selanjutnya akan digunakan beban kalor dari kuah karena beban dari kuah lebih besar daripada beban dari daging.

Untuk *safety factor* untuk sistem pendingin *blast chiller* sebesar 30% dari beban total, maka kapasitas evaporator yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{evap}} &= \dot{Q}_{\text{kuah}} + (\dot{Q}_{\text{kuah}} \times 0,3) \\ &= 608 + (608 \times 0,3) \\ &= 791 \text{ Watt}\end{aligned}$$

5.12 Perhitungan Lajur Alir Massa Refrigerant

Pada temperatur -10°C fase uap jenuh, maka entalpi di titik 1 (h_1) sebesar 212 kJ/kg. Pada temperatur 45°C fase cair jenuh, maka entalpi di titik 3 (h_3) sebesar 120 kJ/kg, sedangkan besar entalpi pada titik 3 sama dengan titik 4 ($h_3 = h_4$). Perhitungan laju aliran massa refrigerant adalah:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{791/1000}{212 - 120} \\ &= 0,0086 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

5.13 Perhitungan dan Penentuan Kondensor

Perhitungan kondensor menggunakan data yang didapatkan melalui diagram *P-h* dan IRC *Fluid Property Calculator*. Entalpi pada titik 3 (h_3) adalah 120 kJ/kg dan entalpi pada titik 2 (h_2)

adalah 370 kJ/kg, maka besarnya kapasitas kondensor yang dibutuhkan dalam sistem dapat dihitung:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{kondensor}} &= \dot{m} \times (h_2 - h_3) \\ &= 0,0086 \times (370 - 120) \\ &= 2,1 \text{ kW}\end{aligned}$$

Namun berdasarkan kondisi nyata, kondensor menerima beban lebih saat pertama kali makanan panas didinginkan. Hal tersebut menyebabkan temperatur saturasi refrigerant yang keluar dari evaporator lebih dari -10°C. Dalam kondisi tersebut, fase refrigerant berupa uap *superheat* bersuhu tinggi, sehingga kapasitas kondensor perlu diperbesar dari seharusnya (gambar 5.8). Asumsi temperatur keluar evaporator pada awal proses adalah sebesar 50°C. Pada temperatur tersebut, maka besar entalpi pada titik 2 (h_2') adalah 470 kJ/kg dan titik 3 (h_3') adalah 120 kJ/kg, maka besar kapasitas yang diperlukan kondensor dalam kondisi aktual :

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{kondensor aktual}} &= \dot{m} \times (h_2' - h_3') \\ &= 0,0086 \times (470 - 120) \\ &= 3,01 \text{ kW}\end{aligned}$$

Jenis kondensor yang digunakan dalam sistem refrigerasi *Flexible Blast Chiller* adalah kondensor dengan jenis *finned tubes*. Hal ini dikarenakan kondensor dengan jenis *finned tubes* memiliki efisiensi yang lebih baik dalam melepaskan kalor (gambar 5.9). Sirip-sirip yang terdapat pada *tubes* dapat membantu perpindahan kalor dari *tubes* ke lingkungan. Berdasarkan jenis dan besar kapasitas kondensor yang dibutuhkan, maka dipilihlah kondensor tipe FN 11,5 dengan kapasitas 3,5 kW (tabel 5.1).

Tabel 5.4 Kapasitas kondensor tipe FN

Sumber : http://www.tianyicool.cn/products_detail/&productId=39.html

Model	Norminal capacity (kw)	heat transfer area (M2)
FN-2(2×4)	0.6	2
FN-3.4(3×4)	1	3.4
FN-4.4(3×5)	1.3	4.4
FN-5.4(3×6)	1.6	5.4
FN-7.0(4×6)	2	7
FN-8.4(3×8)	2.3	8.4
FN-11.5(4×8)	3.5	11.5
FN-15(4×9)	4.4	15



Gambar 5.9 Kondensor tipe FN

Sumber : http://www.tianyicool.cn/products_detail/&productId=39.html

5.14 Penentuan Kompresor

Jenis kompresor yang akan digunakan untuk pembuatan *Flexible Blast Chiller* ini adalah kompresor jenis hermetik merk Tecumseh tipe CAJ9510Z (gambar 5.10) karena kompresor jenis ini tidak memakai tenaga penggerak dari luar, suaranya lebih tenang, getarannya kecil, rumah kompresor kedap udara sehingga dapat bekerja di kondisi berdebu. Selain itu bentuknya kecil, kompak dan harganya relatif lebih murah. Kompresor hermetik merk Tecumseh tipe CAJ9510Z mampu menanggung beban dari evaporator sebesar 791 W dan dapat bekerja di temperatur tinggi (tipe *high temperature compressor*). Spesifikasi kompresor adalah sebagai berikut (Tabel 5.2).

Tabel 5.5 Kompresor merk Tecumseh (Sumber : www.tecumseh.com)

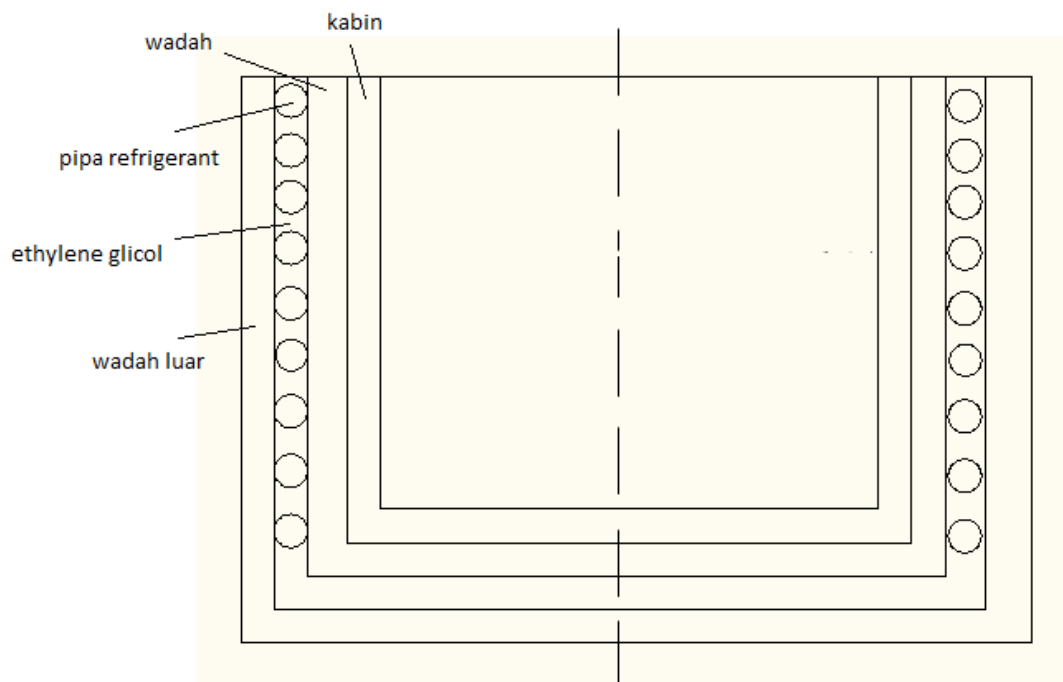
 PISTON	Models	Capacity (cm ³)	Motor type	EN12900 (RTG 20 °C) - 50 Hz		
				Evaporation T° -10 °C		
				QPF (Watt)	P asb (Watt)	COP (W/W)
	THB4428Z	5,2	CSIR	386	307	1,26
	New AE4425Z	4,24	CSIR	349	212	1,61
	New AE4430Z	5,16	CSIR	421	266	1,58
	New AE4440Z	6,69	CSIR	541	342	1,58
	New AE4450Z	8,85	CSIR	719	467	1,54
	New AE4460Z	10,33	CSIR	877	532	1,65
	New AE4470Z	12,01	CSR	1024	628	1,63
	CAJ/TAJ9480Z	15,2	CSR / TRI	1159	692	1,67
	CAJ/TAJ9510Z	18,3	CSR / TRI	1453	844	1,72
	CAJ/TAJ9513Z	24,2	CSR / TRI	1827	990	1,85
	CAJ/TAJ4517Z	25,95	CSR / TRI	2070	1122	1,84
	CAJ/TAJ4519Z	34,45	CSR / TRI	2699	1595	1,69



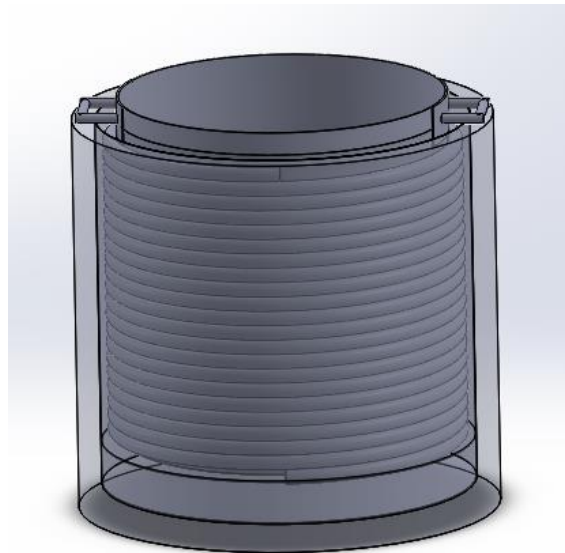
Gambar 5.10 Kompresor hermetik
Sumber : www.danfoss.com

5.15 Perancangan Evaporator

Dalam kasus ini, sistem perpindahan panas adalah dari kuah ke refrigerant dengan asumsi tidak ada energi termal yang dibangkitkan kepada sistem, dan arah perpindahan panas secara radial. Perpindahan panas yang terjadi adalah sejumlah kalor dari kuah dipindahkan ke refrigerant. Pada lapisan pipa refrigerant diisi oleh ethylene glycol yang bertujuan supaya perpindahan panas secara konduksi ke luasan dinding pipa refrigerant dapat maksimal. Skema evaporator ditunjukkan pada gambar 5.11 dan rencana desain evaporator ditunjukkan pada gambar 5.12.



Gambar 5.11 Skema desain evaporator



Gambar 5.12 Rencana desain evaporator

5.15.1 Perhitungan Koefisien Konveksi *Two Phase Refrigerant*

Penentuan koefisien pada evaporator digunakan teori *flow boiling* karena proses yang terjadi pada refrigerant saat melalui evaporator adalah proses *flow boiling*, yaitu berubahnya fase refrigerant dari *mixture* (masuk evaporator) menjadi uap jenuh (keluar evaporator). Pipa yang digunakan adalah pipa tembaga nominal 3/8 in tipe M (ukuran nominal pipa mengikuti *line suction* kompresor). Refrigerant yang digunakan adalah R-404a. Data-data yang diperlukan untuk perhitungan didapat dari IRC *Fluid Property Calculator*. Pada temperatur -10°C , *surface tension* refrigerant (σ) $0,00875 \text{ N/m}$, massa jenis refrigerant fase gas (ρ_g) $21,9 \text{ kg/m}^3$, massa jenis refrigerant fase cair (ρ_f) 1190 kg/m^3 , viskositas refrigerant (μ_f) $0,000204 \text{ N.s/m}^2$, koefisien konduktivitas refrigerant (k_f) $0,0779 \text{ W/m.K}$, dan *Prandtl number* (Pr_f) $3,54$. Diameter dalam pipa (D_{in} pipa) sebesar $0,45 \text{ in}$. Percepatan gravitasi (g) yang digunakan dalam perhitungan sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$. Perhitungan luas *cross section* pipa adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{\pi}{4} \times D_{in}^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times (0,0254 \times 0,45)^2 \\ &= 0,000102 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menghitung *mass flux* refrigerant dengan:

$$\begin{aligned} G &= \frac{\dot{m}}{A_c} \\ &= \frac{0,0086}{0,000102} \\ &= 83,8 \text{ kg/m}^2.\text{s} \end{aligned}$$

Data dari IRC *Fluid Property Calculator* menunjukkan entalpi refrigerant fase cair pada titik 4 (h_{4f}) $37,3 \text{ kJ/kg}$, sedangkan pada fase gas (h_{4g}) 212 kJ/kg . Besar entalpi pada titik 4 sama dengan titik 3 ($h_4 = h_3$) 120 kJ/kg , maka kualitas massa (x) refrigerant juga dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{h_4 - h_{4f}}{h_{4g} - h_{4f}} \\
 &= \frac{120 - 37,3}{212 - 37,3} \\
 &= 0,47
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menghitung L_c yang merupakan panjang karakteristik partikel uap pada *subregion* terjadinya *forced evaporating* dengan menggunakan:

$$\begin{aligned}
 L_c &= \sqrt{\frac{\sigma}{g \times (\rho_f - \rho_g)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,00875}{9,81 \times (1190 - 21,9)}} \\
 &= 8,7 \times 10^{-4} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung bilangan Re_m dengan menggunakan:

$$\begin{aligned}
 Re_m &= G \times \left[1 + x \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} - 1 \right) \right] \times \frac{L_c}{\mu_f} \\
 &= 83,8 \times \left[1 + 0,47 \left(\frac{1190}{21,9} - 1 \right) \right] \times \frac{8,7 \times 10^{-4}}{0,000204} \\
 &= 9.428
 \end{aligned}$$

maka koefisien konveksi *two phase boiling* pada refrigerant dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 \bar{h}_{2p} &= \frac{0,087 \times Re_m^{0,6} \times Pr_f^{1/6} \times \left(\frac{\rho_g}{\rho_f} \right)^{0,2} \times k_f}{L_c} \\
 &= \frac{0,087 \times 9.428^{0,6} \times 3,54^{1/6} \times \left(\frac{21,9}{1190} \right)^{0,2} \times 0,0779}{8,7 \times 10^{-4}} \\
 &= 1.044 \text{ W/m}^2.\text{K}
 \end{aligned}$$

5.15.2 Perhitungan Koefisien Konveksi Kuah

Temperatur awal kuah saat pertama kali masuk ke dalam kabin (T_{kuah1}) adalah 70°C. Kemudian kuah akan didinginkan hingga temperatur kuah akhir (T_{kuah2}) menjadi 3°C. Temperatur rata-rata kuah adalah :

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{T_{kuah1} + T_{kuah2}}{2} \\
 &= \frac{70+3}{2} \\
 &= 36,5^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

maka data *properties* kuah diambil berdasarkan pada suhu 36,5°C. Data yang akan diambil dengan diasumsikan sebagai air, karena komposisi terbesar dalam kuah adalah air. Pada temperatur 36,5°C, massa jenis kuah (ρ_{kuah}) 997 kg/m³, viskositas kuah (μ_{kuah}) 0,000695 N.s/m², *Prandtl number* kuah ($Pr_{f \text{ kuah}}$) 4,62, dan koefisien konduktivitas ($k_{f \text{ kuah}}$) 0,628 W/m.K.

Flexible blast chiller ini menggunakan mekanisme pengaduk yang berfungsi agar mengoptimalkan proses perpindahan panas dari kuah. Spesifikasi mesin pengaduk yaitu putaran mesin (n) sebesar 150 rpm dengan diameter *blade* pengaduk (*D blade*) 0,14 m, maka bilangan Re_{kuah} dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned} Re_{kuah} &= \frac{\frac{n}{60} \times D_{blade}^2 \times \rho_{fkuah}}{\mu_{fkuah}} \\ &= \frac{\frac{150}{60} \times 0,14^2 \times 997}{0,000695} \\ &= 70.292,72 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menghitung bilangan Nu. Menurut Incropera (2011), perhitungan Nu konveksi paksa aliran eksternal di atas plat dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Nu &= 0,037 \times Re^{0,8} \times Pr^{1/3} \\ &= 0,037 \times 70.292,72^{0,8} \times 4,62^{1/3} \\ &= 464,812 \end{aligned}$$

Panjang keliling kabin adalah :

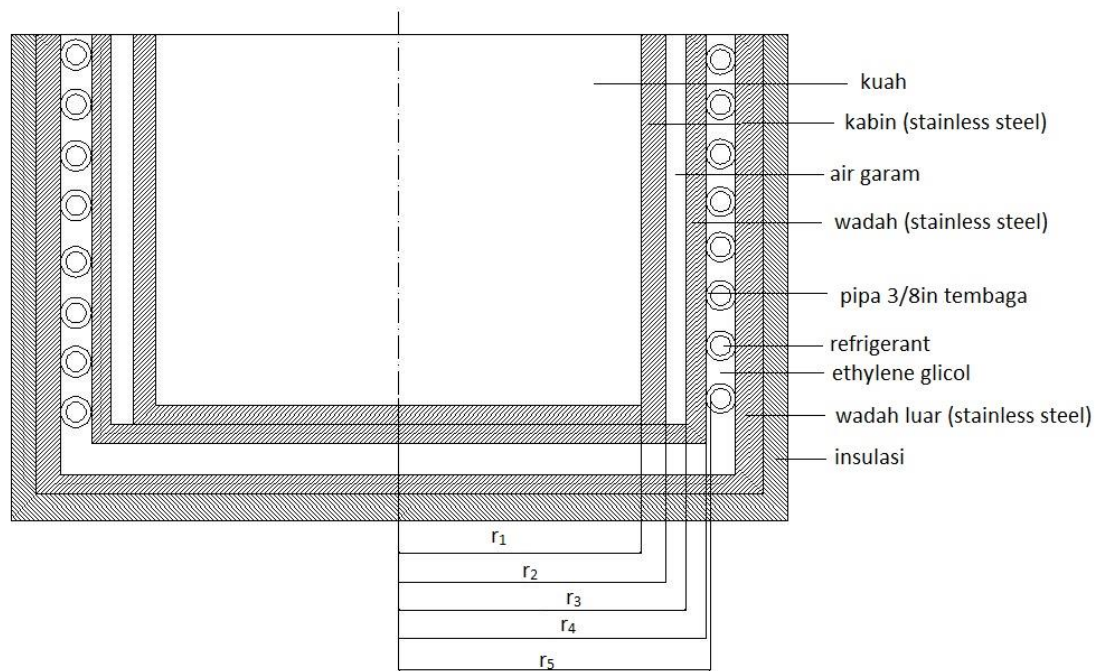
$$\begin{aligned} \text{Keliling kabin (x)} &= \pi \times D_{in} \text{ kabin} \\ &= \pi \times 0,27 \\ &= 0,84 \text{ m} \end{aligned}$$

maka perhitungan koefisien konveksi kuah adalah :

$$\begin{aligned} \bar{h}_{kuah} &= \frac{Nu \times k_{kuah}}{x} \\ &= \frac{464,812 \times 0,628}{0,84} \\ &= 344,3 \text{ W/m}^2.\text{K} \end{aligned}$$

5.15.3 Perhitungan Overall Heat Coefficient

Overall heat coefficient adalah koefisien konveksi secara keseluruhan pada suatu sistem perpindahan panas. Menurut skema jala termal (gambar 4.8), maka masing-masing panjang radius r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 adalah 0,135 m , 0,1355 m, 0,1385 m, 0,139 m, 0,139635 m. Koefisien konduktivitas dari *stainless steel* ($k_{stainless \text{ steel}}$) adalah 14,9 W/m.K, pada tembaga ($k_{tembaga}$) adalah 401 W/m.K, dan pada air garam menurut *National Physical Laboratory* 0,563 W/m.K. Nilai koefisien konveksi refrigerant ($\bar{h}_{2p}$) pada bab 5.9.1 sebesar 1.044 W/m².K dan koefisien konveksi kuah ($\bar{h}_{kuah}$) dari perhitungan pada bab 5.9.2 sebesar 344,3 W/m².K. Menurut Cengel (2006), *overall heat coefficient* pada sistem silinder (aliran perpindahan panas secara radial) dapat dihitung dengan cara berikut.



Gambar 5.13 Skema jala termal dalam evaporator

$$U_i \cdot A_i = \frac{1}{\frac{1}{h_{kuah} \cdot 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{stainless\ steel} L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{air\ garam} L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_{stainless\ steel} L} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{2\pi k_{tembaga} L} + \frac{1}{h_{2p\ ref} \cdot 2\pi r_5 L}}$$

$$U_i \cdot 2\pi r_1 L = \frac{1}{\frac{1}{h_{kuah} \cdot 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{stainless\ steel} L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_{air\ garam} L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_{stainless\ steel} L} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{2\pi k_{tembaga} L} + \frac{1}{h_{2p\ ref} \cdot 2\pi r_5 L}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_{kuah}} + \frac{r_1}{k_{stainless\ steel}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{r_1}{k_{air\ garam}} \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{r_1}{k_{stainless\ steel}} \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) + \frac{r_1}{k_{tembaga}} \ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right) + \frac{r_1}{h_{2p\ ref} \cdot r_5}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{344,3} + \frac{0,135}{14,9} \ln\left(\frac{0,1355}{0,135}\right) + \frac{0,135}{0,563} \ln\left(\frac{0,1385}{0,135}\right) + \frac{0,135}{14,9} \ln\left(\frac{0,139}{0,1385}\right) + \frac{0,135}{401} \ln\left(\frac{0,142635}{0,139}\right) + \frac{0,135}{1044 \cdot 0,139635}}$$

$$= 109,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Setelah mengetahui *overall heat transfer coefficient*, maka besar luasan kabin yang dibutuhkan pada evaporator agar bisa menyerap kalor dari kuah dapat dihitung, yaitu dengan mencari luas selimut kabin :

$$A_i = \frac{\dot{Q}_{evap}}{U_i \times (T_{m\ kuah} - T_{ref})}$$

$$= \frac{791}{109,43 \times (36,5 - (-10))}$$

$$= 0,15 \text{ m}^2$$

Diameter dalam kabin (D_{in} kabin) pada desain awal adalah 0,27 m, maka tinggi minimum kabin yang dibutuhkan pada evaporator :

$$L = \frac{A_i}{\pi \times D_{in} \text{ kabin}}$$

$$= \frac{0,15}{\pi \times 0,27}$$

$$= 0,18 \text{ m}$$

Menurut perhitungan di atas, maka dimensi kabin awal sesuai dengan yang dibutuhkan, yaitu dengan diameter dalam (D_{in} kabin) 0,27 m, diameter luar (D_{out} kabin) 0,271 m, dan tinggi kabin 0,24 m.

5.16 Penentuan Expansion Valve

Penentuan komponen alat ekspansi ini disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi yang ada. Beban pendinginan pada *Flexible Blast Chiller* akan berubah-ubah, maka diperlukan alat ekspansi yang dapat mengontrol beban evaporator tersebut. Oleh karena itu *valve* yang akan digunakan adalah jenis *thermostatic expansion valve*. Adapun spesifikasi yang dibutuhkan oleh *valve* adalah mampu bekerja di tekanan kerja inlet *valve* minimal 21 bar dengan temperatur evaporator -10°C dan refrigerant yang digunakan adalah R-404a. Menurut kebutuhan tersebut, maka dipilihlah katup ekspansi merk Danfoss dengan tipe TES 2, no. produk : 068Z3403 dengan spesifikasi pada Tabel 5.3.

Tabel 5.6 Spesifikasi *Thermostatic Expansion Valve* merk Danfoss

Sumber : www.danfoss.com

TYPE CODE	TES 2
WEIGHT	0.290 Kg
INLET TYPE	Flare
INLET SIZE	3/8 IN
MWP	34,0 bar
OUTLET TYPE	Flare
OUTLET/EQ.	1/2 in x 1/4 in
TEMP. RANGE	$-40 - 10^{\circ}\text{C}$

5.17 Menghitung dan Menentukan Insulasi

Dalam proses perpindahan panas dari kuah ke refrigerant, diharapkan agar sistem terisolasi terhadap kalor dari luar. Oleh karena itu diperlukan insulasi untuk mengisolasi sistem. Ada bermacam-macam jenis insulasi seperti *glasswool*, foam, polyurethane, dsb. Insulasi yang akan digunakan pada *Flexible Blast Chiller* ini adalah jenis Armaflex (jenis foam) yang melapisi

permukaan dinding wadah terluar karena lentur sehingga insulasi dapat mengikuti bentuk silinder dan lebih kedap udara jika dibandingkan dengan *glasswool*.

Dalam penentuan tebal insulasi yang sesuai untuk *Flexible Blast Chiller*, diperlukan perhitungan r_{kritik} . Pada perhitungan r_{kritik} diperlukan data seperti temperatur lingkungan (T_∞) yaitu 35°C (308 K), temperatur permukaan benda yang akan diinsulasi (T_s) yang diasumsikan sebesar -10°C (263 K), percepatan gravitasi (g) sebesar 9,81 m/s², dan tinggi wadah paling luar (L_c) sebesar 0,32 m. Menurut data temperatur lingkungan dan temperatur permukaan, maka temperatur rata-rata adalah :

$$T_f = \frac{308 + 263}{2}$$

$$= 285,5 \text{ K}$$

Semua data *properties* udara diambil berdasarkan data pada suhu 285,5 K. Menurut Cengel (2006), udara pada temperatur 285,5 K memiliki *Prandtl number* (Pr_{udara}) 0,707, koefisien konduktivitas (k_{udara}) 0,0263 W/m.K, dan viskositas (ν_{udara}) $15,89 \times 10^{-6}$ m²/s.

Berdasarkan data di atas, besar koefisien volume ekspansi (β) dapat dihitung dengan menggunakan:

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$= \frac{1}{285,5}$$

$$= 0,003 \text{ K}^{-1}$$

sedangkan untuk mencari *Grashof number* (Gr) dengan menggunakan:

$$Gr = \left| \frac{\beta \times g \times (T_s - T_\infty) \times L_c^3}{\nu_{udara}^2} \right|$$

$$= \left| \frac{0,003 \times 9,81 \times (-10 - 35) \times 0,32^3}{(15,89 \times 10^{-6})^2} \right|$$

$$= 200.667.735$$

Selanjutnya menghitung *Rayleigh number* (Ra):

$$Ra = Gr \times Pr_{udara}$$

$$= 200.667.735 \times 0,707$$

$$= 141.872.089$$

Sebelum menentukan cara menghitung *Nusselt number* (Nu), terlebih dahulu mencari nilai dari $\frac{35L_c}{Gr^{1/4}}$. Menurut Incropera (2011), jika $\frac{35L_c}{Gr^{1/4}} < D_{silinder}$, maka *Nusselt number* dapat dihitung berdasarkan kondisi plat vertikal. Besar $D_{silinder}$ adalah 0,32 m. Besar $\frac{35L_c}{Gr^{1/4}}$ adalah :

$$\frac{35L_c}{Gr^{1/4}} = \frac{35 \times 0,32}{200.667.735^{1/4}}$$

$$= 0,094 \text{ m}$$

maka *Nusselt number* dapat dihitung dengan berdasarkan kondisi plat vertikal,

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times Ra^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr_{udara})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times 141.872.089^{1/6}}{[1 + (0,492/0,707)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 8,23$$

sehingga koefisien konveksi udara bebas :

$$\bar{h} = \frac{Nu \times k_{udara}}{L_c}$$

$$= \frac{8,23 \times 0,0263}{0,32}$$

$$= 0,67 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Koefisien konduktivitas insulasi Armaflex ($k_{armaflex}$) sebesar 0,034 W/m.K. Perhitungan r_{kritis} :

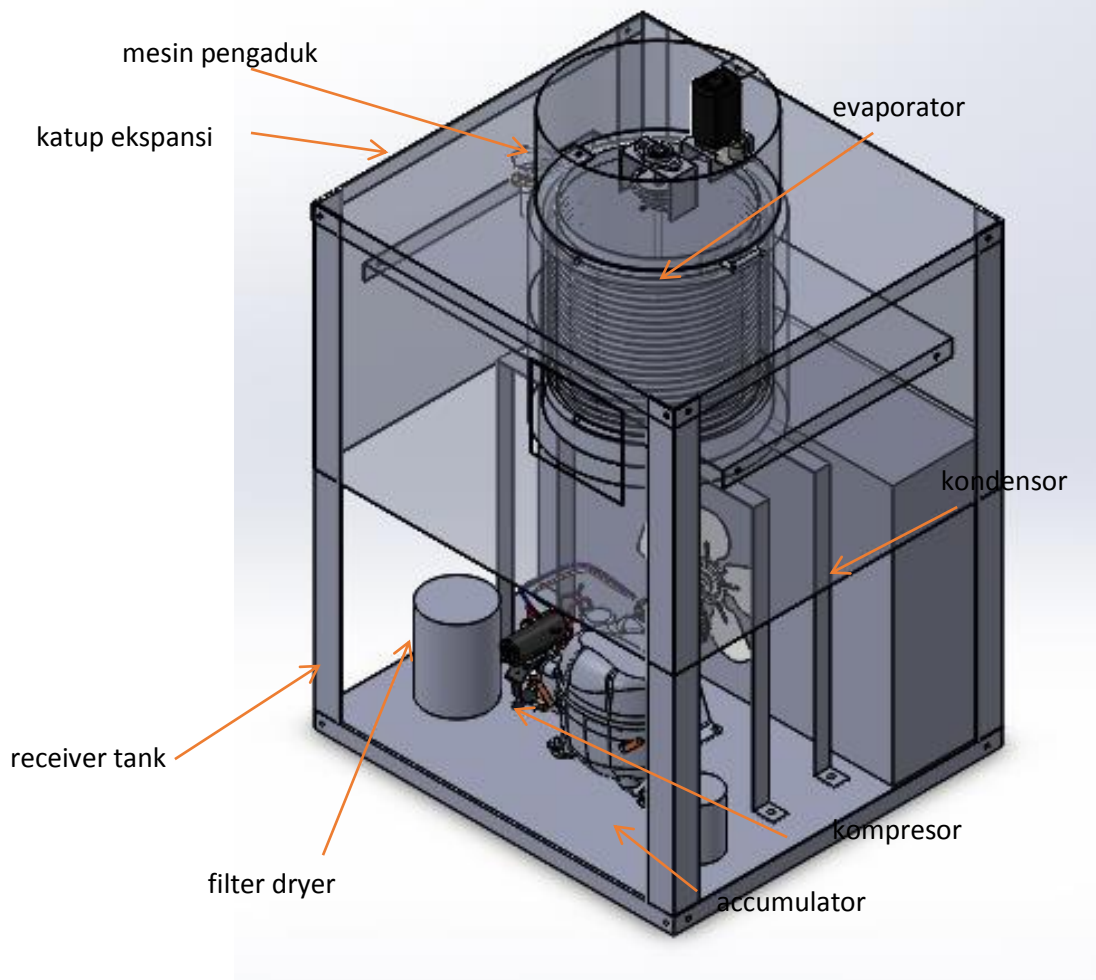
$$r_{kritis} = \frac{k_{armaflex}}{\bar{h}}$$

$$= \frac{0,034}{0,67}$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

maka panjang radius dari titik pusat kabin hingga dinding luar insulasi harus lebih besar daripada r_{kritis} sebesar 5 cm. Insulasi Armflex yang digunakan yaitu dengan tebal 4 cm.

5.18 Desain Flexible Blast Chiller



Gambar 5.14 Desain *Flexible Blast Chiller*

Gambar 5.14 merupakan desain rancangan *Flexible Blast Chiller*. Dari desain tersebut terdapat evaporator, kondensor, kompresor, katup ekspansi, *accumulator*, *receiver tank*, *filter dryer*, dan mesin pengaduk.

5.19 Pembuatan Mesin

Langkah pertama dalam pembuatan mesin adalah menyiapkan kabin dan wadah yang dililit dengan pipa sebagai evaporator (Gambar 5.15).



Gambar 5.15 Pembuatan kabin dan wadah

Kemudian evaporator dibuat dengan melilitkan pipa tembaga ke wadah. Setelah itu wadah diletakkan di dalam wadah terluar yang diameternya lebih besar. Lalu diberi insulasi supaya evaporator dapat terisolasi sehingga tidak terjadi perpindahan panas dengan lingkungan (Gambar 5.16).



Gambar 5.16 Pembuatan evaporator

Langkah berikutnya adalah membuat kerangka untuk *condensing unit* (Gambar 5.19). *Condensing unit* (Gambar 5.17) terdiri dari kompresor merk Tecumseh tipe CAJ9510Z (Gambar 5.18) dan condenser tipe FN 11,5 serta aksesoris seperti *accumulator*, *receiver tank*, *dryer*, dan *pressure gauge*.



Gambar 5.17 Condensing unit



Gambar 5.18 Kompresor merk Tecumseh tipe CAJ9510Z



Gambar 5.29 Pembuatan kerangka *condensing unit*

Setelah itu membuat kerangka untuk evaporator. Letak evaporator berada di atas *condensing unit* (Gambar 5.19).



Gambar 5.20 Pembuatan dan pemasangan kerangka untuk evaporator

Langkah selanjutnya menghubungkan antar pipa (Gambar 5.20) pada kompresor, kondensor, *receiver tank*, *dryer*, *thermostatic expansion valve* (Gambar 5.21), evaporator, dan *accumulator*.



Gambar 5.21 *Expansion valve* merk Danfoss tipe TES 2 R404A

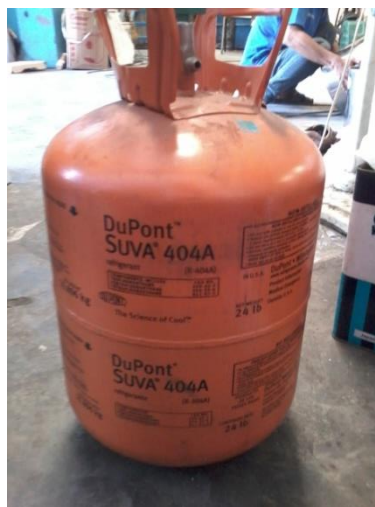


Gambar 5.22 Instalasi *joint* antara pipa pada sistem pendingin

Setelah instalasi pipa selesai, maka dilakukan uji kebocoran terlebih dahulu dengan mengalirkan nitrogen bertekanan ke dalam sistem (Gambar 5.22). Apabila terjadi kebocoran pada sambungan, maka akan terlihat nitrogen yang bocor keluar atau tekanan yang terlihat pada *pressure gauge* menurun. Jika tidak ada kebocoran, maka sistem akan kembali divakum dan diisi kembali dengan refrigerant R-404a (Gambar 5.23). Jika terjadi kebocoran, maka dilakukan inspeksi lebih lanjut dalam pencarian letak titik kebocoran dan memperbaiki atau mengganti bagian/komponen tersebut.



Gambar 5.23 Tes kebocoran sistem pendingin



Gambar 5.24 Tangki refrigerant R-404a

5.21 Hasil Pengujian

Percobaan Mesin

Adapun prosedur percobaan mesin adalah sebagai berikut :

1. Memanaskan kuah di dalam kabin hingga mencapai suhu 70°C.
2. Menghubungkan *thermocouple* ke Picolog *Data Logger* yang dihubungkan ke komputer.
3. Memasukkan kabin yang berisi kuah panas ke dalam wadah (evaporator) *Flexible Blast Chiller*.
4. Menutup kabin dengan tutup biasa.
5. Memulai rekaman data suhu pada program *data logger*.
6. Menyalakan *Flexible Blast Chiller*.
7. Mengamati perubahan suhu tiap titik (evaporator, kondensor, kompresor, katup ekspansi, kuah) hingga suhu kuah menjadi 3°C.
8. Mematikan mesin apabila kuah telah mencapai suhu 3°C.
9. Menghentikan proses rekam data suhu pada program *data logger*.
10. Menyimpan data tabel hasil percobaan mesin di komputer.
11. Menganalisa dan mengambil kesimpulan.

Apabila percobaan *Flexible Blast Chiller* dengan menggunakan pengaduk, maka prosedur percobaan adalah sebagai berikut :

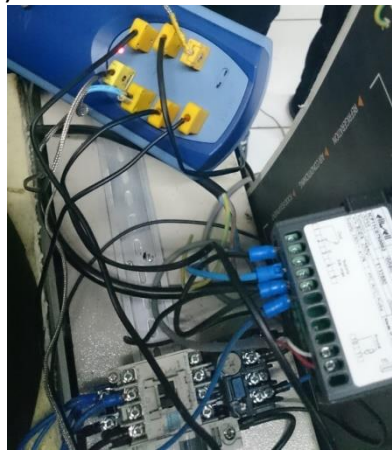
1. Memanaskan kuah di dalam kabin hingga mencapai suhu 70°C.
2. Menghubungkan *thermocouple* ke Picolog *Data Logger* yang dihubungkan ke komputer.
3. Memasukkan kabin yang berisi kuah panas ke dalam wadah (evaporator) *Flexible Blast Chiller*.
4. Menutup kabin dengan tutup yang telah terpasang mesin pengaduk.
5. Menyalakan mesin pengaduk dan diatur dengan putaran sebesar 150 rpm.
6. Memulai rekaman data suhu pada program *data logger*.
7. Menyalakan *Flexible Blast Chiller*.
8. Mengamati perubahan suhu tiap titik (evaporator, kondensor, kompresor, katup ekspansi, kuah) hingga suhu kuah menjadi 3°C.
9. Mematikan mesin apabila kuah telah mencapai suhu 3°C.
10. Menghentikan proses rekam data suhu pada program *data logger*.
11. Menyimpan data tabel hasil percobaan mesin di komputer.
12. Menganalisa dan mengambil kesimpulan.

Percobaan mesin dilakukan dengan menggunakan kuah kaldu yang sudah dipanaskan hingga suhu sekitar 70°C (Gambar 5.25). Setelah dipanaskan, kuah kaldu dalam kabin dimasukkan ke wadah yang merupakan evaporator dari *Flexible Blast Chiller*.



Gambar 5.25 Memanaskan kuah hingga 70°C

Pada mesin diaplikasikan *thermocouple* dan *pressure gauge* sebagai sensor suhu dan tekanan di beberapa titik, yaitu masuk evaporator, keluar evaporator, masuk kondensor, dan keluar kondensor. Hal ini dilakukan untuk mengambil data hasil uji coba mesin. Pengambilan data temperatur uji coba menggunakan aplikasi dan perangkat Picolog *Data Logger* dengan *thermocouple* tipe K (gambar 5.26).

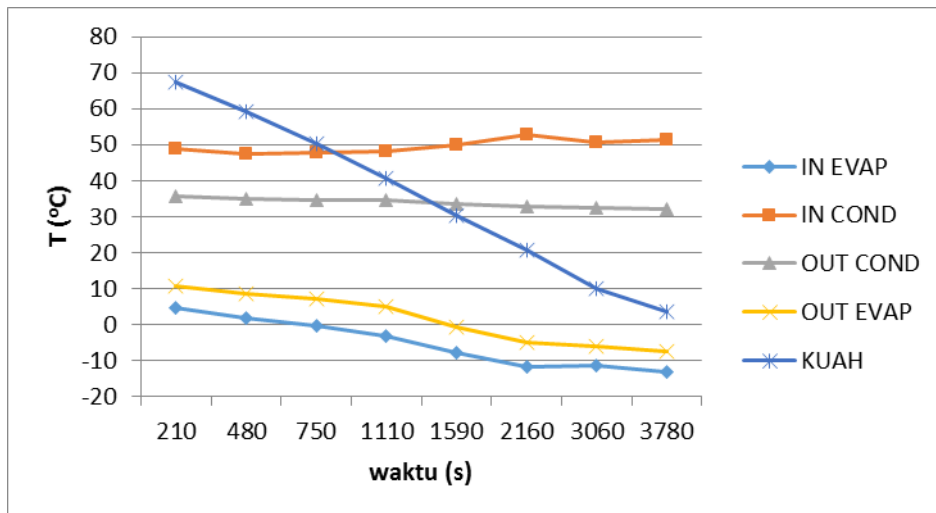


Gambar 5.26 *Thermocouple* yang terhubung ke Picolog *Data Logger*

Percobaan pertama adalah mendinginkan kuah kaldu dengan *Flexible Blast Chiller* tanpa diaduk oleh mesin pengaduk. Data temperatur hasil uji coba ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan grafik Gambar 5.27. Tabel dan grafik menunjukkan lama proses pendinginan kuah dengan *Flexible Blast Chiller* tanpa pengaduk adalah 63 menit.

Tabel 5.4 Hasil uji coba *Flexible Blast Chiller* tanpa diaduk

Time Seconds	IN EVAP °C	IN COND °C	OUT COND °C	OUT EVAP °C	KUAH °C
210	4.73	48.83	35.62	10.85	67.24
480	1.74	47.34	34.79	8.47	59.12
750	-0.23	47.67	34.74	7.02	50.38
...	...	...	...	...	...
2160	-11.89	52.71	32.95	-5.01	20.78
3060	-11.32	50.74	32.34	-6.12	10.09
3780	-13.34	51.4	32.15	-7.39	3.49
Total waktu	63	menit			

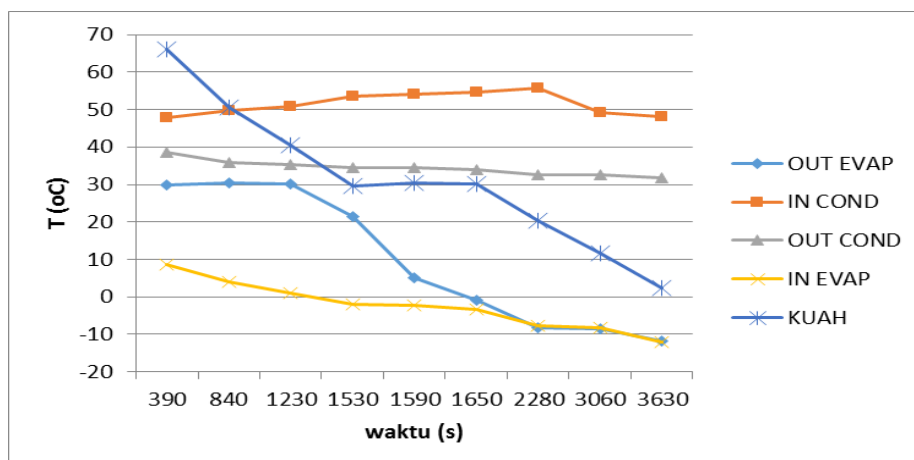


Gambar 5.27 Grafik temperatur percobaan pertama

Percobaan kedua sama dengan percobaan pertama dengan tujuan untuk validasi data percobaan kedua jika terdapat eror pada hasil data pengujian secara signifikan atau tidak. Percobaan kedua ditunjukkan pada Tabel 5.5 dan grafik Gambar 5.28. Tabel dan grafik menunjukkan lama proses pendinginan kuah dengan *Flexible Blast Chiller* tanpa pengaduk adalah 60,5 menit.

Tabel 5.5 Hasil uji coba ulang *Flexible Blast Chiller* tanpa pengaduk

Time Seconds	OUT EVAP °C	IN COND °C	OUT COND °C	IN EVAP °C	KUAH °C
390	29.9	47.86	38.6	8.72	66.03
840	30.29	49.63	35.98	4.06	50.56
1230	30.2	50.88	35.25	1.07	40.59
...	...	...	...	...	...
2280	-8.23	55.78	32.49	-7.65	20.43
3060	-8.45	49.29	32.66	-8.17	11.6
3630	-11.9	48.04	31.78	-12.03	2.5
Total waktu	60.5	menit			

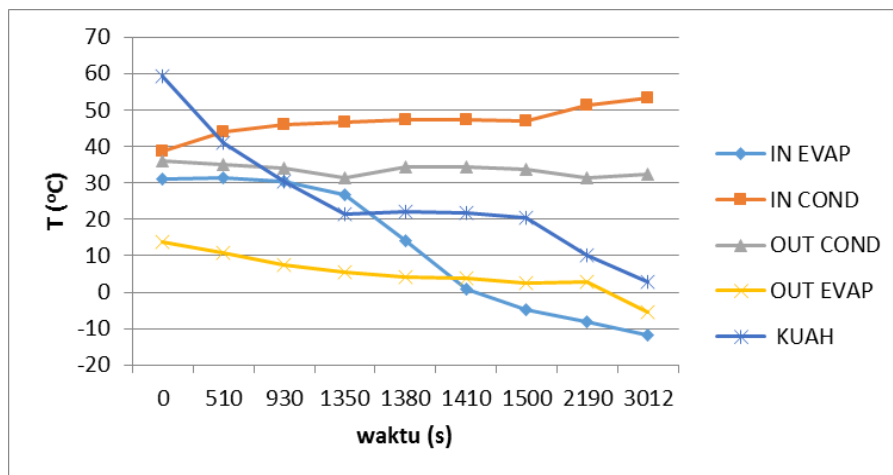


Gambar 5.28 Grafik temperatur percobaan kedua

Percobaan ketiga adalah mendinginkan kuah kaldu dengan *Flexible Blast Chiller* yang diaduk. Motor pengaduk diatur dengan besar putaran pengaduk 150 rpm. Data hasil uji coba mesin ditunjukkan pada Tabel 5.6 dan grafik Gambar 5.29. Tabel dan grafik menunjukkan lama proses pendinginan kuah dengan *Flexible Blast Chiller* dengan pengaduk adalah 50,2 menit.

Tabel 5.6 Hasil uji coba *Flexible Blast Chiller* dengan diaduk 150 rpm

Time Seconds	IN EVAP °C	IN COND °C	OUT COND °C	OUT EVAP °C	KUAH °C
0	30.91	38.64	35.96	13.85	59.29
510	31.28	44.03	35.1	10.87	40.92
930	30.35	45.86	34.06	7.42	30.34
...	...	...	...	...	...
1500	-4.89	47.12	33.84	2.65	20.4
2190	-8.22	51.4	31.51	2.87	10.23
3012	-11.79	53.37	32.5	-5.31	2.89
Total waktu	50.2	menit			

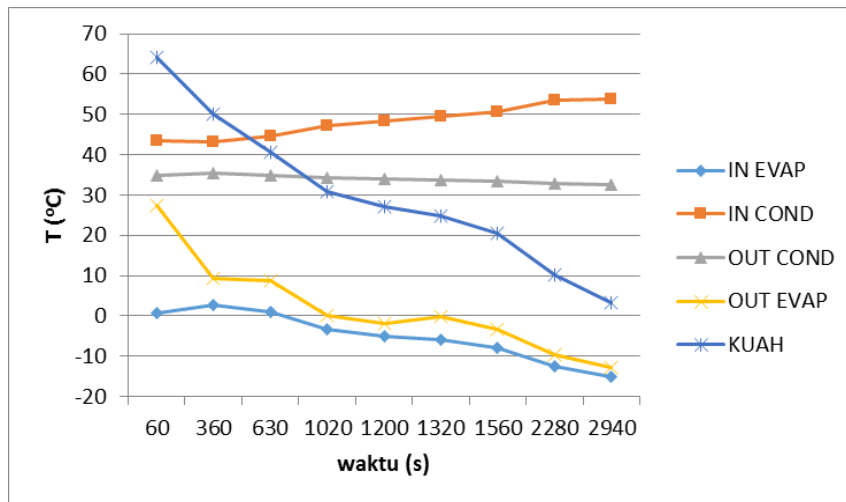


Gambar 5.29 Grafik temperatur percobaan ketiga

Percobaan keempat sama dengan percobaan ketiga dengan tujuan untuk validasi data percobaan ketiga jika terdapat eror pada hasil data pengujian secara signifikan atau tidak. Percobaan keempat ditunjukkan pada Tabel 5.7 dan grafik Gambar 5.30.

Tabel 5.7 Hasil uji coba ulang *Flexible Blast Chiller* dengan diaduk 150 rpm

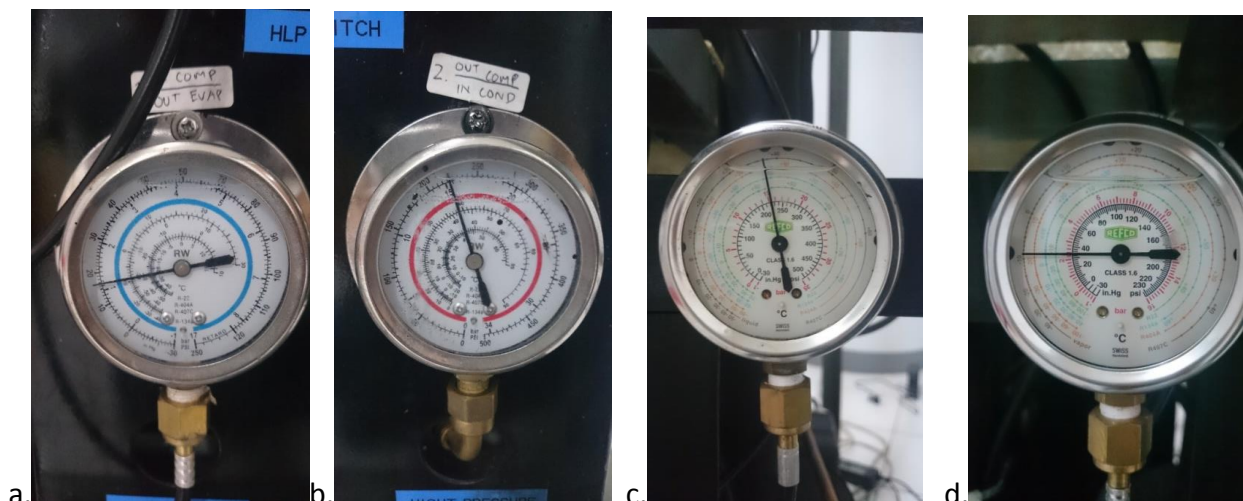
Time Seconds	IN EVAP °C	IN COND °C	OUT COND °C	OUT EVAP °C	KUAH °C
60	0.67	43.61	34.89	27.44	64.19
360	2.75	43.32	35.42	9.29	50
630	0.85	44.69	34.87	8.8	40.72
...	...	...	...	...	...
1560	-7.9	50.54	33.54	-3.42	20.5
2280	-12.5	53.61	32.88	-9.57	10.1
2940	-15.23	53.85	32.47	-12.84	3.26
Total waktu	49	menit			



Gambar 5.30 Grafik temperatur percobaan keempat

Tabel dan grafik di atas menunjukkan lama proses pendinginan kuah dengan *Flexible Blast Chiller* dengan pengaduk adalah 49 menit.

Tekanan kerja pada *Flexible Blast Chiller* di tiap titik ditunjukkan pada gambar 5.31.

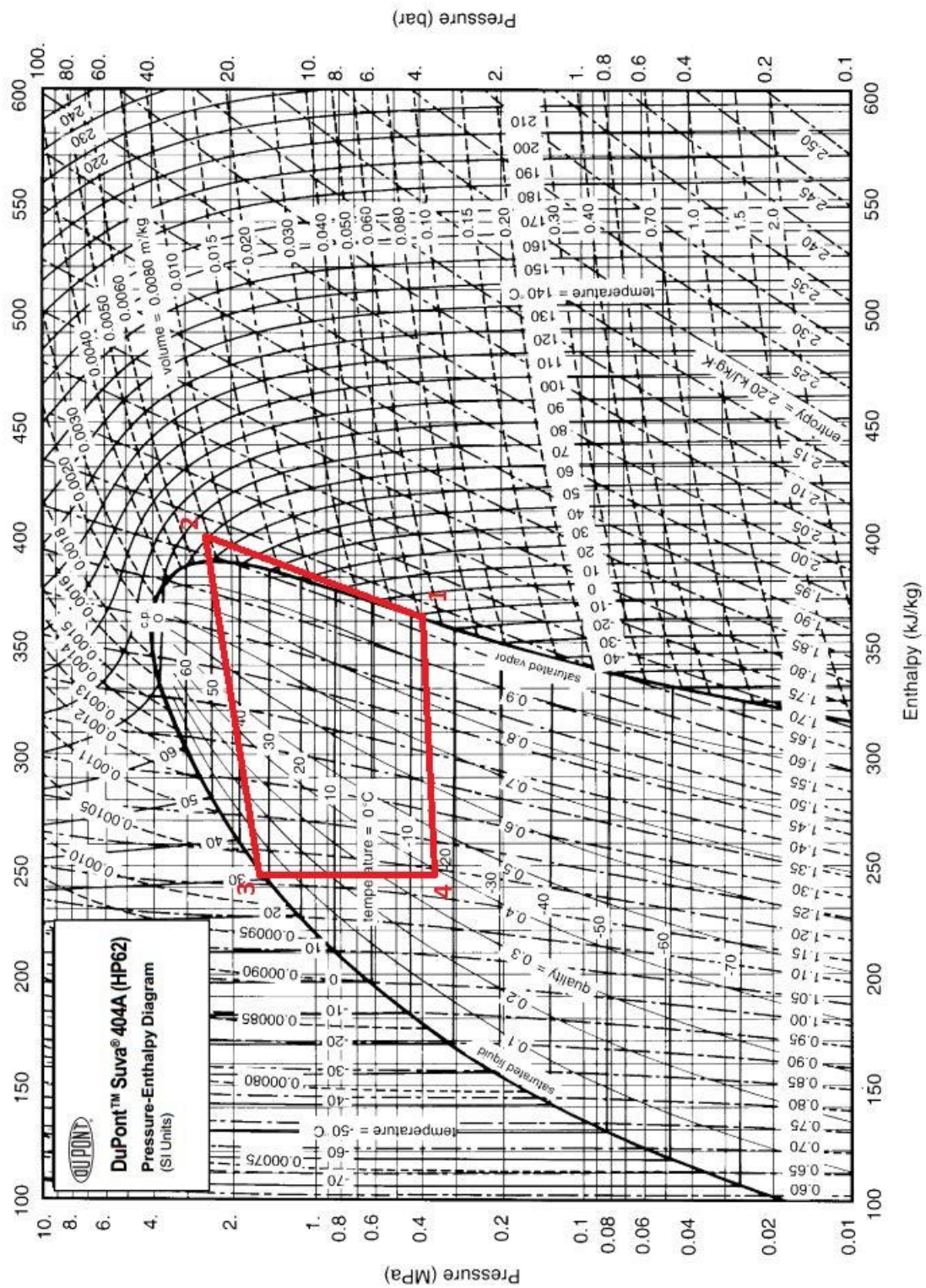


Gambar 5.31 a. Tekanan keluar evaporator (1,2 bar), b. Tekanan masuk kondensor (15,1 bar), c. Tekanan keluar kondensor (15,1 bar), d. Tekanan masuk evaporator (2,1 bar)

5.22 Analisa Data Hasil Percobaan

COP *Flexible Blast Chiller* dihitung berdasarkan jumlah kerja kompresor dan beban kapasitas pendinginan kuah. Besar arus listrik (I) yang terukur oleh ampere meter adalah 4,9 A, sedangkan besar sumber tegangan listrik (V) adalah 220 V. Besar beban kapasitas pendinginan kuah adalah 791 W, maka besar COP dapat dihitung menggunakan dengan persamaan berikut. Gambar 5.32 menunjukkan diagram P-h hasil uji coba *Flexible Blast Chiller*.

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{kuah}}}{W_{\text{kompresor}}} = \frac{Q_{\text{kuah}}}{I \cdot V} = \frac{791}{4,9 \cdot 220} \quad \text{COP} = 0.74$$



Gambar 5.32 Diagram P-h percobaan *Flexible Blast Chiller*

Bab 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Penelitian di tahun pertama telah berhasil dengan baik. Penelitian di tahun kedua direncanakan untuk memperbaiki kinerja mesin pendingin dan memperbaiki serta melengkapi pengukuran yang diperlukan.

Mesin pendingin yang telah didapatkan sekarang ini masih menggunakan kondensor komersial dengan kapasitas yang lebih besar. Untuk itu, pada tahun depan kondensor akan dirancang sendiri, tidak menggunakan yang komersial. Dengan harapan bisa mendapatkan rancangan yang lebih baik dan lebih compact.

Alat ukur perlu diperbaiki agar mendapat hasil pengukuran, terutama temperatur dan tekanan yang lebih akurat. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan analisa yang baik sehingga dapat dituliskan dalam paper yang nantinya bisa dikirim ke jurnal internasional yang terindeks scopus. Selain memperbaiki alat ukur temperatur dan tekanan, direncanakan untuk dapat mengukur laju aliran refrigerant yang mengalir di dalam mesin pendingin.

Pada penelitian sekarang, alat ukur tekanan hanya menggunakan pressure gauge analog yang keakuratan dan ketelitiannya kurang memadai. Pressure gauge dipasang di inlet evaporator, inlet kompresor (outlet evaporator), inlet kondensor, dan inlet expansion valve (outlet kondensor). Namun, karena alat ukur analog, maka perbedaan kecil antara inlet dan outlet evaporator dan kondensor kurang terbaca. Pada penelitian berikutnya, direncanakan menggunakan pressure transducer untuk mengukur tekanan.

Sedangkan thermocouple ada 6 buah yang digunakan untuk mengukur temperatur di inlet evaporator, inlet kompresor, inlet kondensor, inlet expansion valve, dalam kuah kaldu, dan udara ambien. Namun, pengukuran dilakukan di permukaan pipa, sehingga tidak mendapatkan data temperatur refrigerant sesungguhnya. Pada penelitian berikutnya, jika dimungkinkan hendak memasang thermocouple di dalam pipa dan di lebih banyak tempat, yaitu inlet dan outlet evaporator, inlet dan outlet kompresor, inlet dan outlet kondensor, inlet dan outlet expansion valve, beberapa lokasi dalam kuah kaldu, dan udara ambien.

Pada penelitian tahun pertama ini laju aliran refrigerant belum diukur, sedangkan informasi laju aliran ini sebenarnya penting dan menarik untuk diketahui, misalnya untuk menganalisa bagaimana laju aliran refrigerant ketika awal penyalaan, bagaimana pengaruh beban kalor terhadap laju aliran refrigerant. Semua analisa ini memerlukan informasi laju aliran. Oleh karenanya, pada penelitian berikut direncanakan untuk mengukur laju aliran refrigerant.

Bab 7. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan perancangan, *Flexible Blast Chiller* memerlukan daya refrigerasi minimal sebesar 807 Watt. Komponen-komponen *Flexible Blast Chiller* terdiri dari :

- 1 unit kompresor merk Tecumseh tipe CAJ9510Z dengan kapasitas pendinginan sebesar 1453 Watt.
- 1 unit kondensor tipe FN 11,5 dengan kapasitas 3,5 kW.
- 1 unit *thermostatic expansion valve* merk Danfoss tipe TES 2 dengan *inlet size* sebesar 3/8 in dan *maximum working pressure* (MWP) sebesar 34 bar.
- 1 unit evaporator rancangan yang terdiri dari panci *stainless steel* diameter 27 x tinggi 24 cm, diameter 27,7 cm x tinggi 24 cm, diameter 32 cm x tinggi 32 cm; pipa tembaga 3/8 in; *seal* karet; insulasi Armaflex 4cm; ethylene glycol 10 L.
- *Receiver tank, accumulator, dryer, sight glass*, dan tutup dengan motor pengaduk.
- Refrigerant R-404a.

Berdasarkan perancangan dan hasil uji coba mesin, *Flexible Blast Chiller* mampu mendinginkan kuah dengan kapasitas 10 liter dari 70°C menjadi 3°C selama 60,5 menit tanpa menggunakan mesin pengaduk dan selama 49 menit dengan menggunakan mesin pengaduk.

SARAN:

Penelitian dilanjutkan dengan data temperatur dan tekanan refrigerant dalam mesin pendingin yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bassett, W. ((1999). *Clay's Handbook of Environmental Health, 18th ed.* . London: E & FN Spon.
- Briley, G. (2002). Blast freezing. *ASHRAE Journal*, 44, 99.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2005). *Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed.* McGraw-Hill.
- Dempsey, P., & Bansal, P. (2012). The art of air blast freezing: Design and efficiency considerations. *Applied Thermal Engineering*, 71-83.
- Gazda, W. (2013). Application possibilities of the strategies of the air blast-cryogenic cooling process. *Energy* 62, 113-119.
- Tassou, S., Lewis, J., Ge, Y., Hadawey, A., & Chaer, I. (2010). A review of emerging technologies for food refrigeration applications. *Applied Thermal Engineering*, 263-276.

Lampiran 1. **FORMULIR EVALUASI ATAS CAPAIAN LUARAN**

Ketua Peneliti : Ekadewi Anggraini Handoyo
 Perguruan Tinggi : Universitas Kristen Petra Surabaya
 Judul : Rancang Bangun "Flexible Blast Chiller"
 Waktu kegiatan : tahun ke 1 dari rencana 3 tahun
 Skema : Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi

Luaran yang direncanakan dan jumlah capaian

No	Luaran yang Direncanakan	Jumlah Capaian
1	Prosiding dalam Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) yang diselenggarakan oleh BKSTM dan ITB	1

CAPAIAN (Lampirkan bukti-bukti luaran dari kegiatan dengan judul yang tertulis di atas, bukan dari kegiatan penelitian/pengabdian dengan judul lain sebelumnya)

1. Publikasi Ilmiah

	Keterangan
Artikel jurnal ke-1	
Nama jurnal yang dituju	
Klasifikasi Jurnal	
Impac factor jurnal	
Judul artikel	
Status naskah	
- Draf artikel	
- Sudah dikirim ke jurnal	
- Sedang ditelaah	
- Sedang direvisi	
- Revisi sudah dikirim ulang	
- Sudah diterima	
- Sudah terbit	

* Jika masih ada artikel ke-2 dan seterusnya, uraikan pada lembar tambahan.

2. Buku Ajar

	Keterangan
Judul	
Penulis	
Penerbit	
No. ISBN	

3. Pembicara Pada Pertemuan Ilmiah (Seminar/Simposium)

	Keterangan
Pertemuan Ilmiah ke-1	SNTTM XV
Judul Makalah	Studi performa sistem pendingin kompresi uap dengan R22/R404A/R134a dengan menggunakan software EES
Nama Pertemuan Ilmiah	Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV
Tempat Pelaksanaan	Institut Teknologi Bandung
Waktu Pelaksanaan	5 – 6 Oktober 2016
Jenis Pertemuan	Seminar Nasional
Status Naskah	Telah dipresentasikan

4. Sebagai Pembicara Kunci (Keynote Speaker)

	Nasional	Internasional
- Bukti undangan dari Panitia	-	-
- Judul makalah		
- Penulis		
- Penyelenggara		
- Waktu Pelaksanaan		
- Tempat Pelaksanaan		
- Draf makalah		
- Sudah dikirim		
- Sedang direview		
- Sudah dilaksanakan		

5. Undangan sebagai visiting scientist pada Perguruan Tinggi Lain

	Nasional	Internasional
- Bukti undangan		
- Perguruan tinggi pengundang		
- Lama kegiatan		
- Kegiatan penting yang dilakukan		

6. Capaian Luaran Lainnya

Capaian	Uraian
HKI	-
TEKNOLOGI TEPAT GUNA	Prototipe yang dihasilkan dapat digunakan untuk masyarakat UKM bidang usaha makanan/minuman.
REKAYASA SOSIAL	-
JEJARING KERJA SAMA	Realisasi mesin pendingin blast chiller (atau fast chiller) ini menggandeng alumni yang merupakan pengusaha kecil di bidang mesin pendingin. Kami berharap kerjasama ini dapat dilanjutkan ke tahap komersial.
PENGHARGAAN	-
LAINNYA (Tuliskan)	Prototipe mesin pendingin flexible blast chiller.

Jika luaran yang direncanakan tidak tercapai, uraikan alasannya:

-

Ketua

Dr. Ir. Ekadewi Anggraini Handoyo, M.Sc.



**Studi performa sistem pendingin kompresi uap dengan
R22/R404A/R134a dengan menggunakan software EES**

Ekadewi A. Handoyo^{1,*}, Amelia¹, Suwandi Sugondo¹, Yusak Tanoto²

¹Program Studi Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia

² Program Studi Teknik Elektro – Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia

*email: ekadewi@petra.ac.id

Abstrak

Mesin pendingin diperlukan untuk banyak hal seperti menunjang kehidupan terutama untuk daerah empat musim, menunjang proses di banyak industri, dan mempermudah proses penyimpanan makanan. Kebanyakan mesin pendingin menggunakan sistem pendingin kompresi uap.

Salah satu komponen penting dalam sistem tersebut adalah fluida kerja sebagai refrigerant. Refrigerant yang banyak dipakai adalah HCFC R22 yang masih memiliki ODP (Ozone Depletion Potential) dan sudah dilarang diproduksi. Refrigerant yang tidak memiliki ODP yang dapat menggantikan R22 adalah HFC R134a dan HFC R404a.

Suatu program dengan EES (Engineering Equation Solver) dibangun untuk mempelajari pengaruh ketiga refrigerant jika digunakan pada suatu sistem pendingin kompresi uap.

Dari studi dengan EES didapatkan bahwa Refrigerant HCFC R22 memberikan COP tertinggi dan memerlukan kerja input kompresor terkecil. Refrigerant HFC R134a memberikan kapasitas pendinginan yang tertinggi ketika temperatur kerja kondensor 45°C dan COP sedikit lebih rendah dari R22. Refrigerant HFC R404a memberikan kapasitas pendinginan yang tertinggi ketika temperatur kerja kondensor 35°C. Temperatur saturasi R404a paling rendah untuk semua tekanan kerja, baik di evaporator maupun di kondensor. Dengan demikian, R404a paling tepat digunakan untuk pendinginan yang memerlukan temperatur rendah.

Kata kunci : refrigerant R22, refrigerant R134a, refrigerant R404a, EES, sistem pendingin

Pendahuluan

Kemajuan teknologi memberi banyak kemudahan dalam hidup manusia. Alat transportasi memudahkan perpindahan dari satu lokasi ke lokasi lain. Alat bantu dalam pertanian juga membuat proses menanam, merawat, atau memanen lebih mudah. Semua bidang dalam hidup manusia dipengaruhi oleh teknologi. Kebiasaan dan perilaku manusia ikut dipengaruhi teknologi. Pada jaman dahulu sebelum ada mesin pendingin, proses mengolah makanan dilakukan ketika hendak memasak. Bahan baku dibeli sesuai dengan kebutuhan atau dilakukan pengasapan atau penggaraman jika tersedia melimpah. Mesin pendingin atau freezer yang dihasilkan teknologi memungkinkan orang menyimpan bahan baku dalam jumlah lebih banyak dari yang diperlukan.

Dalam lemari es, udara dingin bersirkulasi di dalamnya dan mendinginkan semua yang

ada di dalam lemari es, termasuk makanan atau minuman. Selain lemari es, orang juga membuat freezer untuk menghasilkan temperatur yang lebih rendah sehingga dapat membekukan makanan atau minuman. Lemari es atau freezer pada hakekatnya adalah peralatan yang dapat menyerap panas dari udara dalam ruangan lemari es atau freezer dan membuang panas tersebut ke sekitar.

Lemari es atau mesin pendingin bekerja dengan siklus pendingin tertentu. Pada umumnya, mesin pendingin bekerja dengan siklus pendingin kompresi uap. Siklus pendingin lain yang dapat digunakan adalah siklus pendingin gas, siklus pendingin absorpsi, siklus pendingin *cascade*, dan siklus pendingin *thermoelectric* [1]. Siklus pendingin gas biasanya digunakan untuk menyediakan udara dalam pesawat terbang. Siklus pendingin absorpsi menggunakan fluida sebagai absorbent agar peningkatan tekanan dalam siklus dapat dilakukan oleh