



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Komposisi Refrigeran terhadap Temperatur pada
Sistem Pendingin Bertingkat *Autocascade* Ramah Lingkungan**

SKRIPSI

Fitra Didik Nugroho

0806330112

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**Pengaruh Komposisi Refrigeran terhadap Temperatur pada
Sistem Pendingin Bertingkat *Autocascade* Ramah Lingkungan**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Fitra Didik Nugroho

0806330112

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**PENGARUH KOMPOSISI REFRIGERAN TERHADAP TEMPERATUR
PADA SISTEM PENDINGIN BERTINGKAT *AUTOCASCADE* RAMAH
LINGKUNGAN**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia, adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan saudara Deny Eva Tri Pambudi (0806329962) dengan judul: **ANALISA PENGARUH PANJANG PIPA KAPILER DIAMETER 0,028 INCH PADA MESIN PENDINGIN *AUTOCASCADE* DENGAN 4 CAMPURAN REFRIGERAN HIDROKARBON**. Sehingga terdapat kesamaan pada sebagian buku skripsi ini.

Nama : Fitra Didik Nugroho

NPM : 0806330112

Tanda Tangan :



Tanggal : 04 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Fitra Didik Nugroho
NPM : 0806330112
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Komposisi Refrigeran terhadap Temperatur
pada Sistem Pendingin Bertingkat Autocascade Ramah
Lingkungan

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng.

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid

Penguji : Ir. Budihardjo Dipl. Ing

Penguji : Lubi Rahardiyanto S.T. M.Eng.

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal :

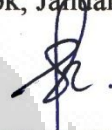
KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Darwin Rio Budi Syaka dan Muhamad Yulianto selaku mahasiswa S3 di Laboratorium Teknik Pendingin dan Tata Udara program studi Teknik Mesin yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
3. Ayah dan Ibu tercinta, atas dukungan spiritual, moral dan materil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Deny Eva Tri P selaku partner dalam membuat Autocascade hingga selesainya skripsi ini.
5. Ardi Yuliono atas bimbingan dan bantuannya sehingga kami dapat melanjutkan penelitian Autocascade hingga generasi ketiga.
6. Dairisena Arsela yang selalu mendampingi dan memberikan dukungan kepada penulis.
7. Teman – teman jurusan Teknik Mesin dan Teknik Perkapalan, khususnya angkatan 2008 yang telah bersama – sama mengukir kisah perjalanan hidup di FT UI.
8. Para sahabat dan semua pihak yang telah membantu dalam bentuk doa yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Januari 2012



Fitra Didik Nugroho



HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Fitra Didik Nugroho
NPM : 0806330112
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

“Pengaruh Komposisi Refrigeran terhadap Temperatur pada Sistem Pendingin Bertingkat *Autocascade* Ramah Lingkungan”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 04 Januari 2012


Yang menyatakan,

Fitra Didik Nugroho

Abstrak

Nama : Fitra Didik Nugroho
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Komposisi Refrigeran terhadap Temperatur pada Sistem Pendingin Bertingkat Autocascade Ramah Lingkungan

Pengobatan dan penelitian biomedis memerlukan sistem pendingin yang mampu mencapai temperatur di bawah -80°C untuk menggantikan Nitrogen cair dan untuk mencapai temperatur rendah tersebut digunakan sistem refrigerasi bertingkat (*autocascade*) yang dapat mencapai temperatur rendah dengan daya yang lebih rendah daripada sistem *cascade*. Selama ini sistem refrigerasi *autocascade* menggunakan refrigeran yang mengandung zat perusak ozon atau penyebab pemanasan global. Karena itu, diperlukan alternatif refrigeran alamiah yang ramah lingkungan diantaranya yaitu hidrokarbon. Sistem refrigerasi Autocascade memiliki karakteristik yang tergantung pada refrigeran dan komponen dari sistem terutama alat ekspansi yang dalam hal ini digunakan pipa kapiler. Penelitian ini menginvestigasi sistem refrigerasi autocascade yang menggunakan beberapa variasi campuran refrigeran menggunakan pipa kapiler dengan diameter 0.028 inch dengan panjang masing-masing 2m. Campuran refrigeran hidrokarbon yang digunakan, yaitu Propan/Butan/Etan/Metan dengan komposisi yang divariasikan dalam perbandingan massa tertentu. Campuran divariasikan dengan 3 campuran dan 4 campuran, campuran dengan empat refrigeran menghasilkan temperatur lebih rendah daripada tiga campuran dengan total massa yang sama.

Kata kunci: autocascade, hidrokarbon, campuran

Absract

Name : Fitra Didik Nugroho
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Effect of Refrigerant Composition on Temperature of Environmentally Friendly Autocascade Refrigeration System

Medical and biomedical research requires a cooling system capable of achieving temperatures below -80°C to replace the Nitrogen-liquid and to achieve such a multistage low temperature refrigeration systems used (autocascade) which can achieve low temperatures with lower power than the cascade system. During this autocascade refrigeration systems using refrigerants that contain ozone-depleting substances or the cause of global warming. Hence, it needs alternatives that are environmentally friendly natural refrigerants among which hydrocarbons. Autocascade refrigeration systems have characteristics that depend on the refrigerant and the components of the system, especially the expansion device used in this case the capillary tube. This study investigates autocascade refrigeration systems that use some variation of refrigerant mixtures using capillary tube with a 0028-inch diameter with a length of each 2 m. Hydrocarbon refrigerant mixture is used, ie Propane / Butane / Ethane / Methane whose composition is varied in a certain mass ratio. The mixture was varied with a mixture of 3 and 4 mixed, mixed with four refrigeran yield lower temperatures than the three mixtures with the same total mass.

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| Abstrak | viii |
| Absract | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Metode Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| 2.1 Sistem Pendingin | 7 |
| 2.2 Siklus Refrigerasi Cascade..... | 13 |
| 2.3 Sistem Refrigerasi Autocascade | 14 |
| 2.4 Siklus Mesin Pendingin Autocascade | 18 |
| 2.5 Seleksi Panjang Pipa Kapiler | 21 |
| 2.6 Seleksi Refrigeran..... | 21 |
| 2.7 Desain Separator..... | 27 |

| | |
|--|----|
| RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN | 29 |
| 3.1 Rancangan Alat Uji..... | 29 |
| 3.1.1 Kompresor | 30 |
| 3.1.2 Heat Exchanger | 30 |
| 3.1.3 Kondenser | 31 |
| 3.1.4 Separator..... | 32 |
| 3.1.5 Shut Off Valve | 32 |
| 3.1.6 Filter Dryer..... | 33 |
| 3.1.7 Alat Ekspansi | 33 |
| 3.1.8 Oil separator..... | 34 |
| 3.1.9 Sight Glass | 34 |
| 3.1.10 Evaporator..... | 34 |
| 3.1.11 Pressure Gauge..... | 35 |
| 3.1.12 Pressure Transmitter..... | 35 |
| 3.1.13 Thermocouple | 36 |
| 3.1.14 Data akuisisi (NI-DAQ)..... | 36 |
| 3.1.15 Power Supply DC..... | 37 |
| 3.2 Tes Kebocoran..... | 37 |
| 3.3 Vacuum System..... | 38 |
| 3.4 Charging System..... | 38 |
| 3.5 Tahapan Pengujian Dan Pengambilan Data..... | 39 |
| PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA..... | 40 |
| 4.1 Karakteristik Sistem..... | 40 |
| 4.1.1 Karakteristik Sistem pada Campuran Butan, Propan, Etan, dan Metan..... | 40 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1.2 | Karakteristik Sistem pada Campuran Butan, Etan, dan Metan..... | 42 |
| 4.1.3 | Karakteristik Sistem pada Campuran Propan, Etan, dan Metan..... | 44 |
| 4.2 | Pengolahan Data..... | 46 |
| 4.2.1 | Hasil Rataan pada Masing-Masing Campuran | 46 |
| 4.2.2 | Karakteristik pada Masing-masing Titik | 48 |
| 4.3 | Analisis Data | 64 |
| 4.3.1 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar dari Heat Exchanger | 64 |
| 4.3.2 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Suction | 65 |
| 4.3.3 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar dari Ekspansi | 67 |
| 4.3.4 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Discharge..... | 68 |
| 4.3.5 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Masuk Heat Exchanger | 70 |
| 4.3.6 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar Kondenser | 71 |
| 4.3.7 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar Evaporator..... | 73 |
| 4.3.8 | Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Masuk Evaporator..... | 74 |
| 4.3.9 | Pengaruh Campuran terhadap Tekanan Suction | 76 |
| 4.3.10 | Pengaruh Campuran terhadap Tekanan Discharge | 77 |
| | KESIMPULAN DAN SARAN | 79 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 79 |
| 5.2 | Saran..... | 79 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 80 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 2.1. | Siklus Refrigerasi Kompresi Uap | 8 |
| Gambar 2.2. | Manual expansion valve | 10 |
| Gambar 2.3. | Capillary tube..... | 11 |
| Gambar 2.4. | Automatic expansion valve | 11 |
| Gambar 2.5. | Thermostatic expansion valve | 12 |
| Gambar 2.6. | Float expansion valve..... | 12 |
| Gambar 2.7. | Electronic expansion valve | 13 |
| Gambar 2.8. | Two Stage Cascade Refrigeration Cycle | 14 |
| Gambar 2.9. | Sistem pendingin autocascade | 16 |
| Gambar 2.10. | Skema Mesin Pendingin Autocascade | 19 |
| Gambar 2.11. | Diagram Siklus Mesin Pendingin Autocascade..... | 19 |
| Gambar 2.7. | Diagram T-x Campuran Zeotropes | 24 |
| Gambar 2.8. | Diagram T-x Campuran Azeotropes | 25 |
| Gambar 2.9. | Diagram p-h Campuran Zeotropes..... | 26 |
| Gambar 2.10. | Skema separator vertical (Roberto Bubbico)..... | 27 |
| Gambar 3.1. | Skema Alat Uji..... | 29 |
| Gambar 3.2. | Kompresor | 30 |
| Gambar 3.3. | Heat Exchanger..... | 31 |
| Gambar 3.4. | Kondenser..... | 32 |
| Gambar 3.5. | Separator..... | 32 |
| Gambar 3.6. | Shut off Valve | 33 |
| Gambar 3.7. | Filter Dryer | 33 |
| Gambar 3.8. | Oil separator..... | 34 |
| Gambar 3.9. | Termos dan Evaporator | 35 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.10. Presure gauge..... | 35 |
| Gambar 3.11. Penempatan Pressure Transmitter..... | 36 |
| Gambar 3.12. Data Akuisisi (DAQ)..... | 37 |
| Gambar 3.13. Power Supply DC..... | 37 |
| Gambar 3.14. Pompa Vakum..... | 38 |
| Gambar 4.1. Grafik campuran butan, propan, etan, dan metan pada percobaan I | 41 |
| Gambar 4.2. Grafik campuran butan, propan, etan, dan metan pada percobaan II | 42 |
| Gambar 4.3. Grafik campuran butan, propan, etan, dan metan pada percobaan III | 42 |
| Gambar 4.4. Grafik campuran butan, etan, dan metan pada percobaan I | 43 |
| Gambar 4.5. Grafik campuran butan, etan, dan metan pada percobaan II | 43 |
| Gambar 4.6. Grafik campuran butan, etan, dan metan pada percobaan III | 44 |
| Gambar 4.7. Grafik campuran propan, etan, dan metan pada percobaan I | 45 |
| Gambar 4.8. Grafik campuran propan, etan, dan metan pada percobaan II | 45 |
| Gambar 4.9. Grafik campuran propan, etan, dan metan pada percobaan III | 46 |
| Gambar 4.10. Grafik rata-rata campuran butan, propan, etan, dan metan | 47 |
| Gambar 4.11. Grafik rata-rata campuran butan, etan, dan metan | 47 |
| Gambar 4.12. Grafik rata-rata campuran propan, etan, dan metan | 48 |
| Gambar 4.13. Grafik temperatur keluar heat exchanger | 48 |
| Gambar 4.14. Grafik mean effect untuk plot rata-rata keluar heat exchanger | 49 |
| Gambar 4.15. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady | 50 |
| Gambar 4.16. Grafik temperatur suction | 50 |
| Gambar 4.17. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur suction | 51 |
| Gambar 4.18. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur suction saat steady | 51 |
| Gambar 4.19. Grafik temperatur keluar ekspansi | 52 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.20. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar ekspansi..... | 52 |
| Gambar 4.21. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady..... | 53 |
| Gambar 4.22. Grafik temperatur discharge | 53 |
| Gambar 4.23. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur discharge..... | 53 |
| Gambar 4.24. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur discharge saat steady..... | 54 |
| Gambar 4.25. Grafik temperatur masuk heat exchanger..... | 55 |
| Gambar 4.26. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk heat exchanger..... | 55 |
| Gambar 4.27. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady..... | 56 |
| Gambar 4.28. Grafik temperatur keluar kondenser..... | 56 |
| Gambar 4.29. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar kondenser .. | 57 |
| Gambar 4.30. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady..... | 57 |
| Gambar 4.31. Grafik temperatur keluar evaporator..... | 58 |
| Gambar 4.32. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar evaporator . | 58 |
| Gambar 4.33. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady..... | 59 |
| Gambar 4.34. Grafik temperatur masuk evaporator | 59 |
| Gambar 4.35. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk evaporator . | 60 |
| Gambar 4.36. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady..... | 60 |
| Gambar 4.37. Grafik tekanan suction..... | 61 |
| Gambar 4.38. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan suction | 61 |
| Gambar 4.39. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan suction saat steady | 62 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.40. Grafik tekanan discharge | 62 |
| Gambar 4.41. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan discharge | 63 |
| Gambar 4.42. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan discharge saat steady. | 63 |
| Gambar 4.43. Grafik temperatur keluar heat exchanger | 64 |
| Gambar 4.44. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady | 65 |
| Gambar 4.45. Grafik temperatur suction..... | 65 |
| Gambar 4.46. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur suction saat steady | 66 |
| Gambar 4.47. Grafik temperatur keluar ekspansi | 67 |
| Gambar 4.48. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady..... | 68 |
| Gambar 4.49. Grafik temperatur discharge | 68 |
| Gambar 4.50. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur discharge saat steady | 69 |
| Gambar 4.51. Grafik temperatur masuk heat exchanger..... | 70 |
| Gambar 4.52. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady..... | 71 |
| Gambar 4.53. Grafik temperatur keluar kondenser..... | 72 |
| Gambar 4.54. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady..... | 72 |
| Gambar 4.55. Grafik temperatur keluar evaporator..... | 73 |
| Gambar 4.56. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady..... | 74 |
| Gambar 4.57. Grafik temperatur masuk evaporator | 75 |
| Gambar 4.58. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady..... | 75 |
| Gambar 4.59. Grafik tekanan suction..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.60. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan suction saat steady | 77 |
| Gambar 4.61. Grafik tekanan discharge | 77 |
| Gambar 4.62. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan discharge saat steady. | 78 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Pemilihan Refrigeran Autocascade (Missimer, 1996) | 22 |
| Tabel 2.2. Tabel nilai K | 27 |
| Tabel 4.1. Komposisi campuran..... | 40 |
| Tabel 4.2. Rata-rata temperatur keluar heat exchanger | 49 |
| Tabel 4.3. Rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady | 49 |
| Tabel 4.4. Rata-rata temperatur suction..... | 50 |
| Tabel 4.5. Rata-rata temperatur suction saat steady | 51 |
| Tabel 4.6. Rata-rata temperatur keluar ekspansi | 52 |
| Tabel 4.7. Rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady | 52 |
| Tabel 4.8. Rata-rata temperatur discharge | 53 |
| Tabel 4.9. Rata-rata temperatur discharge saat steady | 54 |
| Tabel 4.10. Rata-rata temperatur masuk heat exchanger..... | 55 |
| Tabel 4.11. Rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady | 55 |
| Tabel 4.12. Rata-rata temperatur keluar kondenser | 56 |
| Tabel 4.13. Rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady..... | 57 |
| Tabel 4.14. Rata-rata temperatur keluar evaporator..... | 58 |
| Tabel 4.15. Rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady | 58 |
| Tabel 4.16. Rata-rata temperatur masuk evaporator | 59 |
| Tabel 4.17. Rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady..... | 60 |
| Tabel 4.18. Rata-rata tekanan suction | 61 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabel 4.19. | Rata-rata tekanan suction saat steady | 61 |
| Tabel 4.20. | Rata-rata tekanan discharge | 62 |
| Tabel 4.21. | Rata-rata tekanan discharge saat steady | 63 |
| Tabel 4.22. | Temperatur rata-rata masing-masing titik | 63 |
| Tabel 4.23. | Tekanan rata-rata masing-masing titik | 63 |
| Tabel 4.24. | Rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady | 64 |
| Tabel 4.25. | Rata-rata temperatur suction saat steady | 65 |
| Tabel 4.26. | Rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady | 67 |
| Tabel 4.27. | Rata-rata temperatur discharge saat steady | 69 |
| Tabel 4.28. | Rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady | 70 |
| Tabel 4.29. | Rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady | 72 |
| Tabel 4.30. | Rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady | 73 |
| Tabel 4.31. | Rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady | 75 |
| Tabel 4.32. | Rata-rata tekanan suction saat steady | 76 |
| Tabel 4.33. | Rata-rata tekanan discharge saat steady | 77 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Refrigerasi suatu pengkondisian temperatur agar temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan. Biasanya efek refrigerasi dimanfaatkan untuk mengkondisikan keadaan suatu ruangan. Selain itu sistem refrigerasi juga dimanfaatkan sebagai pengawetan bahan makanan, perminyakan pengolahan bahan-bahan kimia dan pendinginan setempat.

Kebutuhan akan organ-organ tubuh di dunia kedokteran untuk dicangkokkan ke pasien maupun untuk melakukan kegiatan penelitian untuk pengobatan semakin meningkat. Kegiatan pengobatan dan penelitian biomedis membutuhkan *cold storage* untuk menyimpan spesimen biomedis seperti sel induk (*stem cells*), sperma, darah dan organ-organ lainnya dalam jangka waktu yang cukup lama. Organ-organ tersebut membutuhkan ruang pendingin yang mampu mencapai temperatur -130°C atau lebih rendah yang disebut *Ultra low cold storage* (Aprea, 2009).

Pada umumnya untuk mencapai -130°C dilakukan dengan nitrogen cair bertemperatur -196°C , namun ini tidak praktis dan mahal karena perlu pengisian ulang nitrogen cair secara berkala. Untuk mengatasi hal tersebut harus dibuat suatu mesin pendingin *ultra low* yang mampu menggantikan nitrogen cair dan untuk itu diusulkan menggunakan mesin pendingin *autocascade*. Mesin pendingin *autocascade* menggunakan satu kompresor untuk mencapai -40°C s/d -180°C (Missimer, 1996), dengan hanya digunakannya satu kompresor membuat mesin pendingin *autocascade* memiliki bentuk yang sederhana, handal, hemat energi dan murah (Yu, 2007).

Penelitian yang dilakukan Chen (2007) dengan mesin pendingin *autocascade* membuktikan bahwa mesin pendingin ini mampu mencapai temperatur -120°C , kemudian Aprea (2009) dengan menggunakan dua separator bisa mencapai temperatur -150°C . Akan tetapi percobaan tersebut masih

menggunakan campuran refrigeran CFC atau HFC yang segera dilarang karena dapat merusak lingkungan. Penelitian pendahuluan simulasi dan eksperimental mesin pendingin cascade dua tingkat dengan refrigeran ramah lingkungan telah terbukti mampu mencapai -80°C (Nasruddin, 2008 & 2009), sehingga bila dilakukan penelitian lebih lanjut akan mencapai temperatur lebih rendah dari -100°C dengan mesin pendingin *autocascade*. Mempertimbangkan hal tersebut, untuk memenuhi kebutuhan penelitian dan pengobatan bidang biomedis akan *ultra low cold storage*, maka perlu dilakukan penelitian dalam rangka mengembangkan *prototypeultra lowcold storage* menggunakan mesin pendingin autocascade dengan refrigeran ramah lingkungan.

Mesin pendingin *autocascade* umumnya jauh lebih kecil dibanding mesin pendingin sejenis dan dapat menggunakan kompresor yang umumnya dipakai pada mesin konvensional (Stegmann, 2000). Komponen mesin pendingin autocascade meliputi kompresor, kondenser (berpendingin air atau udara), separator yang berfungsi sebagai memisahkan campuran refrigeran yang memiliki perbedaan titik didih, katup ekspansi, alat penukar kalor dan evaporator.

Pada percobaan sebelumnya mesin pendingin *autocascade* dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon menunjukkan bahwa temperatur terendah yang diinginkan belum tercapai, temperatur yang dapat tercapai pada percobaan tersebut hanya mencapai -40°C (Davied Sapan, 2009). Kemudian tahun selanjutnya didapat hasil -68°C tetapi tekanan dischargenya masih terlalu tinggi dan temperaturnya tidak stabil (Ardi Yuliono, 2010). Oleh karena, itu perlu dilakukan perancangan ulang untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum dan lebih stabil.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam meningkatnya kebutuhan akan *coldstorage* untuk kegiatan pengobatan dan penelitian biomedis maka dibutuhkan alat pendingin yang bisa mencapai temperatur rendah atau *ultralowstorage*. Dan dengan mesin pendingin yang ramah terhadap lingkungan serta hemat energi, untuk itu digunakan sistem refrigerasi autocascade dengan menggunakan refrigeran *hydrocarbon*. Karena perubahan kondisi mesin pendingin membuat komposisi campuran disetiap bagian

mesin pendingin ikut berubah dalam hal ini mempengaruhi stabilitas mesin pendingin itu sendiri. Karena itu, metode coba-coba biasanya digunakan dalam menyelesaikan permasalahan ini. Begitu juga dilakukan percobaan dengan berbagai variasi campuran refrigeran, refrigeran yang digunakan adalah butan, propan, etan, dan metan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk :

1. Menganalisa pengaruh campuran refrigeran terhadap perubahan temperatur pada sistem pendingin *autocascade*.
1. Mempelajari karakteristik sistem refrigerasi *autocascade* dengan menggunakan refrigeran alternatif sehingga dihasilkan temperatur evaporasi yang sangat rendah

1.4 Batasan Masalah

Hal yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah pengaruh campuran refrigeran terhadap perubahan temperatur pada sistem *autocascade*, dengan asumsi dan batasan sebagai berikut :

2. Refrigeran yang digunakan adalah butan, propan, etan dan metan
3. Panjang pipa kapiler 2 meter dan 2 meter dengan diameter 0.028 inchi
4. Variasi komposisi campuran refrigeran untuk mendapat total 300 gram
5. Sistem diasumsikan sebagai siklus ideal

1.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal yang berasal dari dosen maupun perpustakaan.
2. Modifikasi Sistem Refrigerasi *Autocascade*
Modifikasi ini meliputi rancang ulang sistem pemipaan, penambahan alat ukur dan tekanan, pergantian kompressor dan evaporator.
3. Pengadaan Alat

Proses ini meliputi persiapan dan pembelian terhadap alat-alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian diantaranya pipa tembaga, kawat las, *pressure gage*, panel *pressure*, *pressure transmitter*, isolator dinding pipa (*armalflek*), perekat armalflek, panel listrik, kabel-kabel, satu set komputer, NI DAQ, timbangan digital, pompa vakum, botol minum sebagai isolasi evaporator dan refrigeran.

4. Perbaikan Alat uji

Pada tahap ini meliputi perbaikan, penggantian, dan penambahan alat uji. Hal ini dilakukan untuk mengembalikan dan meningkatkan kondisi alat, sehingga pengujian dapat dilakukan dan data yang diperoleh lebih akurat, perbaikan dilakukan pada bagian-bagian seperti sambungan pipa, isolator dinding pipa, penambahan alat ukur tekanan dan temperatur.

5. Kalibrasi alat uji

Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur yang akan kita gunakan dengan alat ukur standar, sebelum pengujian dilakukan dilakukan kalibrasi terhadap alat ukur tekanan dan temperatur agar data yang dihasilkan nantinya lebih akurat.

6. Pengecekan sistem

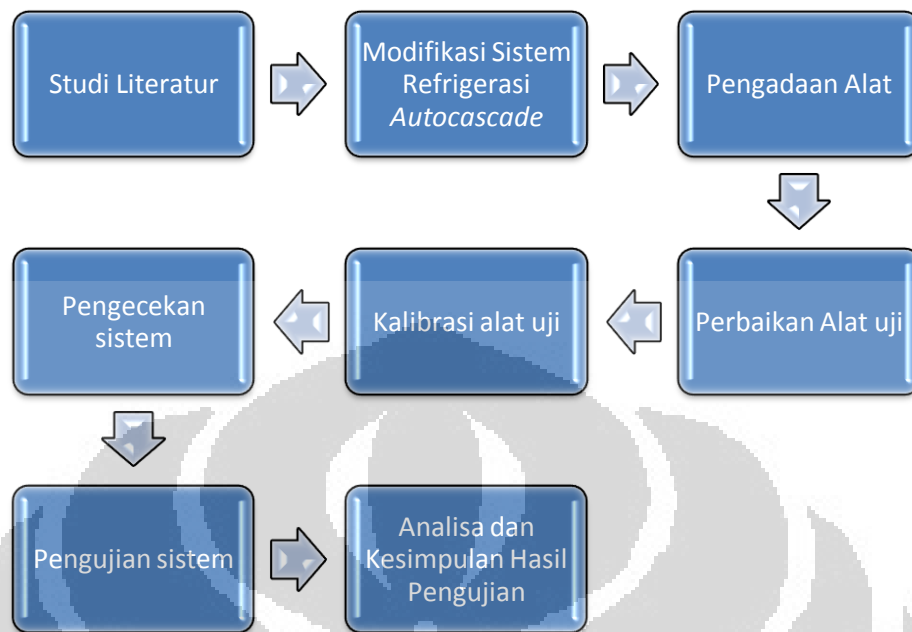
Setelah semua alat terpasang pada sistem proses selanjutnya adalah pengecekan yang meliputi tes kebocoran, vakum, dan pengetesan kelistrikan

7. Pengujian sistem

Pengujian dilakukan dengan memantau data dari alat ukur seperti thermocouple, *pressure transmitter* melalui data akuisisi (*National Instrument LabView*) untuk mengetahui karakteristik refrigeran secara keseluruhan. Proses pengujian ini meliputi pengambilan data pada alat ukur.

8. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Data yang telah diolah, kemudian dianalisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian sistem refrigerasi *autocascade*.



1.6 Sistematika Penulisan

Agar laporan tugas akhir ini memiliki struktur yang baik dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik, maka penulisan skripsi ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi tentang latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teor-teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori meliputi: dasar teori tentang sistem refrigerasi dan dasar pemilihan refrigeran. Dasar teori yang ada dikutip dari beberapa buku dan referensi lain yang mendukung dalam penulisan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang deskripsi alat pengujian yang digunakan, metode persiapan, dan metode pengambilan data yang dilakukan.

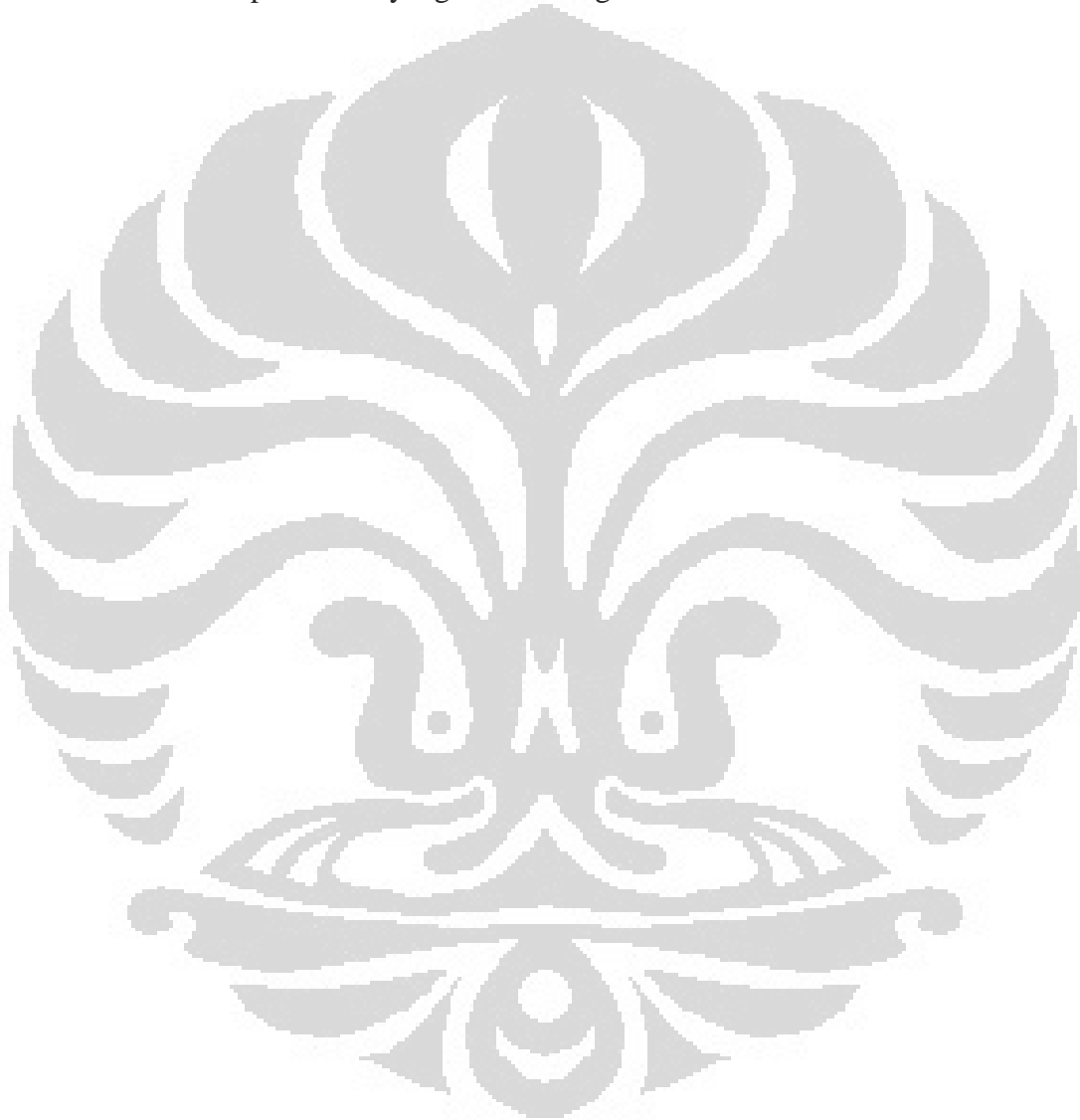
BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bagian ini berisikan tentang hasil data yang diperoleh dari proses pengujian, serta berisikan tentang analisa dari data yang telah

diperoleh yang nantinya dapat ditarik kesimpulan dari analisa tersebut

BAB V KESIMPULAN

Bab ini tentang kesimpulan dari hasil data dan analisa percobaan dan beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan yang akan datang.



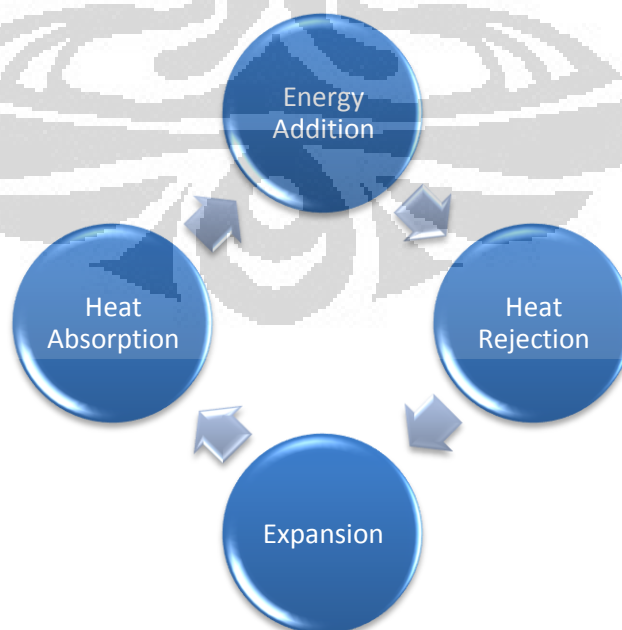
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin

Sistem pendingin atau refrigerasi adalah merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu media tertentu yang memiliki temperatur lebih rendah serta menjaga kondisi tersebut sesuai yang dibutuhkan. Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka kita tidak dapat menghilangkan energi akan tetapi hanya dapat memindahkannya dari satu substansi ke substansi yang lainnya. Panas pada dasarnya merupakan energi dan jika sesuatu ingin didinginkan, maka panas (energi) harus dipindahkan.

Pada sistem refrigerasi membutuhkan kemampuan perpindahan kalor (panas) dari suatu fluida tertentu untuk proses pendinginan. Fluida yang digunakan dalam siklus refrigerasi sebagai penukar kalor disebut refrigeran. Refrigeran berguna untuk menyerap panas (heat) pada temperatur yang rendah. Untuk menurunkan dan menjaga temperatur suatu substansi, sistem refrigerasi harus mampu secara terus menerus menyerap panas dan kemudian membuang atau memindahkan panas tersebut dari sistem. Hal ini dilakukan dengan beberapa langkah berbeda yang disebut sebagai siklus refrigerasi.



Gambar 2.1. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Siklus pendingin yang paling sering digunakan yaitu siklus kompresi uap (*vapor-compression refrigeration cycle*). Siklus ini merupakan siklus tertutup dan bekerja secara terus menerus atau *continue*. Siklus ini menggunakan refrigeran untuk mentransfer panas melalui sistem. Siklus kompresi uap mempunyai 4 (empat) proses, yaitu :

1. Heat absorption

Refrigeran dalam bentuk liquid menyerap atau mengambil panas dari sumber panas. Penyerapan panas menyebabkan refrigeran berubah fase dari liquid (cair) menjadi vapour (uap). Dalam fase uap, refrigeran juga menerima panas dan temperaturnya juga akan meningkat. Jadi pada proses ini refrigeran berubah fase dari cair dengan temperatur rendah menjadi uap dengan temperatur tinggi.

2. Energy addition

Refrigeran ditambahkan energi agar dapat melangkah maju menuju proses selanjutnya pada siklus refrigerasi. Langkah ini disebut juga langkah kompresi, refrigeran dalam bentuk uap dikompresi. Hal ini dapat menyebabkan meningkatnya tekanan dan temperatur refrigeran.

3. Heat rejection

Dengan tekanan dan temperatur yang meningkat kemudian dipindahkan atau dibuang. Pada proses ini refrigeran membuang panas yang telah diserap pada tingkat heat absorption. Selama proses ini terjadi refrigeran berubah fase dari uap dengan temperatur tinggi menjadi fase cair dengan temperatur rendah kembali.

4. Expansion

Refrigeran dalam fase cair diekspansi yang menyebabkan tekanan menjadi turun. Setelah proses ekspansi, refrigeran dengan fase liquid berada dalam

kondisi tekanan dan temperatur rendah, sehingga liquid sekarang dapat memulai siklus kembali.

Pada siklus refrigerasi mempunyai beberapa komponen pokok, yaitu :

1. Kompresor

Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam sistem refrigerasi. Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrigeran dari tekanan dan temperatur rendah menjadi tekanan dan temperatur tinggi, refrigeran dalam fase uap dikompresikan pada alat ini. Dengan adanya kompresi ini, maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (discharge) dengan sisi masuk (suction) yang menyebabkan refrigeran dapat mengalir dalam sistem refrigerasi. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrigeran dan suhu lingkungannya.

2. Kondenser

Kondenser adalah suatu alat penukar kalor dimana refrigeran melepas atau membuang kalor ke media pendingin seperti udara atau air. Refrigeran didalam kondenser berada pada keadaan uap super panas melepas kalor sehingga berubah menjadi cair. Untuk membuang kalor yang terkandung dalam refrigeran yang berada didalam coil condenser diperlukan cooling medium. Sebuah kondenser harus mampu membuang kalor tersebut ke cooling medium yang digunakan oleh kondensernya. Sesuai dengan jenis cooling medium yang digunakan maka kondenser dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu :

- Air cooled condenser
Menggunakan media udara sebagai pendinginnya
- Water cooled condenser
Menggunakan media air sebagai pendinginnya
- Evaporative condenser
Menggunakan media campuran air dan udara sebagai pendinginnya

3. Alat Ekspansi

Refrigeran pada fase cair dari kondenser yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh alat ekspansi. Refrigeran berbentuk liquid diekspansi yang menyebabkan fasenya berubah menjadi campuran cair jenuh & uap (*a saturated liquid-vapor mixture*) dan tekanannya turun. Ketika terjadi penurunan tekanan, temperaturnya juga turun. Fungsi Expansion valve adalah:

- Untuk menakar refrigeran cair dari saluran liquid line ke evaporator pada jumlah yang tepat sesuai kapasitas evaporator
- Untuk menjaga perbedaan tekanan antara tekanan kondensasi dan tekanan evaporasi tetap konstan, agar supaya refrigeran cair yang diuapkan di evaporator selalu berada pada tekanan rendah sesuai yang diinginkan dan sekaligus menjaga tekanan tinggi di sisi kondenser.

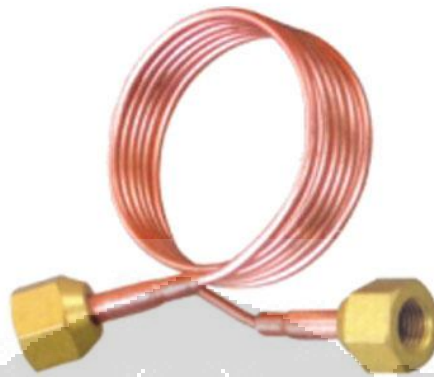
Ada 6 (enam) macam alat ekspansi, yaitu :

- **Manual Expansion Valve**
Beban pendinginan yang diinginkan diatur melalui katup ekspansi yang diatur secara manual.



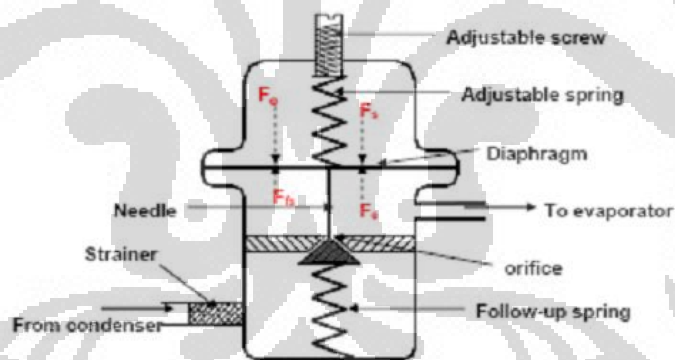
Gambar 2.2. Manual expansion valve

- **Capillary Tubes (Pipa kapiler)**
Pipa kapiler adalah pipa panjang dengan diameter kecil dan konstan, berfungsi untuk menurunkan tekanan.



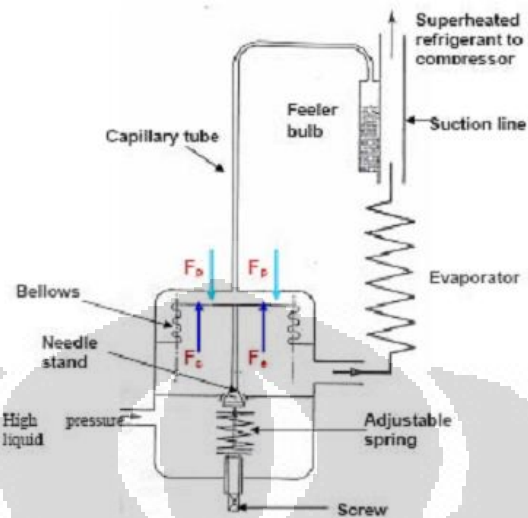
Gambar 2.3. Capillary tube

- Automatic Expansion Valve (AEV)
Disebut juga katup ekspansi tekanan konstan, dimana katup digerakkan oleh tekanan didalam evaporator, supaya menjaga tekanan didalam evaporator konstan.



Gambar 2.4. Automatic expansion valve

- Thermostatic Expansion Valve (TEV)
Jumlah aliran refrigeran diatur secara otomatis yang menyesuaikan dengan beban pendinginannya. Dengan sensor temperatur yang dipasang setelah evaporator maka jumlah aliran refrigeran dapat diatur secara otomatis.



Gambar 2.5. Thermostatic expansion valve

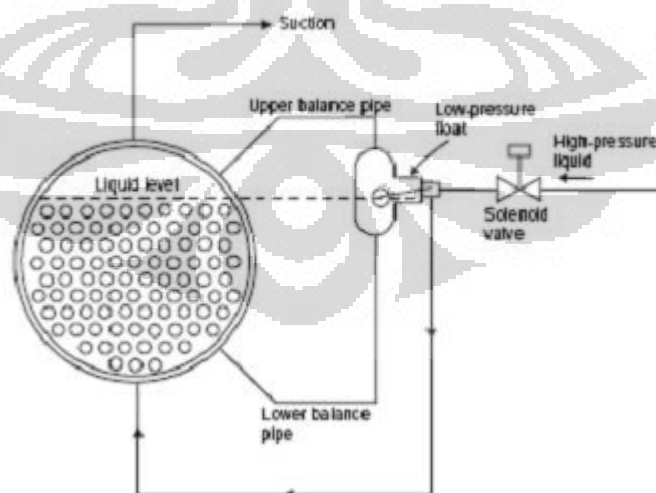
- Float Type Expansion Valve :

- a) High side float valve

Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan tinggi dari sistem, yaitu pada saluran cairan (liquid line).

- b) Low side float valve

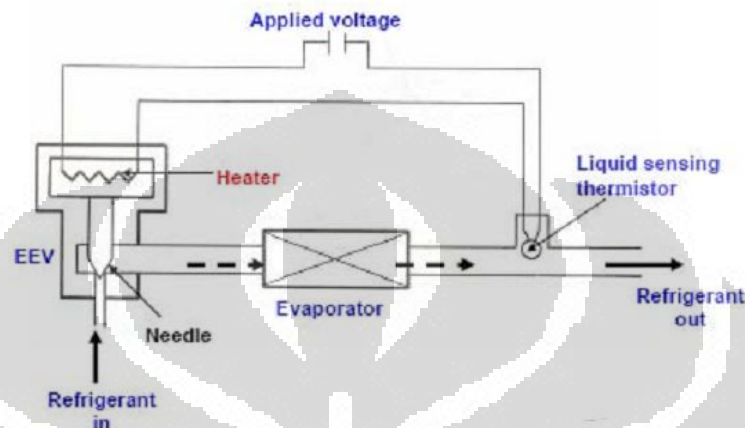
Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan rendah dari sistem, yaitu didalam tabung evaporator.



Gambar 2.6. Float expansion valve

- Electronic Expansion Valve

Jumlah aliran refrigeran diatur secara otomatis menyesuaikan beban pendinginannya. dengan menggunakan arus listrik dan sensor yang dipasang setelah evaporator



Gambar 2.7. Electronic expansion valve

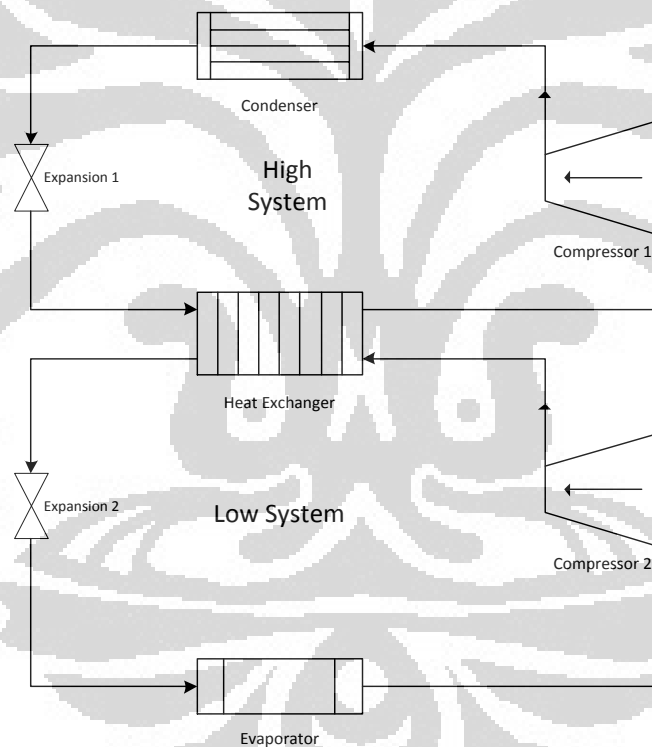
4. Evaporator

Evaporator memiliki fungsi untuk menyerap kalor dari suatu ruangan kedalam sistem refrigerasi. Refrigeran yang berada pada keadaan campuran cair jenuh dan uap menyerap kalor sehingga berubah menjadi uap. Heat transfer dapat terjadi karena temperatur refrigeran yang lebih rendah daripada temperatur disekitar evaporator.

2.2 Siklus Refrigerasi Cascade

Untuk meningkatkan kinerja dari dari *vapourcompressionrefrigerationcycle* sederhana dilakukan modifikasi. Salah satunya dengan menambah siklus pendingin (minimal dua atau lebih) yang bekerja dalam satu series. Siklus ini dinamakan *cascade refrigeration cycle*. Sistem *cascade* merupakan sistem refrigerasi yang terdiri dari dua model siklus refrigerasi satu tingkat yang identik. Yang pertama sering disebut sebagai siklus temperatur tinggi (*HighStage*) dan yang lainnya disebut siklus temperatur rendah (*LowStage*). Penggunaan siklus ini banyak diaplikasikan dibidang industri yang pada dasarnya ditujukan untuk mencapai temperatur evaporator yang sangat rendah. Untuk mencapai temperatur yang sangat rendah tersebut maka dibutuhkan

pula perbedaan tekanan yang sangat tinggi, yang berarti kerja kompresor yang semakin berat. Kompresor yang memiliki perbedaan tekanan yang sangat tinggi memiliki efisiensi yang buruk atau rendah. Hal ini mengakibatkan efisiensi dari sistem refrigerasi juga menjadi rendah. Untuk itulah diciptakan sistem refrigerasi yang terdiri dari dua tingkat yang disebut cascade dimana kerja kompresi ditopang oleh dua kompresor dengan perbedaan tekanan yang berbeda. Dengan sistem ini selain bisa menghasilkan temperatur yang sangat rendah juga menghasilkan sistem refrigerasi yang lebih efisien. Hal ini bisa dilihat pada gambar dimana dengan sistem cascade kerja kompresor dapat dikurangi, sedangkan kapasitas pendinginan dapat ditingkatkan. Hal ini menyebabkan meningkatnya COP dari sistem refrigerasi cascade ini.



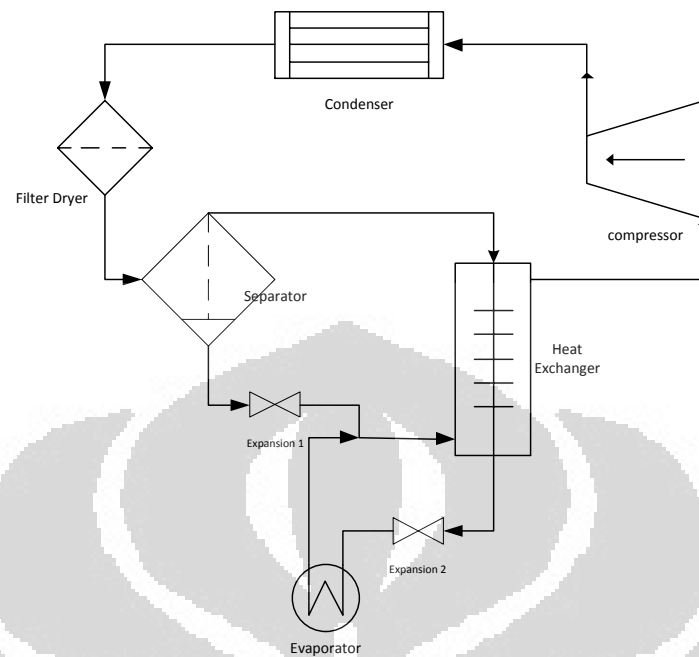
Gambar 2.8. Two Stage Cascade Refrigeration Cycle

2.3 Sistem Refrigerasi Autocascade

Konsep mesin pendingin autocascade pertama kali diperkenalkan pada 1946 oleh Ruhemann. Untuk mencapai temperatur yang sangat rendah, mesin pendingin Autocascade umumnya jauh lebih kecil dibanding mesin pendingin sejenis dan dapat menggunakan kompresor yang umumnya dipakai pada mesin

pendingin konvensional (Stegmann, 2000). Sistem *autocascade* memiliki minimal sebuah separator dan heat exchanger. Separator berfungsi untuk memisahkan campuran refrigeran yang memiliki fase cair dan gas sedangkan heat exchanger berfungsi untuk mengkondensasikan refrigeran yang berfase gas dan mengevaporasikan refrigeran yang berfase cair.

Dibawah ini, memperlihatkan gambar skema sederhana mesin pendingin autocascade dengan satu separator yang menggunakan campuran dua refrigeran. Didalam kompresor campuran refrigeran dikompresi, kemudian masuk kedalam kondenser. Didalam kondenser refrigeran yang memiliki titik didih tinggi dicairkan akan tetapi refrigeran yang memiliki titik didih lebih rendah masih tetap berupa uap. Kemudian mengalir ke separator, refrigeran dalam bentuk cair dan uap dipisahkan, kemudian uap refrigeran yang mempunyai titik didih lebih rendah ini diembunkan dalam alat penukar kalor cascade oleh refrigeran yang memiliki titik didih tinggi melalui alat ekspansi, dan refrigeran yang mempunyai titik didih rendah dalam keadaan cair dilewatkan melalui alat ekspansi kedua dan masuk kedalam evaporator dengan temperatur rendah dimana spesimen yang akan didinginkan ditempatkan. Kemudian, kedua refrigeran tersebut kembali ke kompresor melalui saluran hisap (*suction*) kompresor. Melalui proses yang sederhana ini tercetuslah gagasan bahwa apabila diinginkan temperatur yang lebih rendah (bahkan hingga kondisi *Cryogenic*) dapat dicapai secara efisien jika ada lebih banyak refrigeran dalam campuran dan beberapa tingkatan perpindahan kalor sebelum mencapai evaporator suhu rendah.



Gambar 2.9. Sistem pendingin autocascade

Mesin pendingin autocascade adalah mesin pendingin yang bekerja berdasarkan penggunaan campuran refrigeran yang berbeda titik didihnya (zeotropis), dimana campuran ini tidak bercampur menjadi satu. Secara teknis, mesin pendingin autocascade memiliki kelebihan antara lain rasio kompresi rendah dan efisiensi volumetric tinggi. Namun demikian, dalam mendisain komponen mesin pendinginnya, sangat dipengaruhi komposisi campuran refrigeran yang digunakan (ASHRAE handbook, 2006). Naer dan Rozhentsev (2002) menggunakan campuran hidrokarbon dengan komposisi (massa) : butane (66,2%), ethane (18,1%) dan methane (15,7%) dapat mencapai -73°C s/d -183°C .

Sebagian besar mesin pendingin autocascade digunakan sebagai mesin pendingin untuk *cold storage* temperatur sangat rendah. *Cold storage* dengan mesin pendingin autocascade ini umumnya tersedia dalam satu paket lengkap. Sehingga komponen-komponen mesin pendingin autocascade yang digunakan biasanya spesifikasinya tidak tersedia dipasaran. Stegmann (2000) memaparkan beberapa faktor yang menentukan pemilihan komponen sebuah mesin pendingin temperatur yang sangat rendah diantaranya adalah pemilihan kompresor, penukar kalor dan separator serta isolasi yang digunakan.

Mesin pendingin autocascade dapat menggunakan kompresor dari jenis *hermetic* atau *semi-hermetic* tergantung dari refrigeran yang digunakan. Naer dan Rozhentsev (2002) meneliti penerapan campuran hidrokarbon dalam mesin pendingin kecil dan mesin *ultra low*, dengan mesin pendingin *autocascade* separator tunggal menggunakan sebuah kompresor *hermetic* 400 W yang menghasilkan daya pendinginan 5 W pada temperatur sekitar -170°C . Sebuah kompresor semi-hermetic 2 hp digunakan Du et al (2008) juga pada mesin pendingin autocascade separator tunggal guna mengevaluasi karakteristik campuran R23/R134a. Dari keterangan tersebut baik kompresor *hermetic* atau semi-hermetic mulai 400 W hingga 1500 W (2 hp) dapat digunakan pada mesin pendingin *autocascade*.

Desain separator ditentukan oleh komposisi refrigeran yang digunakan. Hal ini mengingat fungsi separator sebagai alat untuk memisahkan cairan refrigeran yang memiliki titik didih tinggi dengan uap refrigeran bertitik didih rendah. Juga tidak boleh dilupakan yaitu disain alat ekspansi. Apprea dan Maiorino (2009) menggunakan mesin pendingin *autocascade* dua separator dengan campuran 7 refrigeran menunjukkan adanya kesulitan dalam mendisain *penukar kalor dan pipa kapiler (alat ekspansi)* yang sesuai. Hal ini terjadi karena perubahan kondisi mesin pendingin membuat komposisi campuran di setiap bagian mesin pendingin ikut berubah dan hal ini mempengaruhi stabilitas mesin pendingin itu sendiri. Karena itu, metode coba-coba biasanya digunakan dalam menyelesaikan permasalahan ini.

Penelitian mesin pendingin autocascade yang mencapai temperatur lebih rendah dari -100°C yang dilakukan oleh Chen (2007) dengan menggunakan separator tunggal dengan komposisi campuran R50(19%)-R23(30%)-R600a(51%) mampu mencapai temperatur $-123,7^{\circ}\text{C}$. Apprea dan Maiorino (2009) menggunakan dua separator dengan menggunakan campuran 7 refrigeran yakni R507-R245a-R116-R23-R14-R740-R290 mampu mencapai temperatur yang lebih rendah yaitu -150°C . Hasil percobaan yang mereka lakukan menunjukkan adanya kesulitan dalam mendisain penukar kalor dan pipa kapiler (alat ekspansi) yang sesuai. Walaupun kinerjanya (COP) sangat rendah, namun mesin pendingin

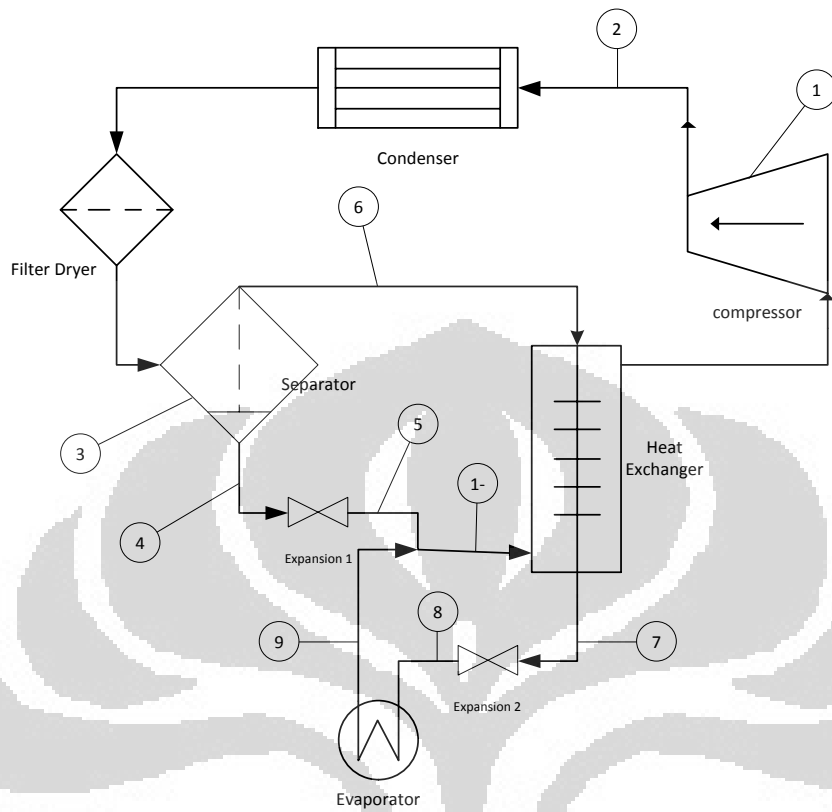
autocascade yang mereka buat mampu beroperasi dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami masalah.

Penelitian-penelitian mesin pendingin autocascade yang disebutkan diatas masih menggunakan campuran refrigeran CFC atau HFC yang segera dilarang karena merusak lingkungan. Sehingga, perlu dicari pengganti yang diarahkan pada refrigeran alamiah yang memiliki sifat thermofisik yang baik adalah hidrokarbon (Cox, 2007). Naer dan Rozhentsev (2002) meneliti penerapan campuran hidrokarbon dalam mesin pendingin kecil dan mesin *ultra low*, dalam salah satu percobaannya menggunakan mesin pendingin *autocascade* satuseparator. Penelitian mereka menunjukkan bahwa mesin pendingin kecil dengan satu kompresor dapat mencapai temperatur -73°C s/d -183°C .

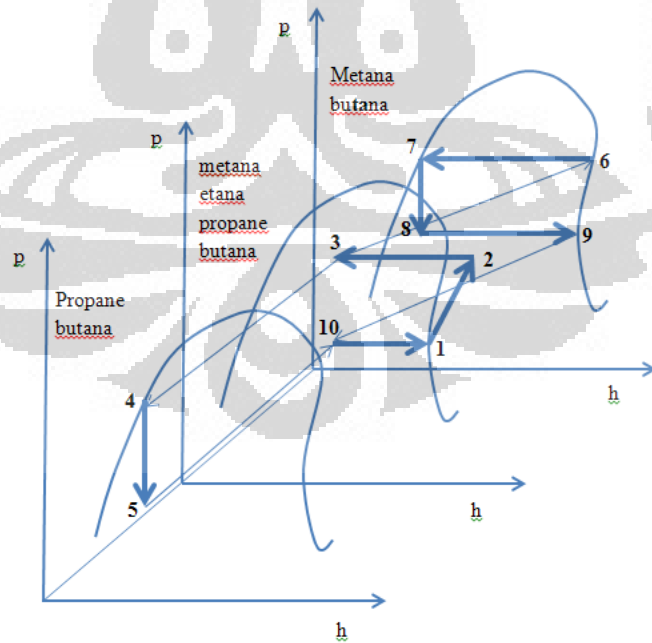
Penelitian pendahuluan simulasi dan eksperimental pada mesin pendingin *cascade* dua tingkat dengan campuran refrigeran hidrokarbon terbukti mampu mencapai -80°C (Nasruddin, 2008 & 2009), sehingga bila dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan mesin pendingin autocascade akan dapat mencapai temperatur *ultra low* lebih rendah dari -100°C . Karena itu, penelitian ini akan difokuskan pada pengembangan mesin pendingin *autocascade* dengan menggunakan campuran refrigeran hidrokarbon dalam rangka pembuatan *ultra low cold storage* untuk aplikasi dibidang biomedis. Agar kinerja dari mesin pendingin autocascade lebih optimal maka dilakukan percobaan lebih lanjut dengan melakukan percobaan berbagai variasi panjang pipa kapiler dan campuran refrigeran hidrokarbon.

2.4 Siklus Mesin Pendingin Autocascade

Berikut ini skema dan siklus teoritis mesin pendingin autocascade dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.10. Skema Mesin Pendingin Autocascade



Gambar 2.11. Diagram Siklus Mesin Pendingin Autocascade

Dari gambar dapat dijelaskan pada proses 1-2 campuran refrigeran zeotropes yang terdiri dari methane, ethane dan butan dalam kondisi gas masuk ke kompresor, campuran ini dikompresikan sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Kemudian pada proses 2-3 masing-masing refrigeran tadi dalam bentuk gas dikondensasikan oleh kondenser, karena memiliki temperatur titik kondensasi yang berbeda sehingga terbentuk campuran yang memiliki dua fase yaitu gas (methane dan ethane) dan cair (butan dan propan).

Pada proses 3-6 dapat dijelaskan bahwa terjadi pemisahan campuran refrigeran antara metan, etanpropan, dan butan di separator. Refrigeran yang berfase gas akan mengalir menuju heat exchanger, campuran refrigeran yang mengalir ke proses ini yaitu metan dan etan karena memiliki titik kondensasi yang rendah. Dan pada proses 6-7, dimana campuran refrigeran yang berfase gas yang masuk ke dalam heat exchanger didinginkan oleh campuran refrigeran yang sudah menyatu kembali yaitu metan, etan, propan, dan butan yang berfase campuran gas dan cair, sehingga campuran refrigeran metan dan etan yang berfase gas tadi mengalami perubahan fase yaitu campuran gas dan cair.

Proses 7-8 campuran refrigeran metan dan etan yang dalam kondisi cair diekspansikan oleh pipa kapiler kedua sehingga fasenya berubah menjadi campuran antara gas dan cair. Dan pada proses 8-9 campuran refrigeran metan dan etan dalam fase gas dan cair masuk kedalam evaporator, pada proses ini belum dapat mengubah campuran metan dan etan kedalam bentuk fase gas. Selanjutnya pada proses 9-10 campuran refrigeran metan dan etan yang berfase cair dan gas mengalir ke dalam heat exchanger bercampur dengan refrigeran propan dan butan. Proses 10-1 refrigeran dengan temperatur rendah masuk ke heat exchanger untuk mendinginkan refrigeran metan dan etan.

Pada proses 3-4 terjadi proses pemisahan campuran antara metan, etan, propan dan butan di separator, campuran refrigeran yang berfase cair akan mengalir ke bawah menuju ke pipa kapiler pertama, pada sistem ini butan dan propan yang sudah terkondensasikan menjadi cair akan mengalir ke pipa kapiler pertama. Selanjutnya pada proses 4-5 butan dan propan yang dalam kondisi cair

diekspansikan oleh pipa kapiler pertama sehingga fasenya berubah menjadi campuran cair dan gas, dimana tekanan dan temperatur juga turun.

Kemudian proses 5-10, terjadi proses percampuran kembali antara metan, etan, propan, dan butan dan masuk ke heat exchanger sehingga menghasilkan campuran metan, etan, propan, dan butan yang berfase cair dan gas. Dan selanjutnya pada proses 10-1 campuran refrigeran metan, etan dan butan yang bersatu kembali dimana fasenya campuran cair dan gas terevaporasi oleh campuran metan dan etan yang berfase gas yang berasal dari separator, campuran metan, etan, propan, dan butan mengalami perubahan fase menjadi gas dan kembali masuk ke kompresor untuk dikompresikan serta siklus dimulai kembali.

2.5 Seleksi Panjang Pipa Kapiler

Pipa kapiler (Capillary Tube) merupakan salah satu dari alat ekspansi, yang digunakan untuk menurunkan dan ketika tekanan turun maka temperaur yang terjadi juga turun. Penurunan tekanan dari refrigeran di pengaruhi oleh gerakan aliran liquid dalam pipa, yang akan membatasi aliran refrigeran. Pipa kapiler yang kami gunakan sebagai bahan percobaan memiliki diameter 0.028 inch dengan panjang masing-masing 2m.

2.6 Seleksi Refrigeran

Fluida yang digunakan dalam siklus refrigerasi sebagai penukar kalor disebut refrigeran. Refrigeran ini berfungsi menyerap kalor/panas dengan cara evaporasi pada tekanan dan temperatur rendah dari suatu daerah dan membuangnya dengan kondensasi pada tekanan dan temperatur tinggi.

Suatu refrigeran harus memenuhi beberapa persyaratan, sebagian dari persyaratan tersebut tidak secara langsung berhubungan dengan kemampuannya pada perpindahan kalor. Stabilitas kimia pada beberapa kondisi tertentu saat digunakan merupakan karakteristik yang paling penting. Beberapa sifat yang berhubungan dengan keamanan refrigeran seperti tidak mudah terbakar (*non-flammable*) dan tidak beracun saat digunakan merupakan sifat yang juga dibutuhkan. Harga, ketersediaan, efisiensi, dan kecocokan dengan pelumas kompresor dan bahan-bahan dari komponen-komponen sistem refrigerasi juga

harus diperhatikan. Pengaruh refrigeran terhadap lingkungan apabila refrigeran tersebut bocor dari suatu sistem harus pula dipertimbangkan..

Menurut Cox (2007), sebagai refrigeran, hidrokarbon memiliki kinerja yang sangat baik. Kinerja yang baik refrigeran hidrokarbon merupakan gabungan parameter-parameter yang berikut itu :

- Rasio kompresi yang rendah (dalam kaitan dengan tekanan pengisapan (*suction*) tinggi dan rendahnya tekanan *discharge* pada temperatur operasi)
- Tingginya angka pemindahan kalor yang pada alat penukar kalor (karena properti yang baik dari cairan *fluid thermal* dan transport)
- Berkurangnya kerugian tekanan pada sistem (karena rendahnya densitas dan viskositas refrigeran)

Hidrokarbon tidak tertandingi oleh refrigeran HFC dalam semua aspek selain dari *flammabilitas*(mudah terbakar). Hanya hal inilah yang mencegahnya untuk digunakan secara luas. Namun demikian karena rendahnya refrigeran hidrokarbon yang digunakan pada alat ini hanya sedikit, maka resiko *flammabilitas*(mudah terbakar) juga dapat dikurangi.

Tabel 2.1. Pemilihan Refrigeran Autocascade (Missimer, 1996)

| No Refrigeran | Nama | Formula Kimia | Massa Molekul | Titik Didih (°C) | O.D.P |
|---------------|------------------------|--------------------------------|---------------|------------------|-------|
| 728 | Nitrogen | N ₂ | 28,01 | -195,8 | 0 |
| 740 | Argon | A | 39,95 | -185,9 | 0 |
| 50 | Methane | CH ₄ | 16,04 | -161,5 | 0 |
| 14 | Tetrafluoromethane | CF ₄ | 88,01 | -127,9 | 0 |
| 1150 | Ethylene | C ₂ H ₄ | 28,05 | -103,7 | 0 |
| 170 | Ethane | C ₂ H ₆ | 30,07 | -88,8 | 0 |
| 503 | R23/R13 azeotrope | 40,1/59,% | 87,5 | -88,7 | 0,30 |
| 23 | Trifluoromethane | CHF ₃ | 70,02 | -82,1 | 0 |
| 13 | Choro-trifluoromethane | CClF ₃ | 104,47 | -81,4 | 0,50 |
| 116 | Perfluoromethane | C ₂ F ₆ | 138,01 | -78,3 | 0 |
| 32 | Difluoromethane | CH ₂ F ₂ | 52,02 | -51,8 | 0 |

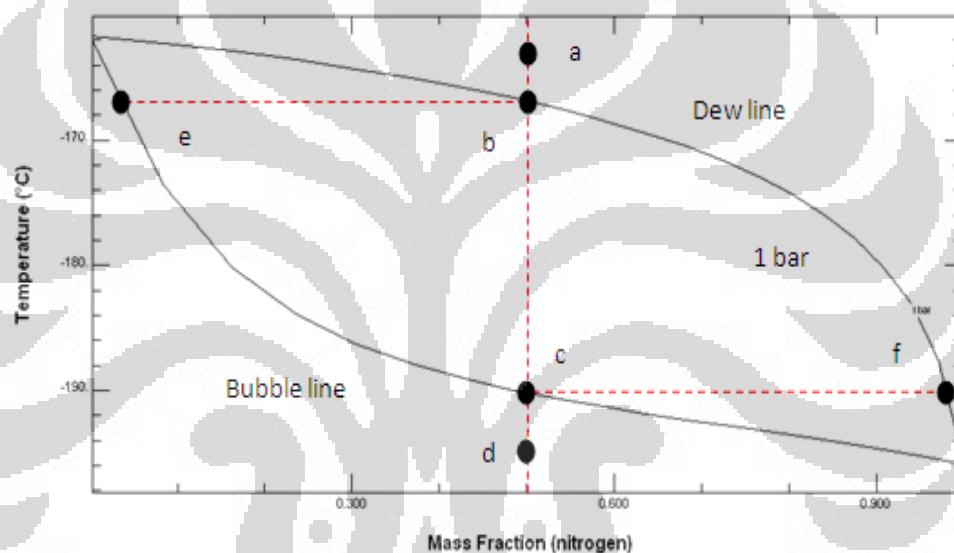
| | | | | | |
|------|----------------------------|--------------------------------------|--------|-------|------|
| 125 | Pentafluoromethane | CHF ₂ CF ₂ | 120,03 | -48,6 | 0 |
| 502 | R22/R115 azeotrope | 48,8/51(%) | 111,60 | -45,6 | 0,29 |
| 290 | Propan | C ₃ H ₈ | 44,10 | -42,1 | 0 |
| 22 | Chlorodifluoromethane | CHClF ₂ | 86,48 | -40,8 | 0,05 |
| 12 | Dichlorodifluoromethane | CCl ₂ F ₂ | 120,93 | -29,8 | 1,00 |
| 134a | 1,1,1,2-tetrafluoromethane | CH ₂ FCF ₃ | 102,03 | -26,2 | 0 |
| 152a | Difluoroethane | CH ₃ CHF ₂ | 66,05 | -25,0 | 0 |
| 134 | 1,1,2,2-tetrafluoromethane | CHF ₂ -CHF ₂ | 102,03 | -19,8 | 0 |
| 124 | 2-Chloro-1,1,1,2-tetraF-E | CHClFC ₃ | 136,50 | -12,0 | 0,02 |
| 142b | 1-Chloro-1,1-difluoroE | CH ₃ CClF ₃ | 100,50 | -9,8 | 0,06 |
| 600 | Butan | C ₄ H ₁₀ | 58,13 | -0,5 | 0 |
| 114 | Dichlorotetrafluoroethane | CClF ₂ -CClF ₂ | 170,94 | 3,8 | 0,8 |
| 11 | Trichlorofluoromethane | CCl ₃ F | 137,38 | 23,8 | 1,00 |
| 123 | Dichlorofluoromethane | CHCl ₂ -CF ₃ | 152,91 | 27,6 | 0,02 |
| 141b | Dichlorofluoroethane | CCl ₂ FCH ₃ | 116,95 | 32,0 | 0,10 |
| - | Pentane (normal) | C ₅ H ₁₀ | 72,15 | 36,2 | 0 |
| 113 | Trichlorofluoroethane | CCl ₂ F-CClF ₂ | 187,39 | 47,6 | 1,08 |

Beberapa kemungkinan refrigeran yang dapat di gunakan dalam mesin pendingin autocascade telah dilakukan oleh Missimer (1996) dapat dilihat pada tabel. Untuk mencapai temperatur ultra low dengan menggunakan mesin pendingin autocascade, memerlukan campuran tiga jenis refrigeran yang berbeda titik didihnya.

Campuran refrigeran secara luas dapat digolongkan ke dalam dua kelompok berdasarkan perubahan suhu selama proses kondensasi atau penguapan yaitu :

1. Campuran Zeotrope

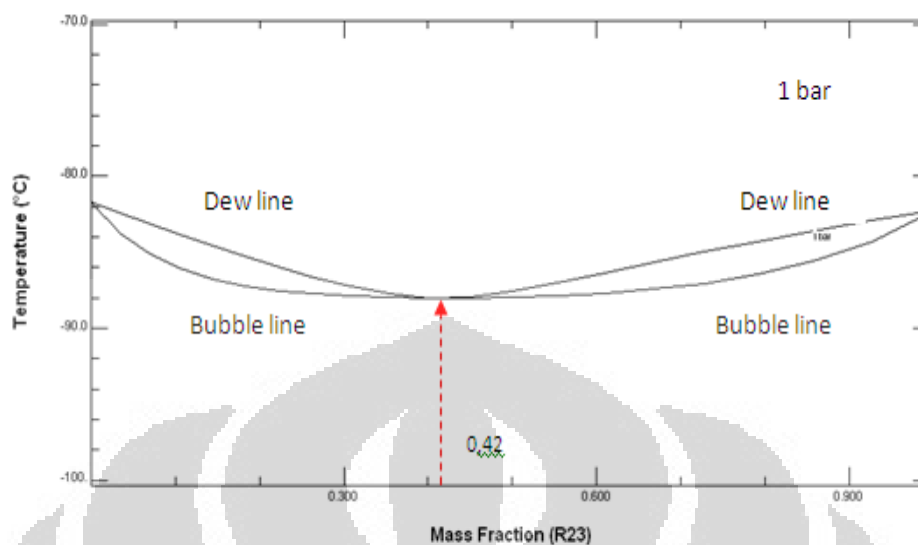
Contoh campuran zeotropes antara nitrogen dan methane. Pada saat nitrogen memiliki fraksi 0,5, campuran dalam keadaan superheated vapor pada titik a, saturated vapor pada titik b, saturated liquid pada titik c dan subcooled liquid pada titik d. Komposisi equilibrium dari vapor dan liquid akan berbeda pada wilayah 2 fase. Contohnya saat fraksi dari vapor pada keadaan equilibrium dengan liquid pada titik c akan lebih besar dari 0,5 (titik f), saat fraksi dari liquid pada keadaan equilibrium dengan vapor pada titik b akan lebih kecil dari 0,5 (titik e). Sehingga campuran zeotropes didefinisikan sebagai campuran dimana fraksi dari coexisting phase tidak sama.



Gambar 2.7. Diagram T-x Campuran Zeotropes

2. Campuran Azeotrope.

Contoh campuran azeotropes antara R23 dan R13. Gambar dibawah ini menunjukkan variasi identik dari *bubble* dan *dew point temperatures* dari sebuah campuran azeotropes. Glide dari refrigeran menjadi nol saat fraksi R23 dalam campuran sebesar 0,42. Fraksi dari fase *vapor* dan *liquid* memiliki nilai yang sama pada kondisi tersebut. Campuran azeotropes biasanya digunakan untuk *constant-temperatur refrigeration*.



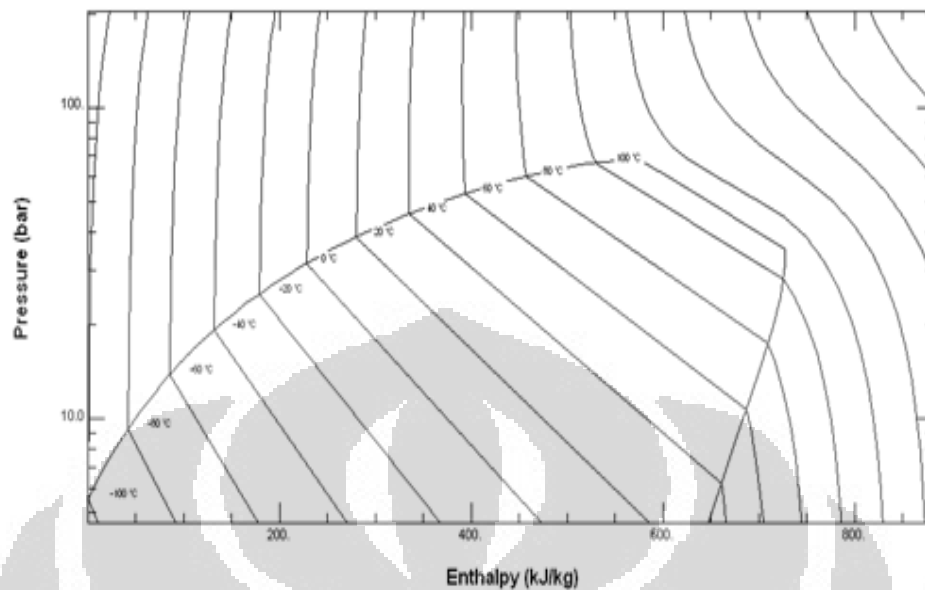
Gambar 2.8. Diagram T-x Campuran Azeotropes

Pedoman untuk memilih komponen-komponen dari suatu campuran adalah sebagai berikut (sumber : *Cryogenic Mixed Refrigerant Processes*. G. Venkatarathnam hal 130) :

1. Memilih Refrigeran pertama yang memiliki temperatur titik didih pada tekanan 1,5 bar lebih rendah dari suhu pendingin yang diinginkan. Contoh nitrogen dapat digunakan untuk temperatur antara 80K sampai 105K, R14 antara 150K sampai 180K.
2. Memilih Refrigeran kedua yang memiliki titik didih sekitar 30K-60K di atas refrigeran pertama dan yang tidak menunjukkan sifat *liquid-liquid immiscibility* pada temperatur rendah dengan refrigeran pertama. Contoh methane dengan argon.

Memilih refrigeran ketiga yang menunjukkan sifat *liquid-liquid immiscibility* pada temperatur rendah dengan cairan pertama dan titik didih sekitar 30K di atas refrigeran kedua. Contoh Ethylene menunjukkan sifat *liquid-liquid immiscibility* dengan nitrogen pada temperatur rendah

Diagram p-h dibawah ini menunjukkan bahwa campuran diatas merupakan campuran zeotropes.

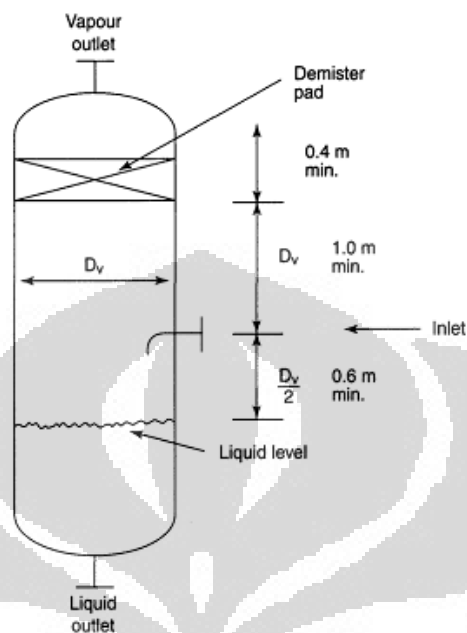


Gambar 2.9. Diagram p-h Campuran Zeotropes

Komposisi refrigeran yang dipilih sebagai percobaan adalah:

1. Komponen pertama yang kami pilih adalah Metan karena memiliki temperatur titik didih yang lebih rendah. Titik didih yang dimiliki refrigeran Metan adalah $-161,5^{\circ}\text{C}$
2. Komponen kedua adalah Etan, karena memiliki titik didih kedua terendah dibandingkan etan yaitu sebesar $-88,8^{\circ}\text{C}$
3. Komponen kedua adalah Propan, karena memiliki titik didih kedua terendah dibandingkan butan yaitu sebesar -42°C .
4. Komponen keempat adalah Butan, karena memiliki titik didih tertinggi, titik didih yang dimiliki Butan adalah sebesar $-0,5^{\circ}\text{C}$

2.7 Desain Separator



Gambar 2.10. Skema separator vertical (Roberto Bubbico)

Berikut adalah proses penrhitungan separator vertical(RobertoBubbico. *Gas-Liquid Separator*):

1. Memilih Kv berdasarkan konfigurasi bejana

Tabel 2.2. Tabel nilai K

| Separator Type | K Factor (m/sec) | Typical Value (m/sec) |
|------------------------------|------------------|-----------------------|
| Horizontal | 0.12 to 0.15 | 0.135 |
| Vertical (height ≤ 1.5 m) | 0.036 to 0.073 | 0.05 |
| Vertical (height > 1.5 m) | 0.05 to 0.11 | 0.08 |
| Spherical | 0.05 to 0.11 | 0.08 |
| Wet steam | 0.076 | 0.076 |
| Most vapors under vacuum | 0.061 | 0.061 |
| Salt and caustic evaporators | 0.046 | 0.046 |

2. Menghitung kecepatan maksimum gas, (U_v)

$$U_v = K_v \sqrt{\frac{(\rho_L - \rho_V)}{\rho_V}}$$

3. Menghitung *cross-sectional aread*an diameter, (A dan D_v)

$$D_v = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi U_v}}$$

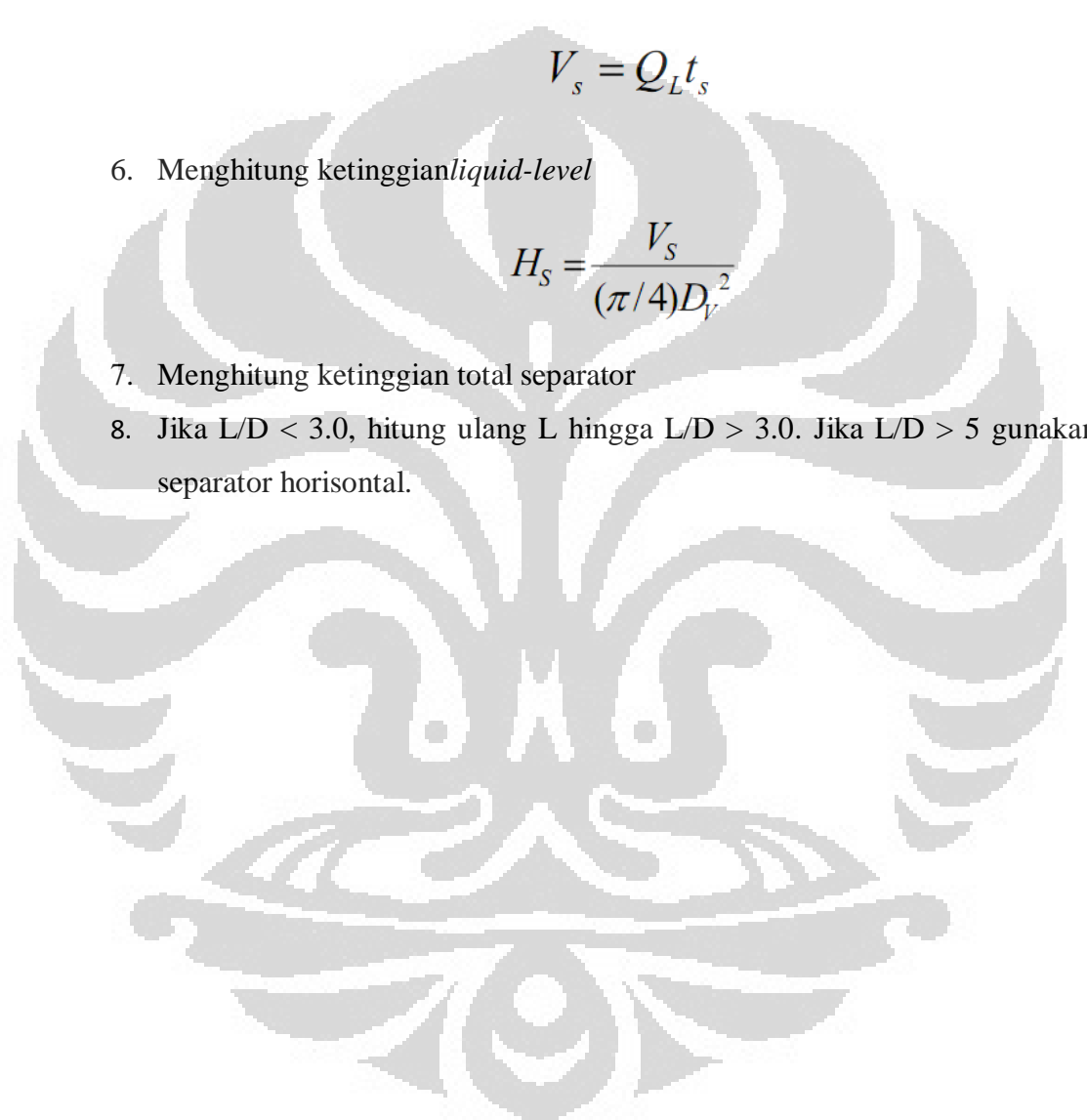
4. Membulatkan kenaikan D dalam 6 inci (0.152 m) untuk D lebih dari 30 inci (0.762 m). Jika D kurang dari 30 in (0.762 m), gunakan pipa standar
5. Memilih *liquid-phase surge time*, (ts)

$$V_s = Q_L t_s$$

6. Menghitung ketinggian *liquid-level*

$$H_s = \frac{V_s}{(\pi/4)D_v^2}$$

7. Menghitung ketinggian total separator
8. Jika $L/D < 3.0$, hitung ulang L hingga $L/D > 3.0$. Jika $L/D > 5$ gunakan separator horisontal.

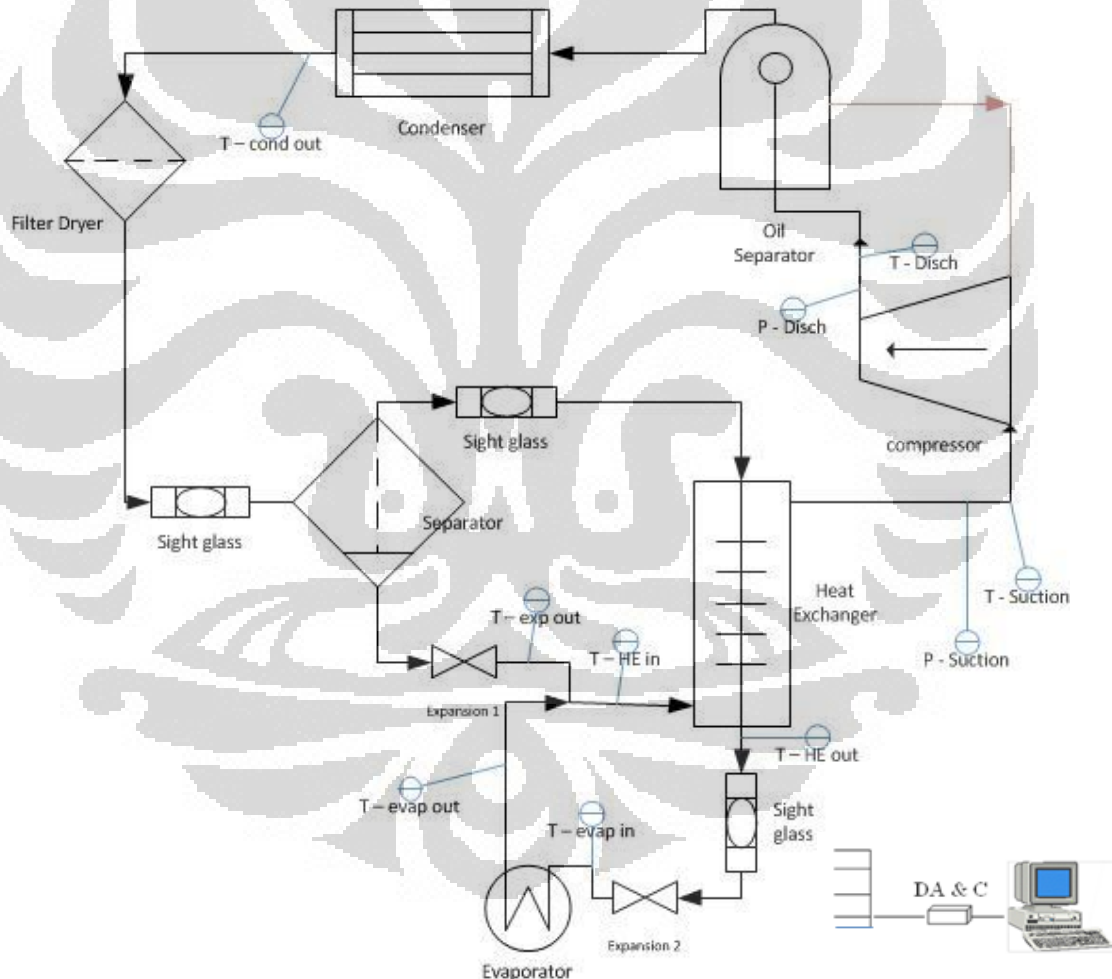


BAB 3

RANCANGAN ALAT UJI DAN PROSEDUR PENGUJIAN

3.1 Rancangan Alat Uji

Pada pengujian ini alat sistem pendingin autocascade berada di Laboratorium Teknik Pendingin lantai 3 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTM FTUI). Untuk melakukan pengujian ini maka dilakukan berbagai modifikasi untuk meningkat kinerja dari alat tersebut dari pergantian evaporator dan pipa kapiler. Data diperoleh dengan menggunakan data akuisisi (NI Lab View).



Gambar 3.1. Skema Alat Uji

Berikut adalah komponen-komponen dari mesin pendingin autocascade :

3.1.1 Kompresor

Kompresor merupakan bagian terpenting dari sistem pendingin. Kompresor ini berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan temperatur dari refrigeran selain itu juga untuk menghisap refrigeran setelah melalui katup ekspansi. berikut ini data dari kompresor yang digunakan :

| | |
|-------------|--|
| Merek | : Tecumseh |
| Type | : Hermetic/Raciprocating |
| Daya | : 0.75 hp |
| Refrigeran | : R22 |
| Voltage/ Hz | : 240/ 50 |
| Lubrican | : Syntetic |
| Dimensi | : panjang 19 cm, lebar 12.5 cm, tinggi 30 cm |



Gambar 3.2. Kompresor

Oli kompresor berfungsi untuk melumasi bagian-bagian dalam kompresor untuk mengurangi gesekan yang terjadi. Jenis oli yang kami gunakan adalah .

3.1.2 Heat Exchanger

Heat exchanger berfungsi sebagai alat penukar kalor, dimana terdapat 2 heat exchanger pada sistem ini yang pertama berfungsi sebagai condensor dan heat exchanger kedua berfungsi sebagai evaporator, data dari autocascade yang digunakan adalah :

| | |
|------|------------------|
| Type | : Shell and coil |
|------|------------------|

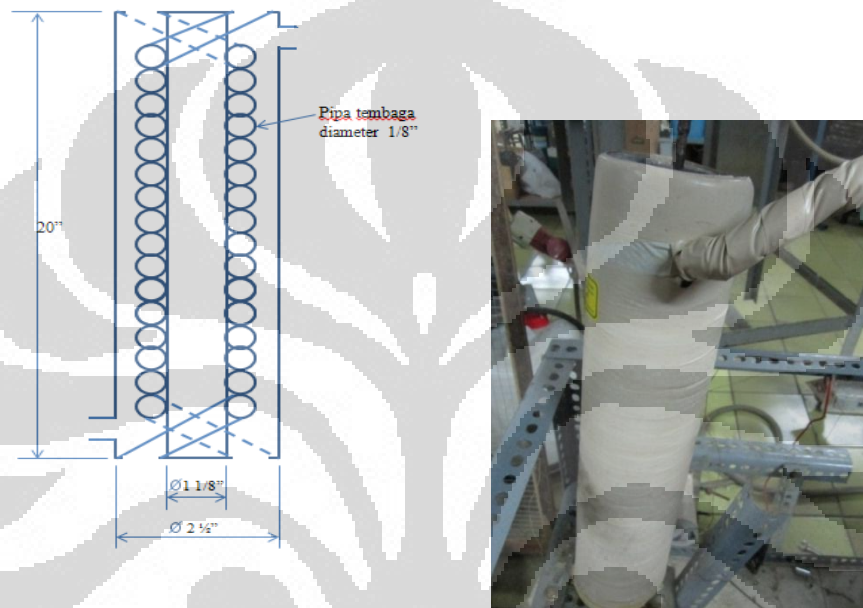
Material : Tembaga

Dimensi : - Pipa dalam : > diameter : 1 1/8inch

> panjang : 500 cm

- Pipa luar : > diameter : 2 1/2 inch

> panjang : 500 mm



Gambar 3.3. Heat Exchanger

3.1.3 Kondenser

Kondenser berfungsi untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari gas menjadi cair dan juga suatu alat untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan temperatur tinggi dan tekanan tinggi, berikut ini data dari kondenser yang digunakan :

Type : Tubes and fins air cooled

Material : Besi

Dimensi : panjang 20 cm, lebar 10 mm tinggi 20 cm



Gambar 3.4. Kondenser

3.1.4 Separator

Separator berfungsi untuk memisahkan campuran refrigeran berdasarkan karakteristik refrigeran. Kami menggunakan 3 campuran refrigeran hydrocarbon yaitu butan, ethane dan methane, data dari separator yang digunakan adalah :

Material : Tembaga

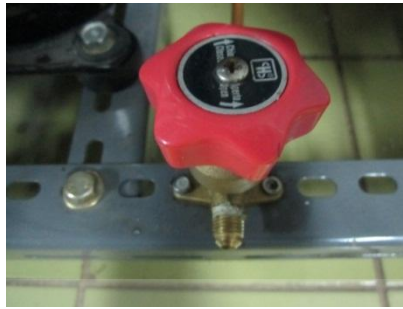
Dimensi : diameter 2 1/8 inch, panjang 20 cm



Gambar 3.5. Separator

3.1.5 Shut Off Valve

Shut-off valve adalah aksesoris yang digunakan sebagai keran buka tutup aliran refrigeran. Shut-off valve pada sistem ini digunakan untuk memasukkan refrigeran.



Gambar 3.6. Shut off Valve

3.1.6 Filter Dryer

Filter dryer merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menyaring partikel-partikel kecil seperti serpihan logam, plastic, dan debu serta benda asing lain yang dapat membahayakan kompresor. Selain itu alat ini juga bermanfaat untuk menangkap uap air yang dapat menghambat proses perpindahan kalor serta membahayakan kompresor, filter dryer ditempatkan setelah condenser.



Gambar 3.7. Filter Dryer

3.1.7 Alat Ekspansi

Pada alat ini menggunakan 2 pipa kapiler dengan ukuran \varnothing 0.028 in. Katup ekspansi adalah alat yang digunakan untuk mengatur laju aliran refrigeran dengan menurunkan tekanan dan temperatur dari refrigeran sehingga terjadi perubahan fase dari cair menjadi gas.

3.1.8 Oil separator

Sistem autocascade memiliki part berupa oil separator yang berfungsi memisahkan oli refrigeran setelah keluar dari kompresor. Oil separator akan memisahkan oli dan oli akan kembali ke kompresor ketika ada tarikan dari kompresor



Gambar 3.8. Oil separator

3.1.9 Sight Glass

Sight glass adalah alat yang digunakan untuk melihat fasa refrigeran. Hal ini diperlukan untuk pemantauan keadaan refrigeran. Pada sistem autocascade digunakan sight glass untuk memantau pemisahan refrigeran.

3.1.10 Evaporator

Pada pengujian ini menggunakan termos sebagai tempat penyimpanan barang yang akan didinginkan. Di dalam termos ini terdapat evaporator yang mana fungsinya kebalikan dari condenser, tidak untuk membuang kalor kepada udara disekitarnya tetapi untuk mengambil kalor dari udara sekitarnya.



Gambar 3.9. Termosdan Evaporator

Berikut ini instrumen-instrumen yang digunakan pada mesin pendingin autocascade :

3.1.11 Pressure Gauge

Pressure gauge berfungsi untuk mengukur tekanan pada sistem, dipasang pada suction dan discharge.



Gambar 3.10. Presure gauge

3.1.12 Pressure Transmitter

Pressure transmitter berfungsi untuk mengukur tekanan dan dapat langsung terbaca hasil pengukurannya melalui data akuisisi yang disambungkan ke komputer, dipasang pada sauction dan discharge.

1. Merek : Druck
Arus : 4-20 mA
Ranges tekanan : 40 bar absolut
2. Merek : Siemens
Arus : 4-20 mA

Ranges Tekanan : 16 bar absolut



Gambar 3.11. Penempatan Pressure Transmitter

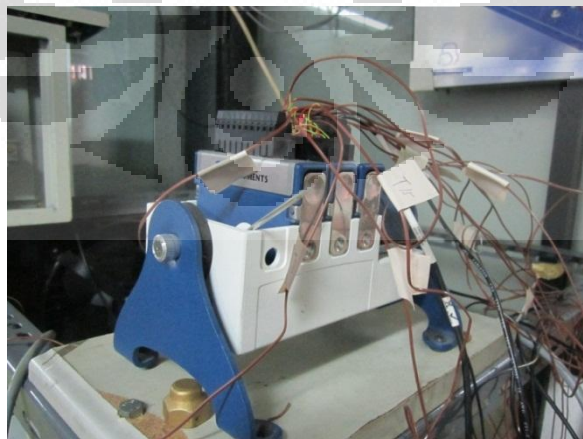
3.1.13 Thermocouple

Thermocouple berfungsi untuk mengukur temperatur. Pada sistem ini kami menggunakan 8 titik pengukuran temperatur.

Tipe : Tipe K
 Bahan : Cromnel Alumnel
 Ranges Temperatur : -269 °C sampai dengan +1260 °C

3.1.14 Data akuisisi (NI-DAQ)

Alat ini berfungsi untuk mengukur parameter-parameter (temperatur/tekanan) yang ada pada sistem dengan berbasis komputer, dimana hasil pengukuran ditampilkan melalui monitor komputer.



Gambar 3.12. Data Akuisisi (DAQ)

Untuk pengukuran tekanan pada DAQ ini menggunakan signal dari arus sedangkan pengukuran temperatur dengan menggunakan signal tegangan.

3.1.15 Power Supply DC

Power supply DC berfungsi sebagai sumber energi dari data akuisisi. Sumber listrik arus bolak balik (AC) yang berasal dari PLN diubah ke arus DC.



Gambar 3.13. Power Supply DC

3.2 Tes Kebocoran

Setelah semua komponen sudah terpasang dengan baik (komponen sistem pendingin beserta alat ukur), maka terlebih dahulu dilakukan tes kebocoran dengan tujuan agar pada saat dijalankan sistem berjalan dengan baik tanpa mengganggu kinerja sistem. Prosedurnya adalah sebagai berikut :

- Pastikan unit dalam keadaan off (tidak ada listrik yang mengalir)
- Sistem diisi dengan karbondioksida atau nitrogen sehingga sistem memiliki tekanan ± 13 bar
- Kebocoran terjadi apabila tekanannya menjadi turun dan dapat dilihat melalui NI Labview (DAQ) pada monitor komputer atau pressure gauge.

- Sistem pemipaan di tes dengan menggunakan busa sabun untuk mengetahui adanya kebocoran atau tidak

Tandai setiap tempat yang menjadi indikasi kebocoran untuk diperbaiki

3.3 Vacuum System

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran dalam sistem maka proses selanjutnya adalah melakukan evakuasi sistem menggunakan pompa vakum, langkah ini dimaksudkan untuk memastikan sistem tidak mengandung uap air. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

- Pastikan unit dalam keadaan off (tidak ada listrik yang mengalir)
- Hubungkan selang manifold gauge pada suction kompresor dan pompa vakum
- Start pompa vakum hingga pada jarum pada pressure gauge menunjukkan angka dibawah 1 bar (\pm 30 menit) menandakan kondisi sistem dalam keadaan vakum.
- tutup katup manifold gauge dan pompa vakum
- stop pompa vakum



Gambar 3.14. Pompa Vakum

3.4 Charging System

Setelah proses pengvakuman dengan menggunakan pompa vakum selesai maka dilanjutkan dengan pengisian refrigeran ke dalam sistem sesuai dengan kebutuhan. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

- Pastikan unit dalam keadaan off (tidak ada listrik yang mengalir)

- Hubungkan selang manifold gauge pada suction kompresor dan tabung refrigeran
- Shut off valve dalam keadaan tertutup
- Flash refrigeran beberapa saat
- Kencangkan selang manifold gauge pada suction kompresor
- Menyalakan sistem (kompresor maupun data akuisisi)
- Buka perlahan-lahan shut off sambil memperhatikan pembacaan timbangan sesuai kebutuhan massa refrigeran yang diinginkan.
- Refrigeran pertama yang dimasukkan adalah butan
- Refrigeran kedua yang dimasukkan adalah propan
- Refrigeran ketiga yang dimasukkan adalah ethane
- Refrigeran keempat yang dimasukkan adalah methane

3.5 Tahapan Pengujian Dan Pengambilan Data

Setelah semua proses persiapan selesai (tes kebocoran, proses pengvakuman, dan charging system) maka pengambilan data bisa dilakukan. Adapun prosedur pengambilan data ini adalah sebagai berikut :

- Menyalakan semua kelistrikan
- Mengaktifkan NI (DAQ) untuk membaca parameter-parameter yang ingin diukur

Memanggil data file yang akan digunakan setelah itu dijalankan programnya dan secara otomatis data akan terekam di komputer. Durasi pengambilan data ± 2 jam

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA

Pada percobaan sistem pendingin *autocascade* ini menggunakan berbagai komposisi campuran refrigeran hidrokarbon yaitu butan, propan, etan dan metan. Dengan massa total dari refrigeran yang bisa dimasukkan kedalam sistem sebesar 300 gram karena pada percobaan sebelumnya jumlah total refrigeran yang stabil adalah 300 gram. Dari total 300 gram dibagi menjadi beberapa komponen refrigeran, metan memiliki komposisi paling kecil karena apabila metan terlalu banyak maka tekanan discharge akan menjadi terlalu tinggi sehingga komponen metan diatur supaya tidak lebih dari 7 gram sedangkan komponen yang lain disesuaikan dengan percobaan-percobaan sebelumnya.

Tabel 4.1. Komposisi campuran

| Pengujian | Butan | Propan | Etan | Metan | Total |
|------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------|
| I | 85 gr (28,33%) | 150 gr (50%) | 58 gr (19,33%) | 7 gr (2,33%) | 300 gr |
| II | 235 gr (78,33%) | 0 | 58 gr (19,33%) | 7 gr (2,33%) | 300 gr |
| III | 0 | 235 gr (78,33%) | 58 gr (19,33%) | 7 gr (2,33%) | 300 gr |

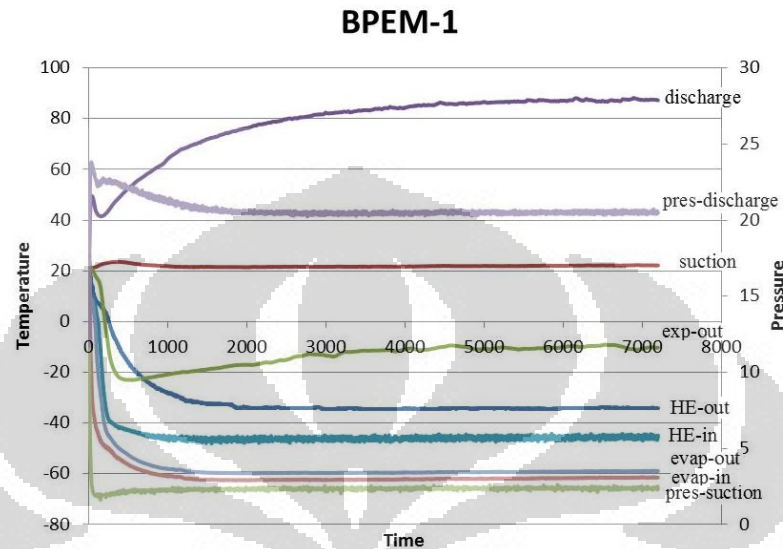
4.1 Karakteristik Sistem

4.1.1 Karakteristik Sistem pada Campuran Butan, Propan, Etan, dan Metan

4.1.1.1 Pengujian I

Pengujian pertama dilakukan dengan melakukan *chargingsistem* dengan komposisi 85 gram butan, 150 gram propan, 58 gram etan, dan 7 gram

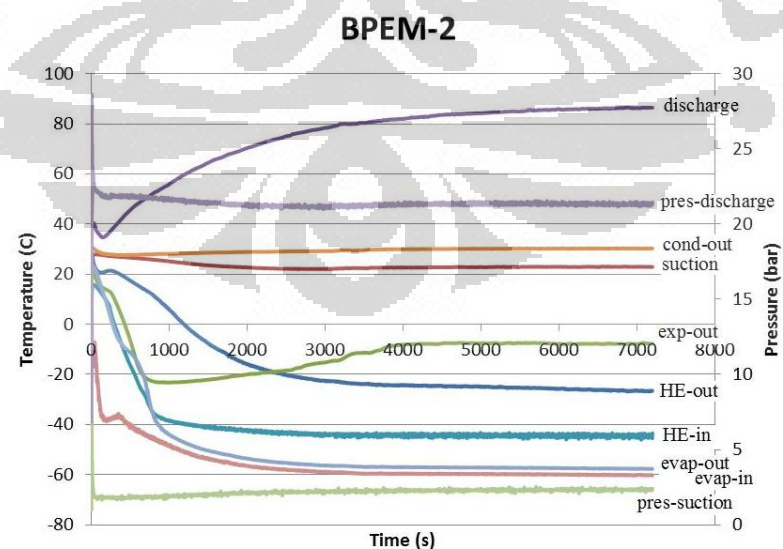
metandengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1. Grafik campuran butan, propan, etan, dan metan pada percobaan I

4.1.1.2 Pengujian II

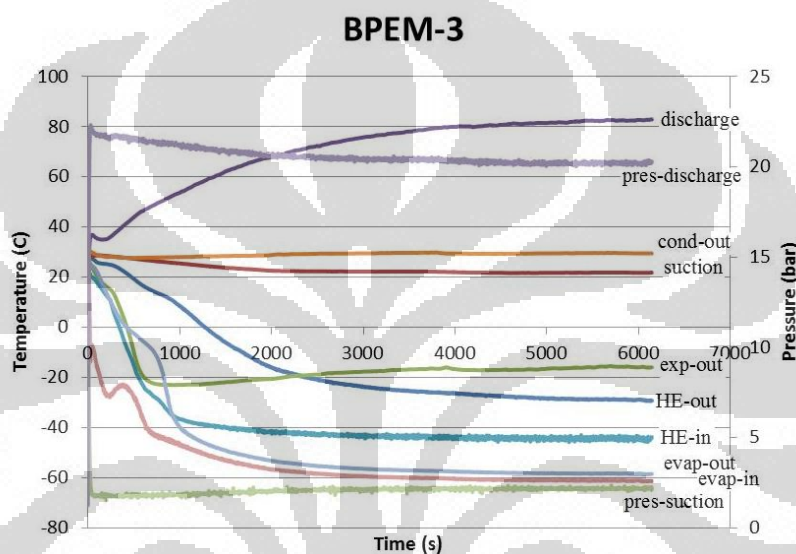
Pengujian kedua dilakukan dengan melakukan *charging* sistem dengan komposisi 85 gram butan, 150 gram propan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2. Grafik campuran butan, propan, etan, dan metan pada percobaan II

4.1.1.3 Pengujian III

Pengujian ketiga dilakukan dengan melakukan *chargingsistem* dengan komposisi 85 gram butan, 150 gram propan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :



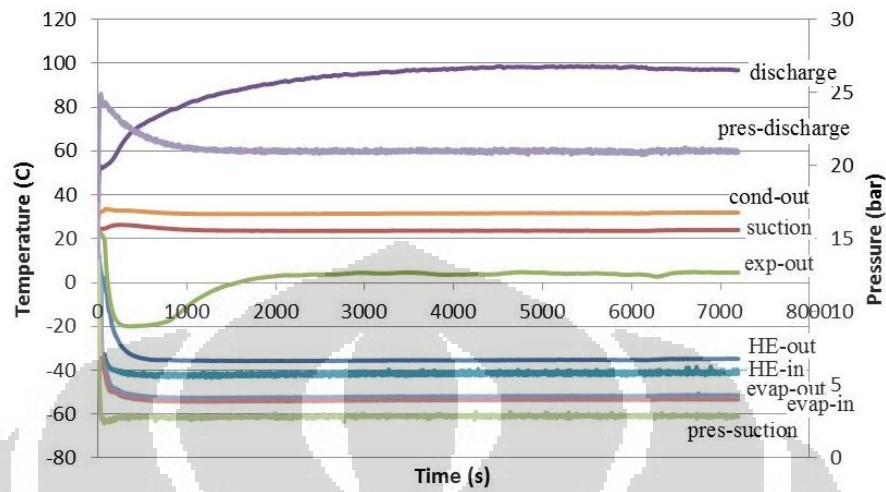
Gambar 4.3. Grafik campuran butan, propan, etan, dan metan pada percobaan III

4.1.2 Karakteristik Sistem pada Campuran Butan, Etan, dan Metan

4.1.2.1 Pengujian I

Pengujian pertama dilakukan dengan melakukan *chargingsistem* dengan komposisi 235 gram butan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :

BEM-1

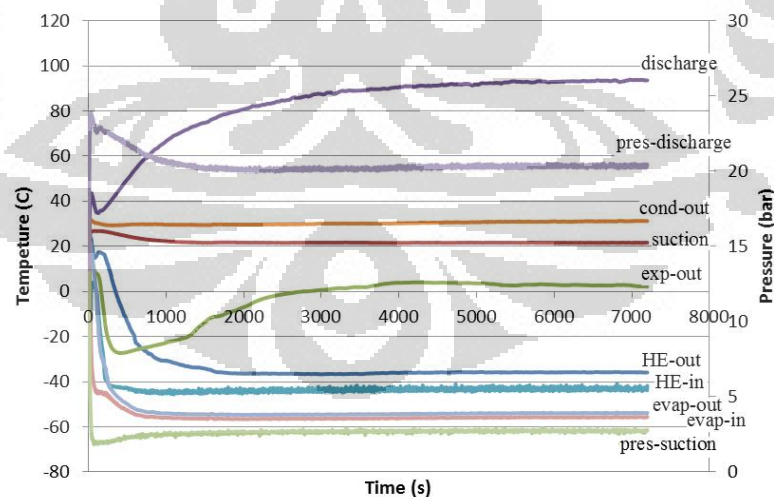


Gambar 4.4. Grafik campuran butan, etan, dan metan pada percobaan I

4.1.2.2 Pengujian II

Pengujian kedua dilakukan dengan melakukan *charging* sistem dengan komposisi 235 gram butan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :

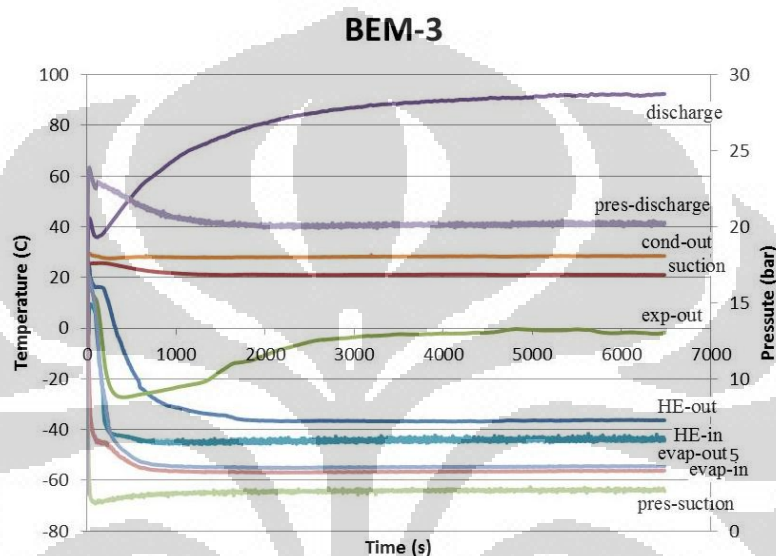
BEM-2



Gambar 4.5. Grafik campuran butan, etan, dan metan pada percobaan II

4.1.2.3 Pengujian III

Pengujian ketiga dilakukan dengan melakukan *chargingsistem* dengan komposisi 235 gram butan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :

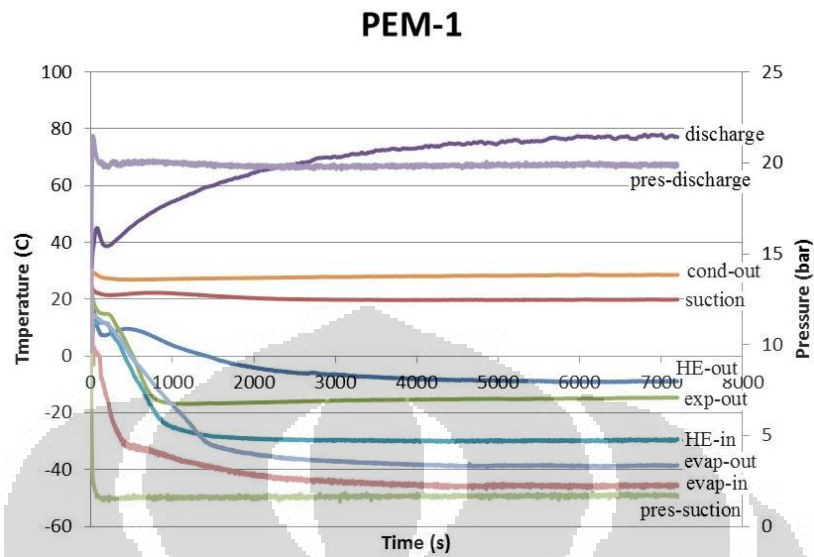


Gambar 4.6. Grafik campuran butan, etan, dan metan pada percobaan III

4.1.3 Karakteristik Sistem pada Campuran Propan, Etan, dan Metan

4.1.3.1 Pengujian I

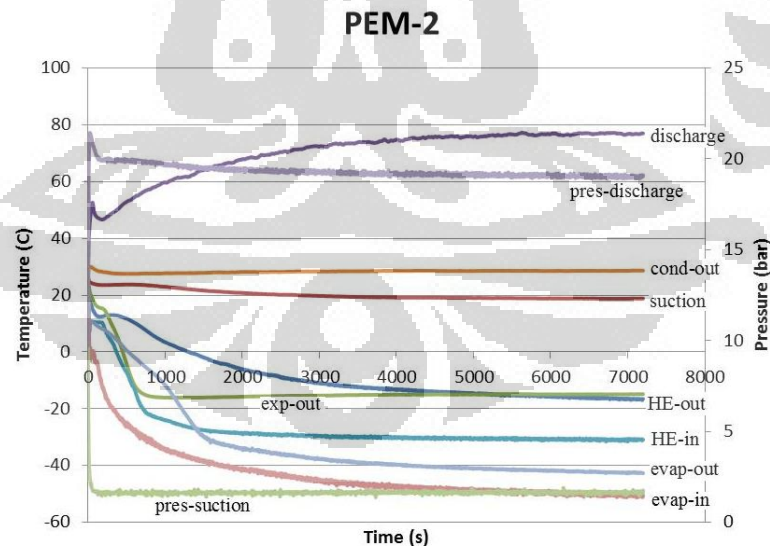
Pengujian pertama dilakukan dengan melakukan *chargingsistem* dengan komposisi 235 gram propan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.7. Grafik campuran propan, etan, dan metan pada percobaan I

4.1.3.2 Pengujian II

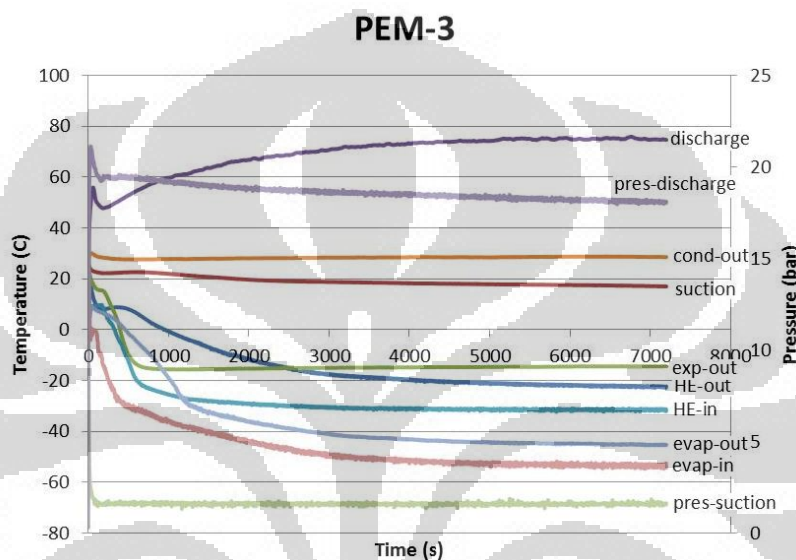
Pengujian kedua dilakukan dengan melakukan *charging* sistem dengan komposisi 235 gram propan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.8. Grafik campuran propan, etan, dan metan pada percobaan II

4.1.3.3 Pengujian III

Pengujian ketiga dilakukan dengan melakukan *charging* sistem dengan komposisi 235 gram propan, 58 gram etan, dan 7 gram metan dengan total 300 gram kemudian dilakukan tes run selama kurang lebih 2 jam. Dari percobaan tersebut menghasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.9. Grafik campuran propan, etan, dan metan pada percobaan III

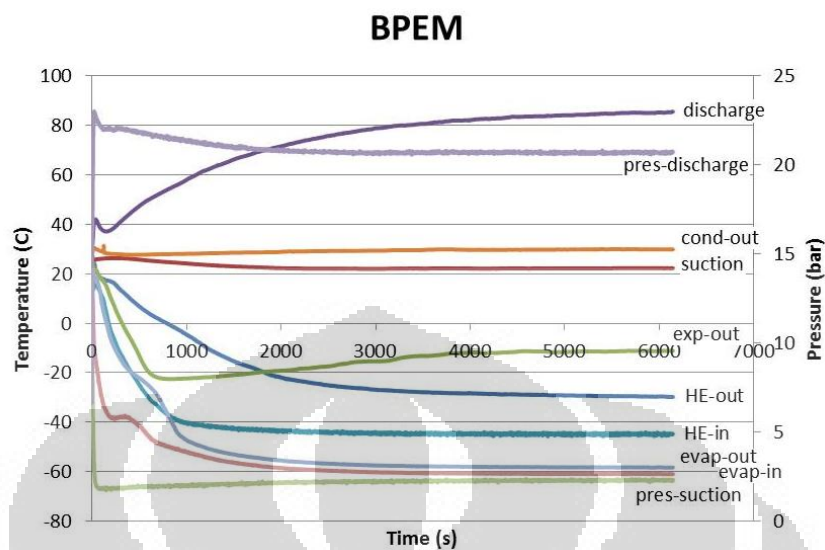
4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan merata-rata masing-masing data yang didapat kemudian diolah menggunakan Minitab.

4.2.1 Hasil Rataan pada Masing-Masing Campuran

4.2.1.1 Hasil Rataan pada Campuran BPEM

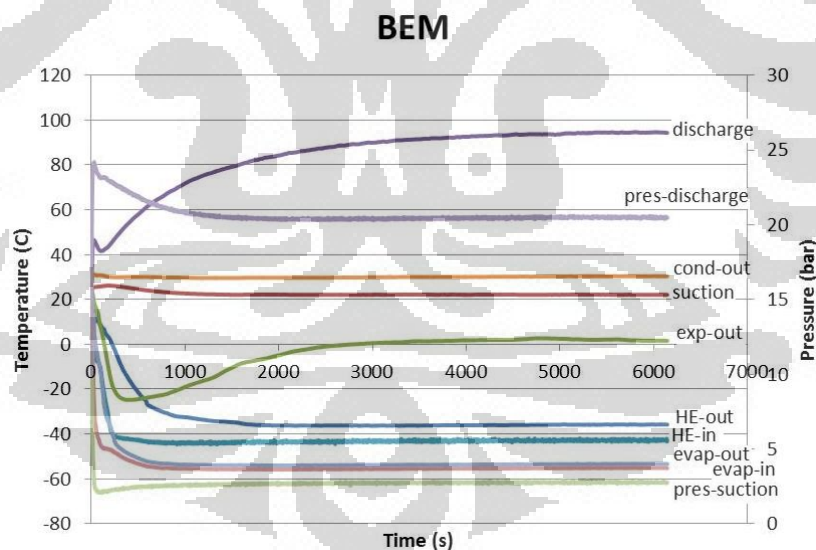
Apabila hasil dari percobaan tersebut dirata-rata untuk mendapatkan nilai dari campuran Butan, Propan, Etan dan Metan maka dapat disajikan pada grafik berikut:



Gambar 4.10. Grafik rata-rata campuran butan, propan, etan, dan metan

4.2.1.2 Hasil Rataan pada Campuran BEM

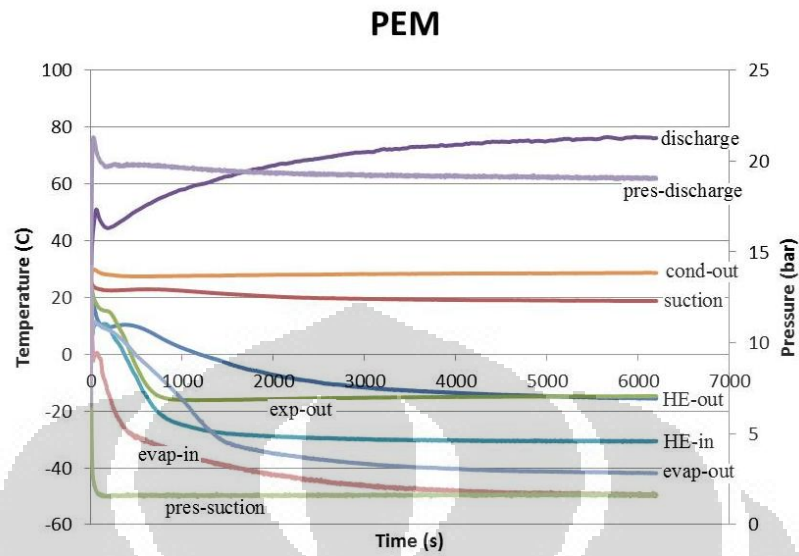
Apabila hasil dari percobaan tersebut dirata-rata untuk mendapatkan nilai dari campuran Butan, Etan dan Metan maka dapat disajikan pada grafik berikut:



Gambar 4.11. Grafik rata-rata campuran butan, etan, dan metan

4.2.1.3 Hasil Rataan pada Campuran PEM

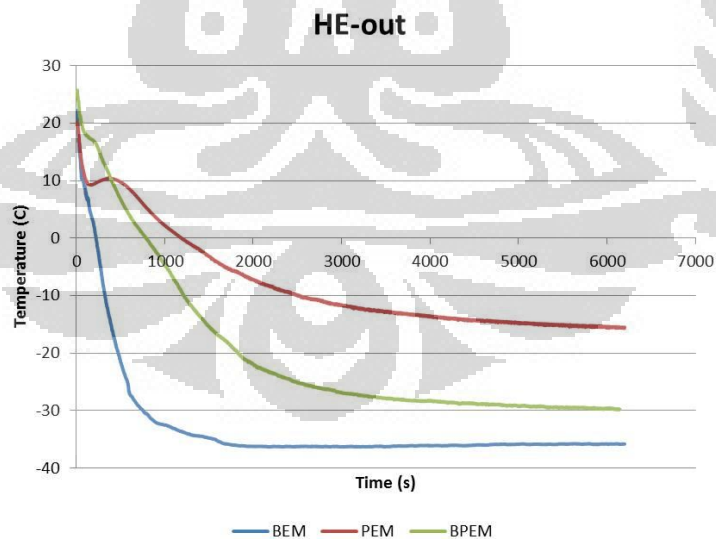
Apabila hasil dari percobaan tersebut dirata-rata untuk mendapatkan nilai dari campuran Propan, Etan dan Metan maka dapat disajikan pada grafik berikut:



Gambar 4.12. Grafik rata-rata campuran propan, etan, dan metan

4.2.2 Karakteristik pada Masing-masing Titik

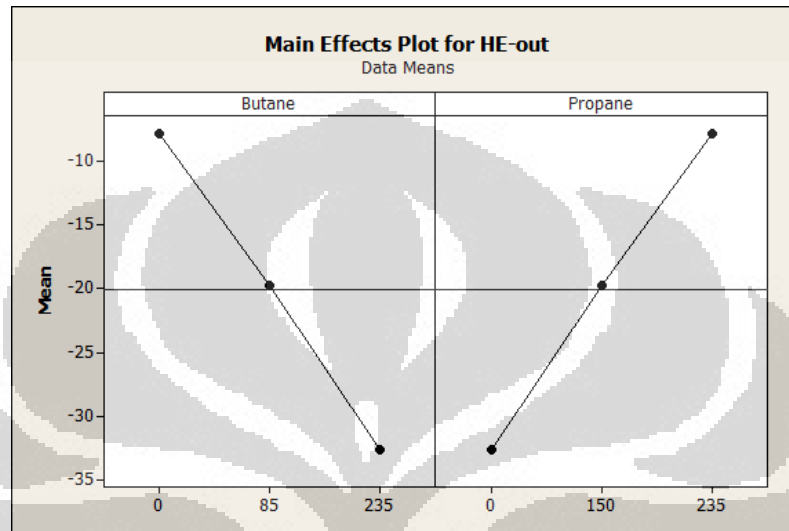
4.2.2.1 Karakteristik Temperatur Keluar dari Heat Exchanger pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.13. Grafik temperatur keluar heat exchanger

Tabel 4.2. Rata-rata temperatur keluar heat exchanger

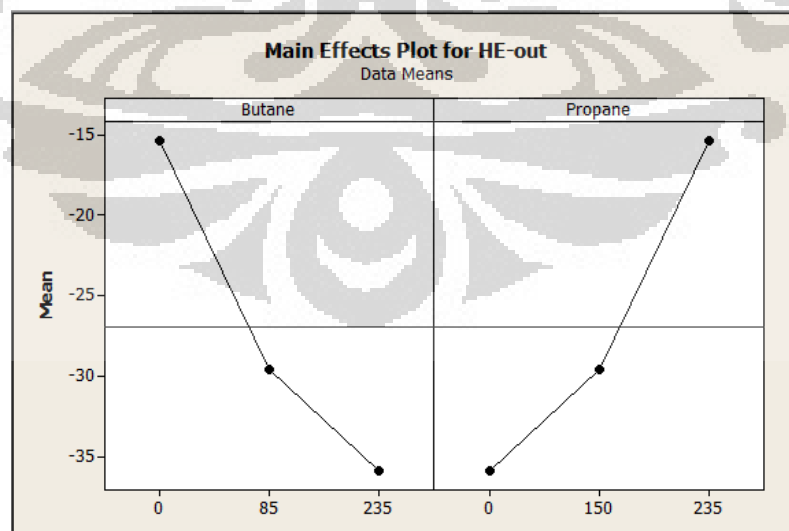
| BEM | PEM | BPEM |
|---------|----------|----------|
| -32.584 | -7.95869 | -19.8134 |



Gambar 4.14. Grafik mean effect untuk plot rata-rata keluar heat exchanger

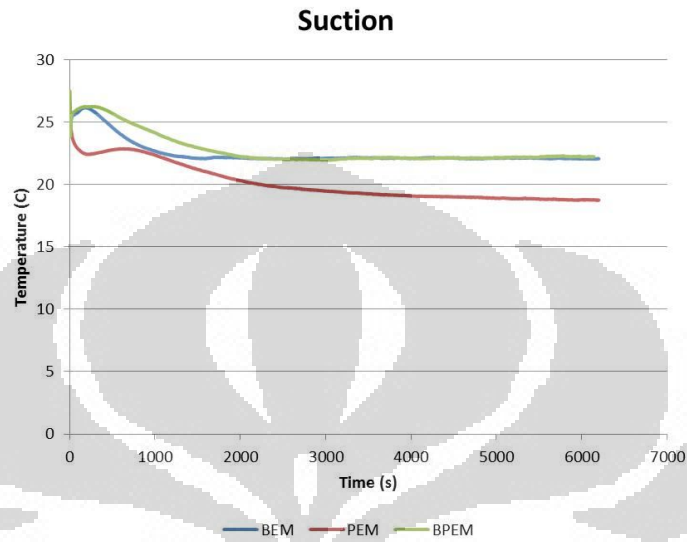
Tabel 4.3. Rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|---------|
| -35.8091 | -15.4118 | -29.598 |



Gambar 4.15. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady

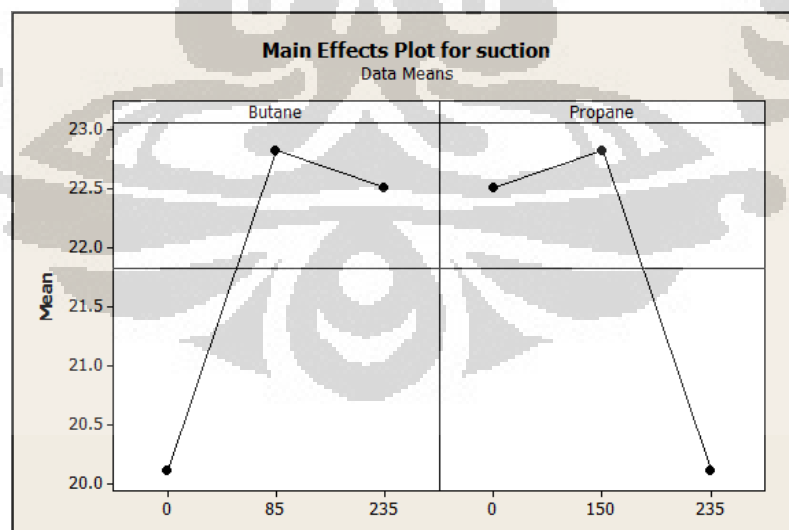
4.2.2.2 Karakteristik Temperatur Suction pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.16. Grafik temperatur suction

Tabel 4.4. Rata-rata temperatur suction

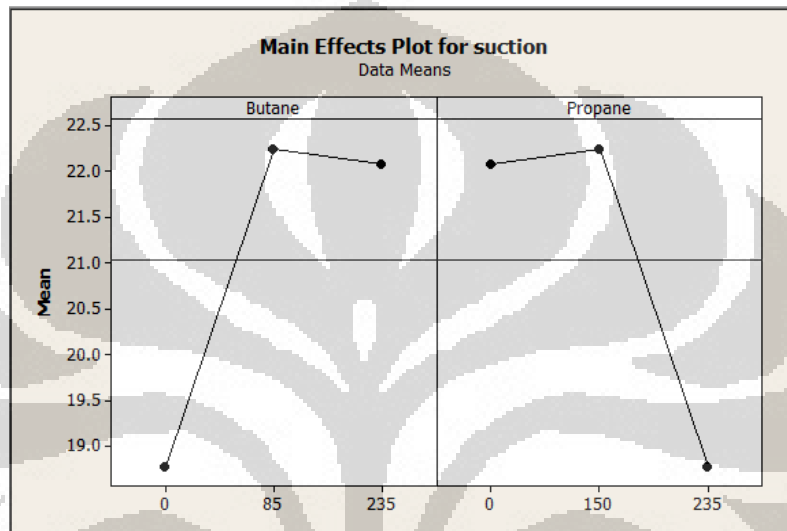
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 22.52358 | 20.12101 | 22.82609 |



Gambar 4.17. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur suction

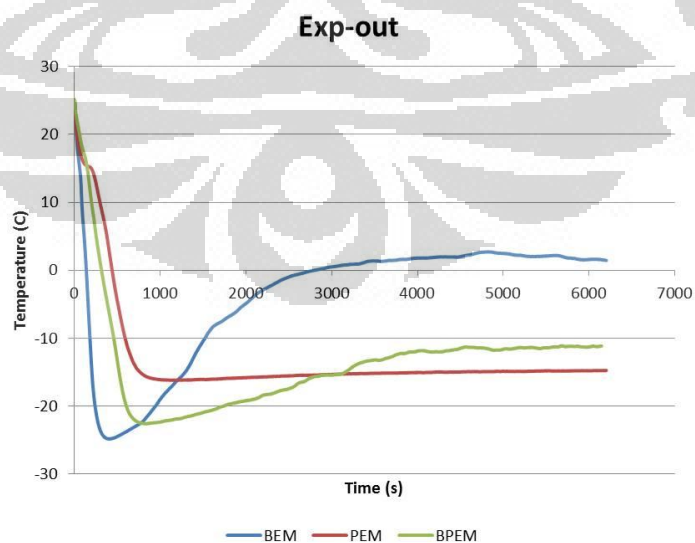
Tabel 4.5. Rata-rata temperatur suction saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 22.08525 | 18.78168 | 22.25674 |



Gambar 4.18. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur suction saat steady

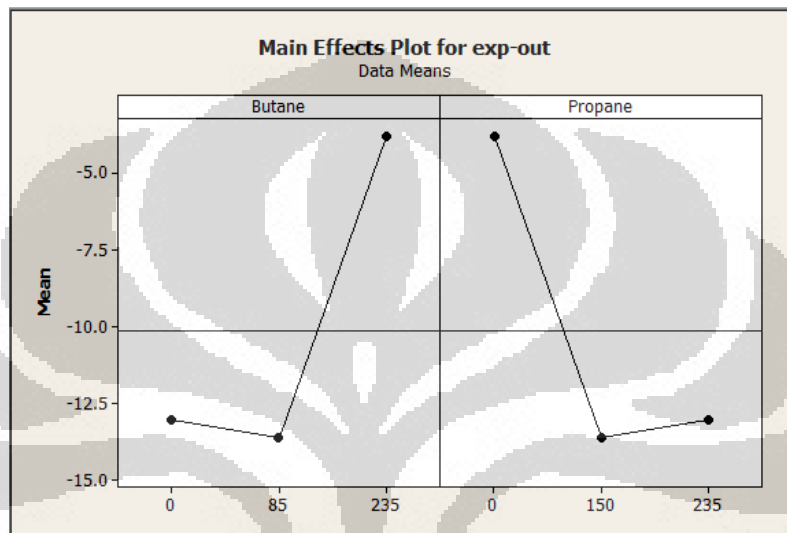
4.2.2.3 Karakteristik Temperatur Keluar dari Ekspansipada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.19. Grafik temperatur keluar ekspansi

Tabel 4.6. Rata-rata temperatur keluar ekspansi

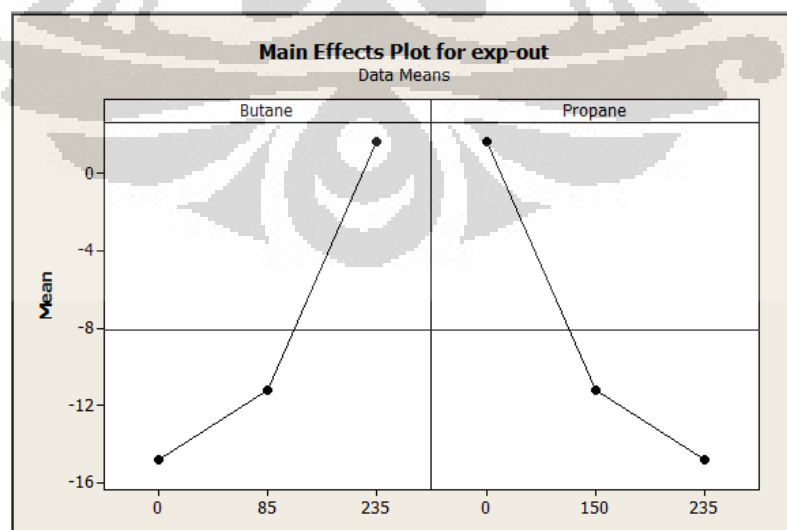
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| -3.79457 | -13.0134 | -13.6108 |



Gambar 4.20. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar ekspansi

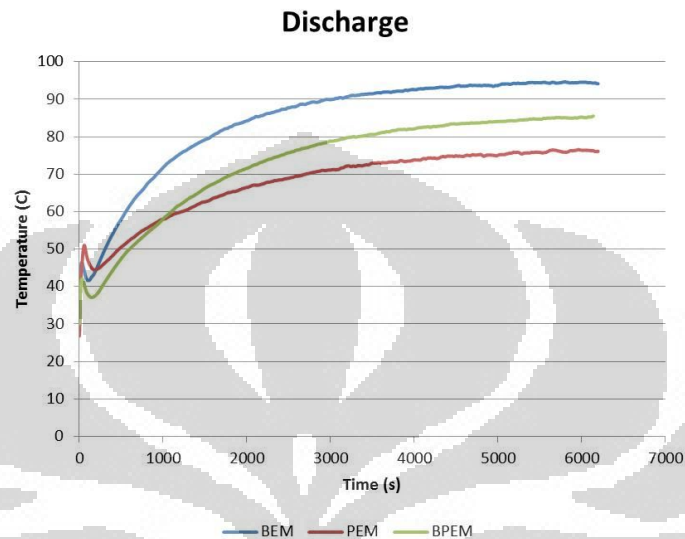
Tabel 4.7. Rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 1.650979 | -14.7732 | -11.2105 |



Gambar 4.21. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady

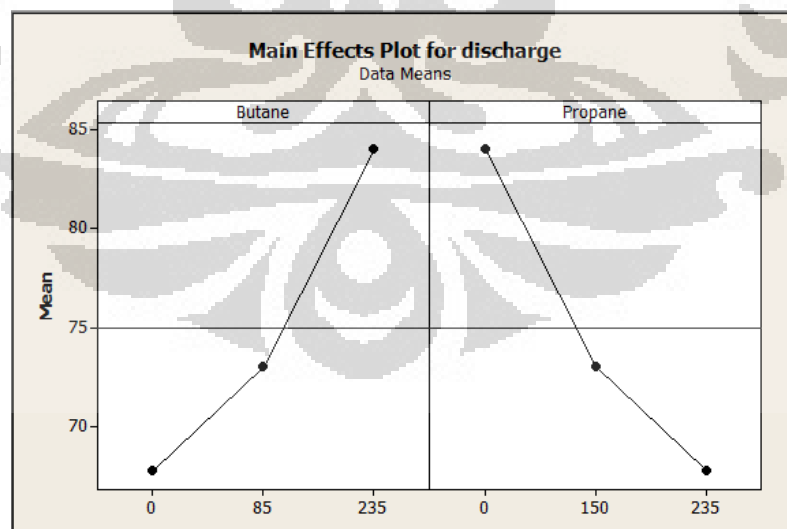
4.2.2.4 Karakteristik Temperatur Discharge pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.22. Grafik temperatur discharge

Tabel 4.8. Rata-rata temperatur discharge

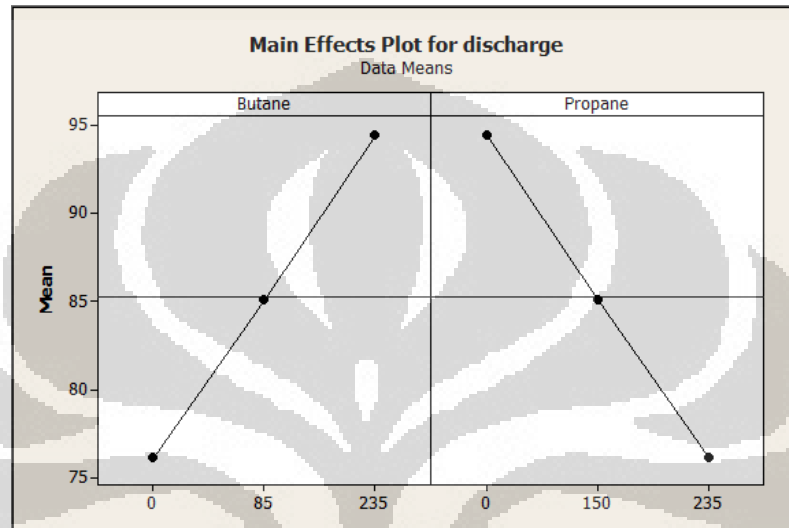
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 84.04048 | 67.80381 | 73.07144 |



Gambar 4.23. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur discharge

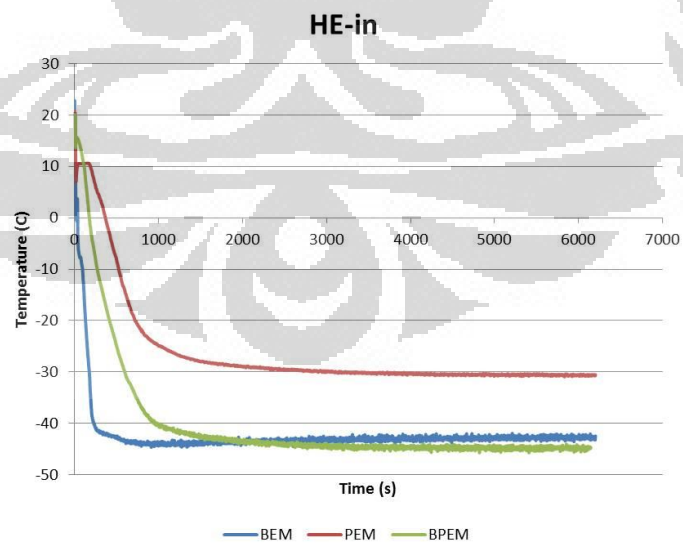
Tabel 4.9. Rata-rata temperatur discharge saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 94.43992 | 76.21905 | 85.10324 |



Gambar 4.24. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur discharge saat steady

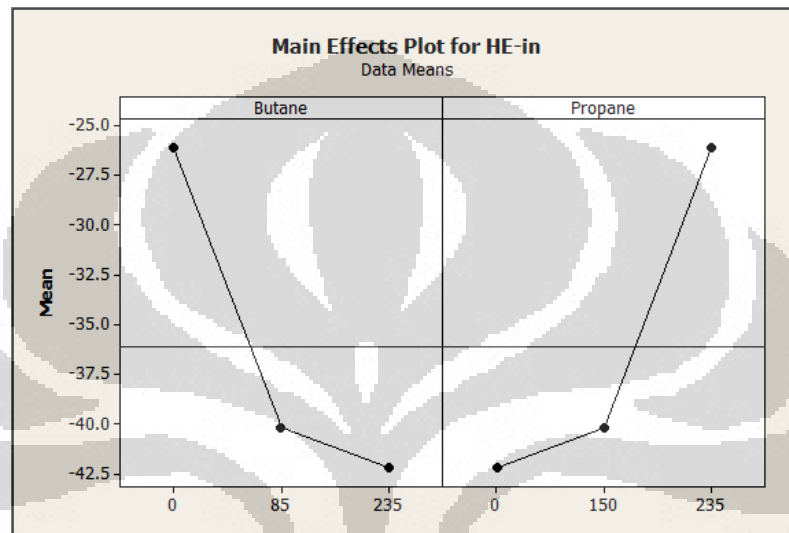
4.2.2.5 Karakteristik Temperatur Masuk Heat Exchanger pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.25. Grafik temperatur masuk heat exchanger

Tabel 4.10. Rata-rata temperatur masuk heat exchanger

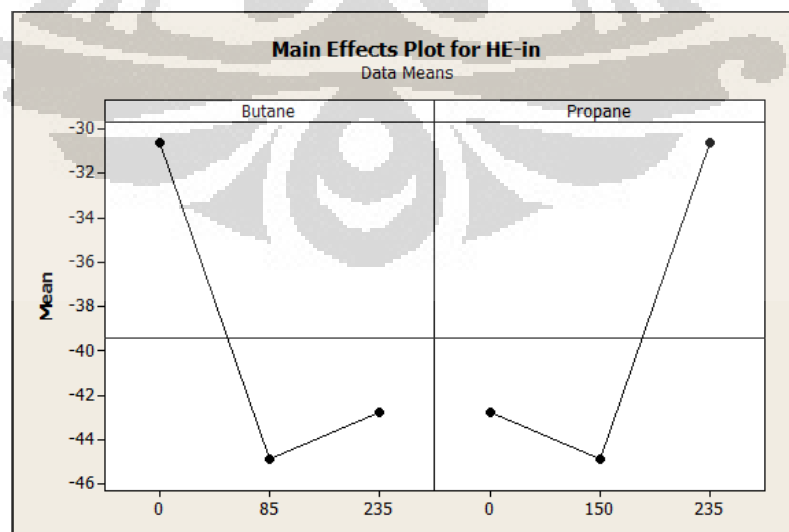
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| -42.1716 | -26.0547 | -40.1809 |



Gambar 4.26. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk heat exchanger

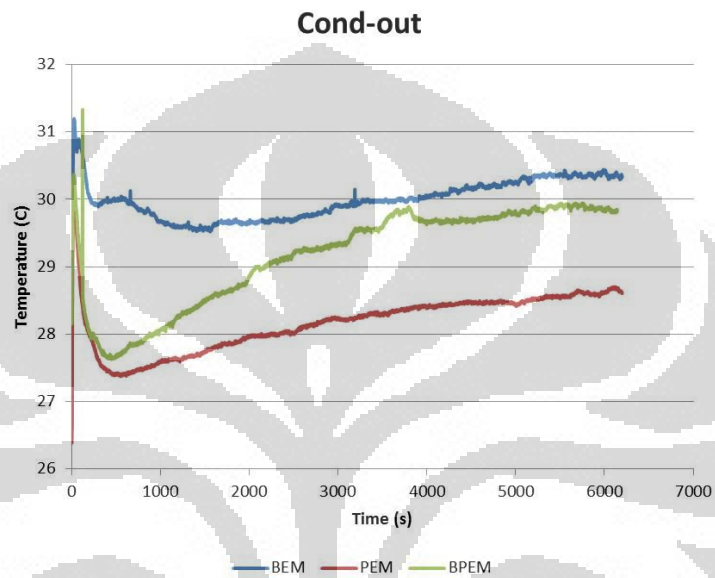
Tabel 4.11. Rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| -42.7774 | -30.6232 | -44.8334 |



Gambar 4.27. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady

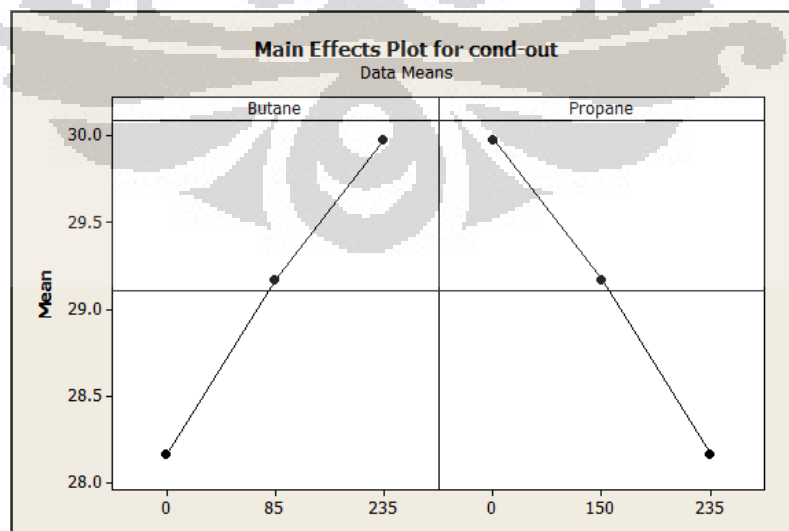
4.2.2.6 Karakteristik Temperatur Keluar Kondenser pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.28. Grafik temperatur keluar kondenser

Tabel 4.12. Rata-rata temperatur keluar kondenser

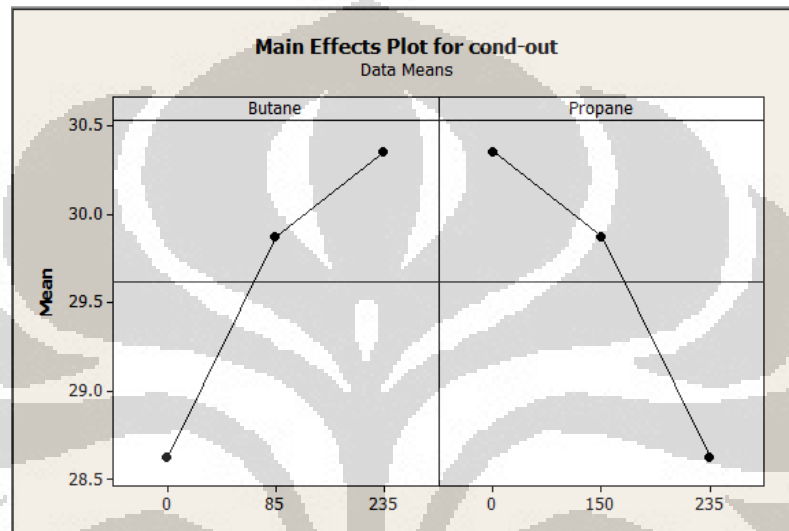
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 29.98541 | 28.16564 | 29.16662 |



Gambar 4.29. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar kondenser

Tabel 4.13. Rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady

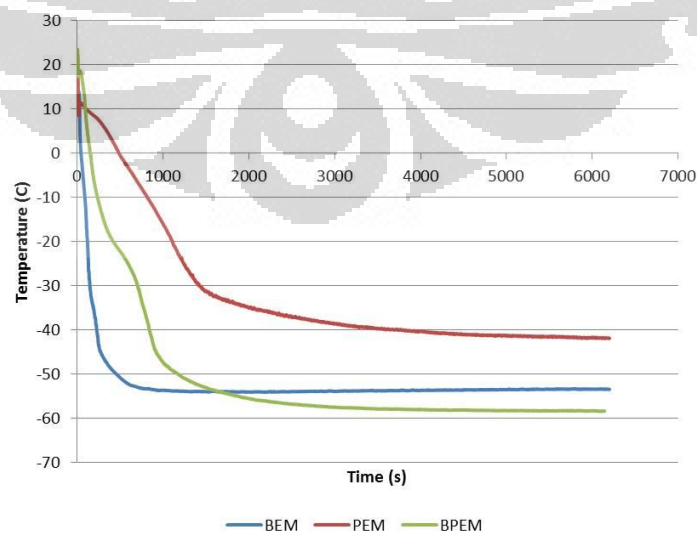
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|---------|----------|
| 30.35807 | 28.6254 | 29.87301 |



Gambar 4.30. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady

4.2.2.7 Karakteristik Temperatur Keluar Evaporator pada Masing-Masing Campuran

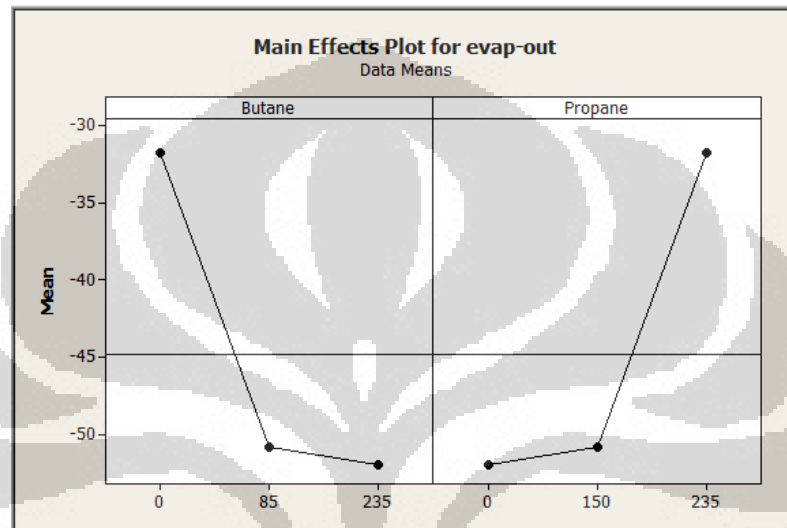
Evap-out



Gambar 4.31. Grafik temperatur keluar evaporator

Tabel 4.14. Rata-rata temperatur keluar evaporator

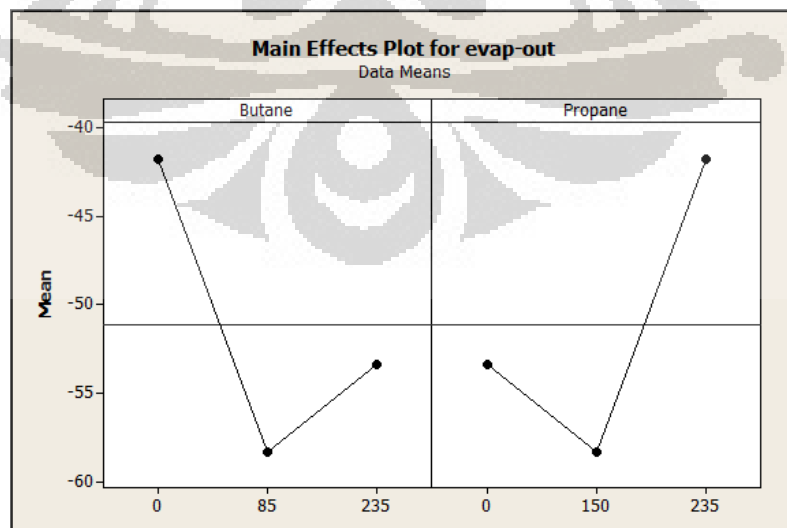
| BEM | PEM | BPEM |
|---------|---------|----------|
| -51.949 | -31.724 | -50.7608 |



Gambar 4.32. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar evaporator

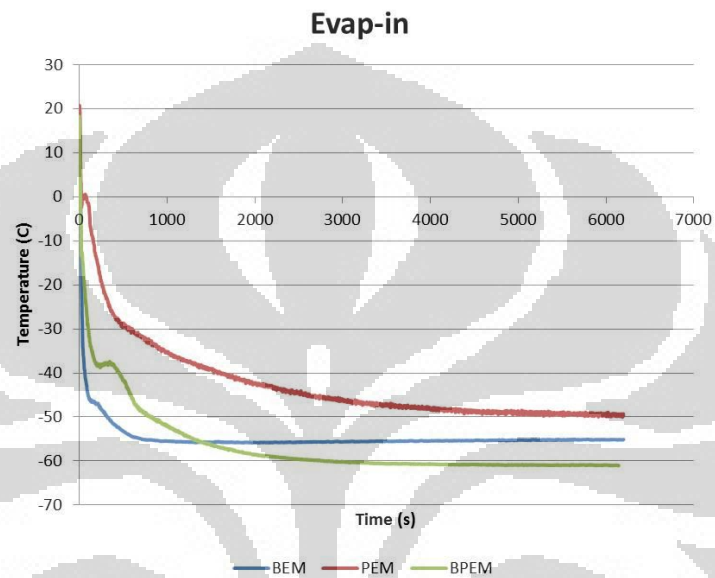
Tabel 4.15. Rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|---------|----------|
| -53.3679 | -41.741 | -58.2825 |



Gambar 4.33. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady

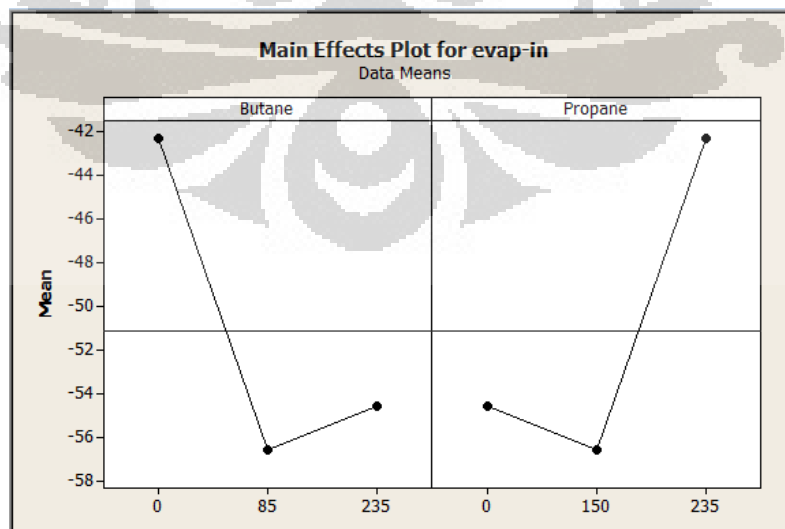
4.2.2.8 Karakteristik Temperatur Masuk Evaporator pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.34. Grafik temperatur masuk evaporator

Tabel 4.16. Rata-rata temperatur masuk evaporator

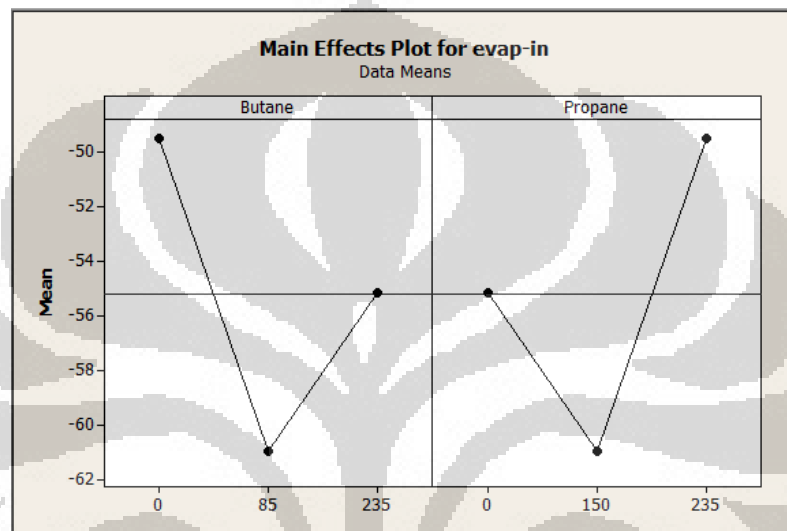
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| -54.5692 | -42.3698 | -56.5208 |



Gambar 4.35. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk evaporator

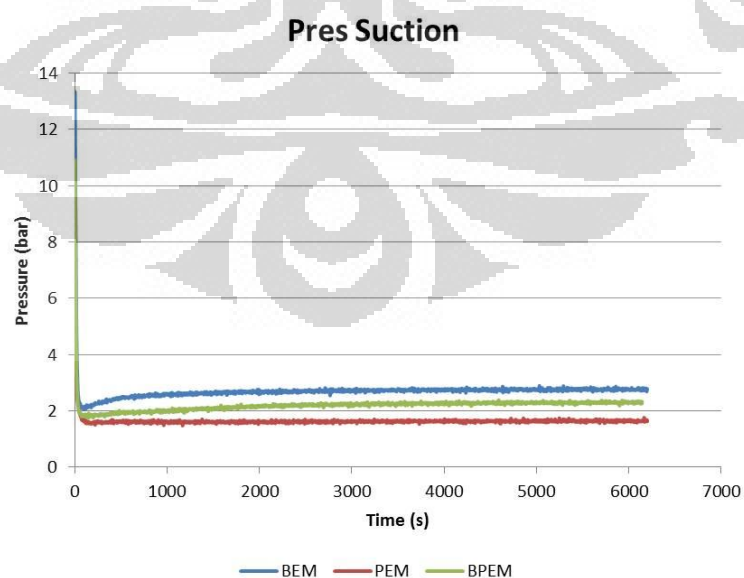
Tabel 4.17. Rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|---------|
| -55.1493 | -49.4732 | -60.931 |



Gambar 4.36. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady

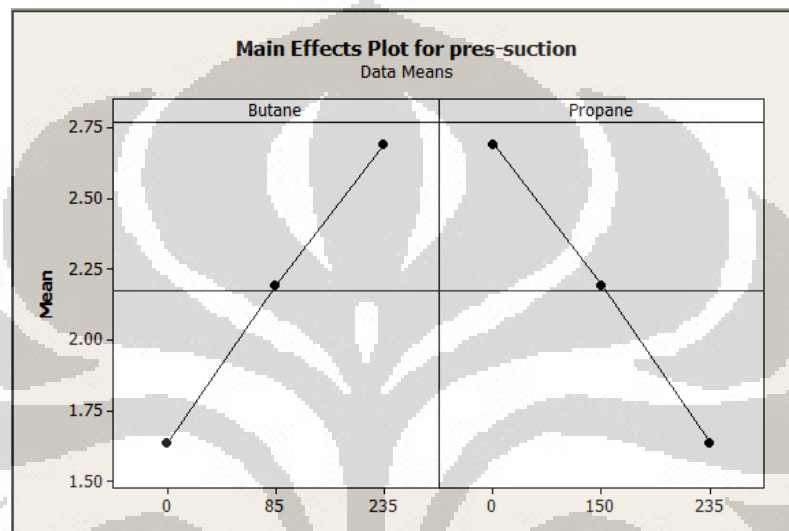
4.2.2.9 Karakteristik Tekanan Suction pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.37. Grafik tekanan suction

Tabel 4.18. Rata-rata tekanan suction

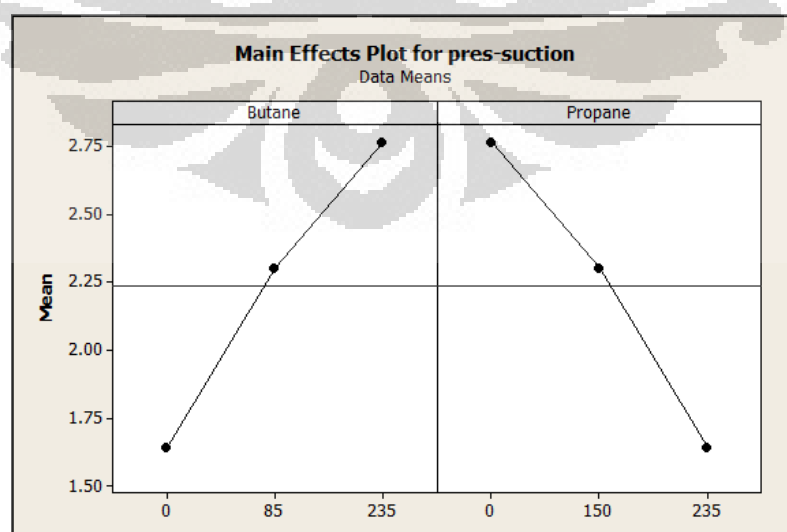
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 2.693018 | 1.640288 | 2.192222 |



Gambar 4.38. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan suction

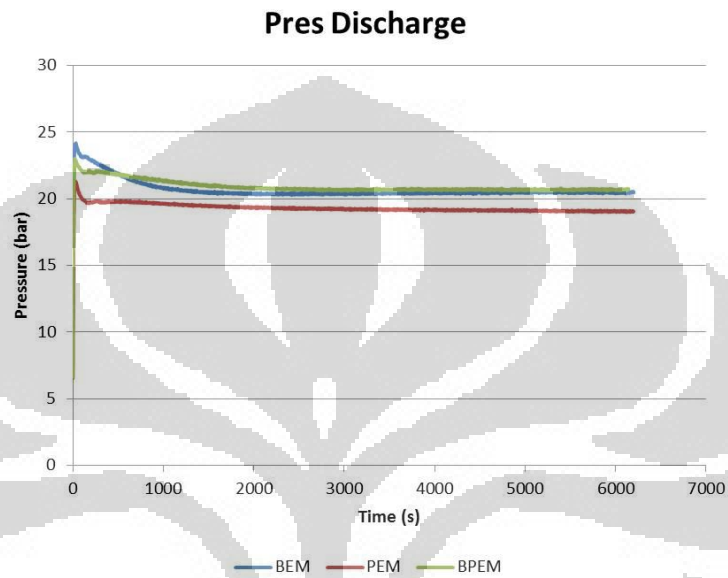
Tabel 4.19. Rata-rata tekanan suction saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 2.762214 | 1.640949 | 2.299947 |



Gambar 4.39. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan suction saat steady

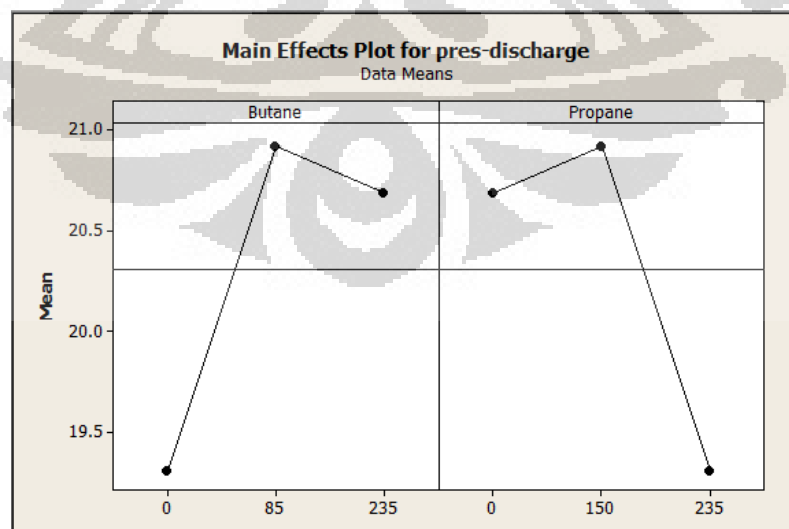
4.2.2.10 Karakteristik Tekanan Discharge pada Masing-Masing Campuran



Gambar 4.40. Grafik tekanan discharge

Tabel 4.20. Rata-rata tekanan discharge

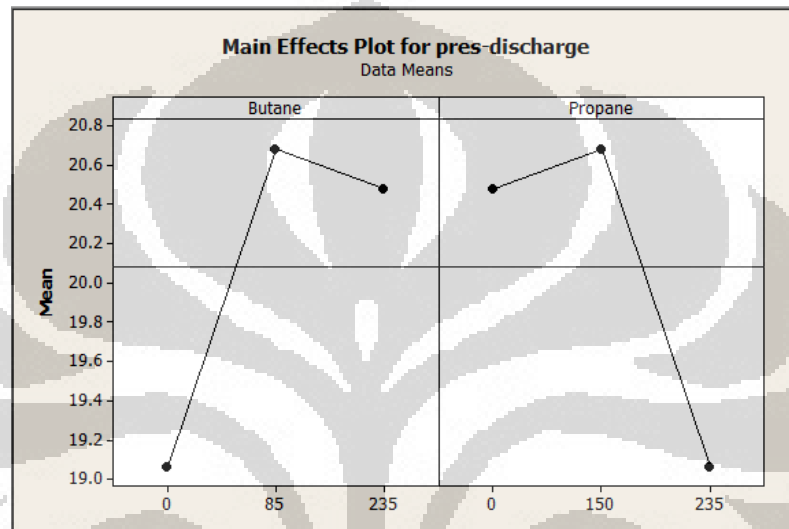
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 20.69432 | 19.31401 | 20.92163 |



Gambar 4.41. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan discharge

Tabel 4.21. Rata-rata tekanan discharge saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 20.48465 | 19.06714 | 20.68766 |



Gambar 4.42. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan discharge saat steady

4.2.2.11 Karakteristik Keseluruhan Campuran

Tabel 4.22. Temperatur rata-rata masing-masing titik

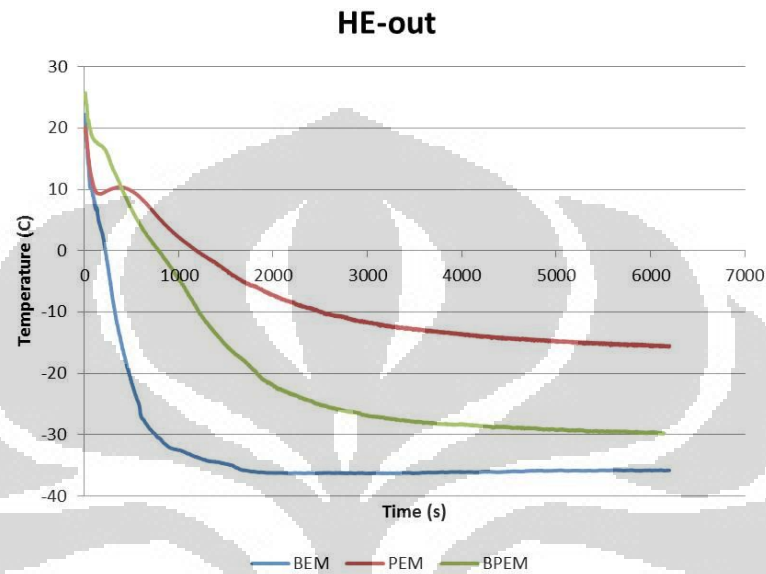
| Campuran | HE-out | suction | exp-out | discharge | HE-in | cond-out | evap-out | evap-in |
|----------|--------|---------|---------|-----------|--------|----------|----------|---------|
| BEM | -32.58 | 22.52 | -3.79 | 84.04 | -42.17 | 29.98 | -51.95 | -54.57 |
| PEM | -7.96 | 20.12 | -13.01 | 67.80 | -26.05 | 28.17 | -31.72 | -42.37 |
| BPEM | -19.81 | 22.83 | -13.61 | 73.07 | -40.18 | 29.17 | -50.76 | -56.52 |

Tabel 4.23. Tekanan rata-rata masing-masing titik

| Campuran | pres-suction | pres-discharge |
|----------|--------------|----------------|
| BEM | 2.693018 | 20.69432 |
| PEM | 1.640288 | 19.31401 |
| BPEM | 2.192222 | 20.92163 |

4.3 Analisis Data

4.3.1 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar dari Heat Exchanger

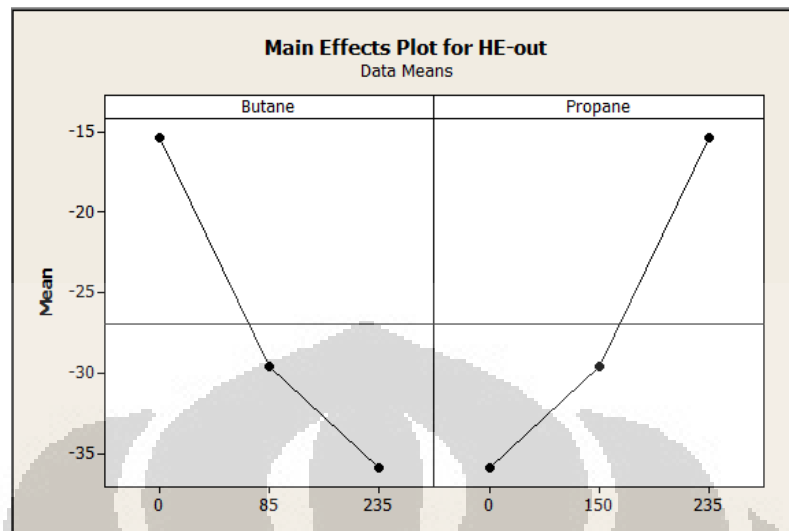


Gambar 4.43. Grafik temperatur keluar heat exchanger

Tabel 4.24. Rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady

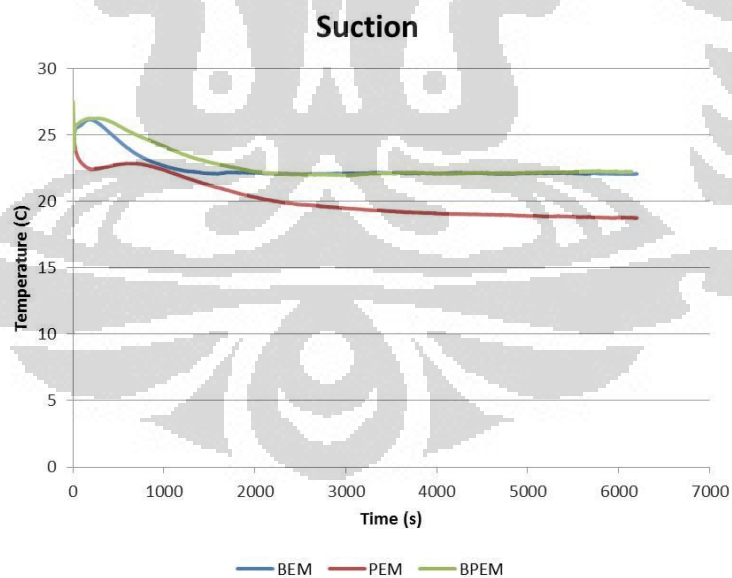
| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|---------|
| -35.8091 | -15.4118 | -29.598 |

Dari grafik dan tabel terlihat bahwa temperatur refrigeran yang keluar dari Heat Exchanger dipengaruhi oleh campuran refrigeran, temperatur keluar heat exchanger yang paling rendah adalah pada campuran butan, etan, dan metan dengan waktu pencapaian sekitar 30 menit.



Gambar 4.44. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar heat exchanger saat steady
 Dari grafik main effect terlihat bahwa penurunan temperatur keluar heat exchanger sebanding dengan komposisi butan pada campuran tersebut, semakin banyak komposisi butan maka temperatur keluar heat exchanger akan semakin rendah.

4.3.2 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Suction



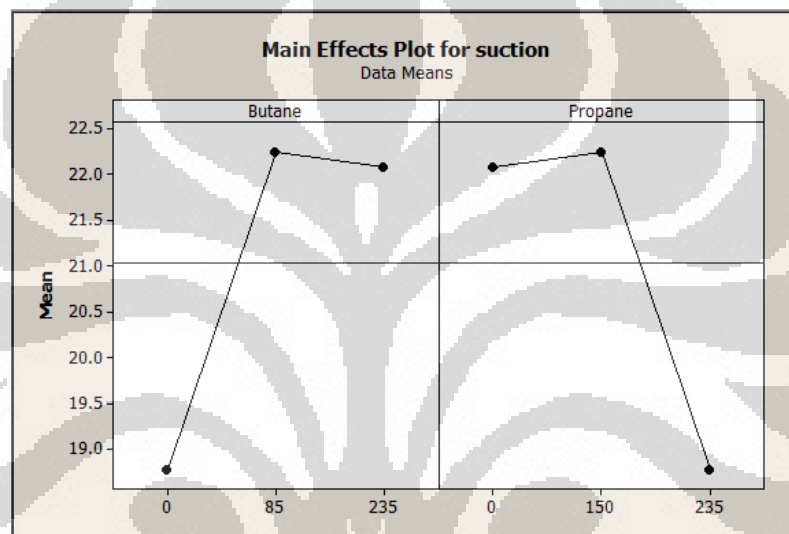
Gambar 4.45. Grafik temperatur suction

Tabel 4.25. Rata-rata temperatur suction saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|-----|-----|------|
| | | |

| | | |
|----------|----------|----------|
| 22.08525 | 18.78168 | 22.25674 |
|----------|----------|----------|

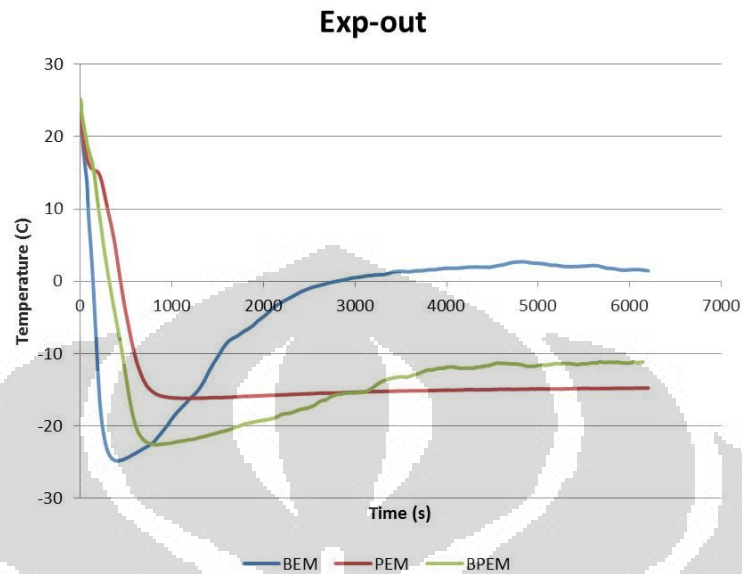
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa campuran refrigeran tidak terlalu berpengaruh terhadap temperatur suction, temperatur yang paling rendah adalah pada campuran propan etan, dan metan.



Gambar 4.46. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur suction saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa temperatur suction akan mencapai titik tertinggi apabila propan dan butan dicampurkandengan komposisi tertentu (pada percobaan empat komponen refrigeran). Temperatur terendah dicapai saat campuran propan, etan dan metan.

4.3.3 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar dari Ekspansi

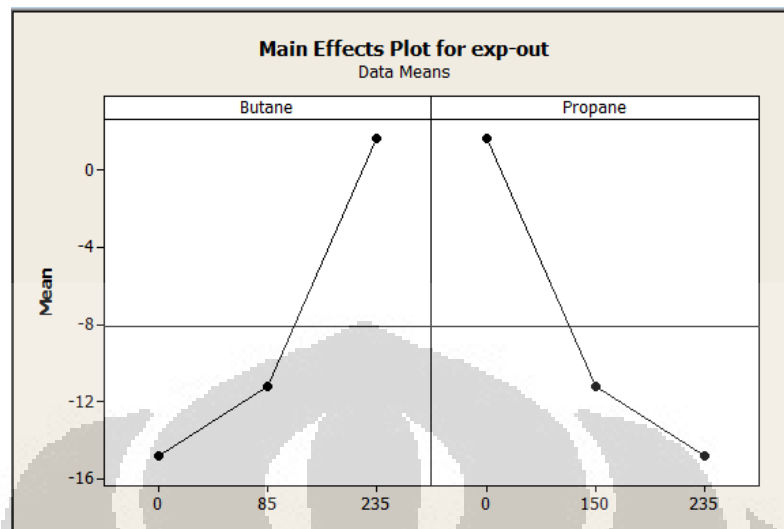


Gambar 4.47. Grafik temperatur keluar ekspansi

Tabel 4.26. Rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 1.650979 | -14.7732 | -11.2105 |

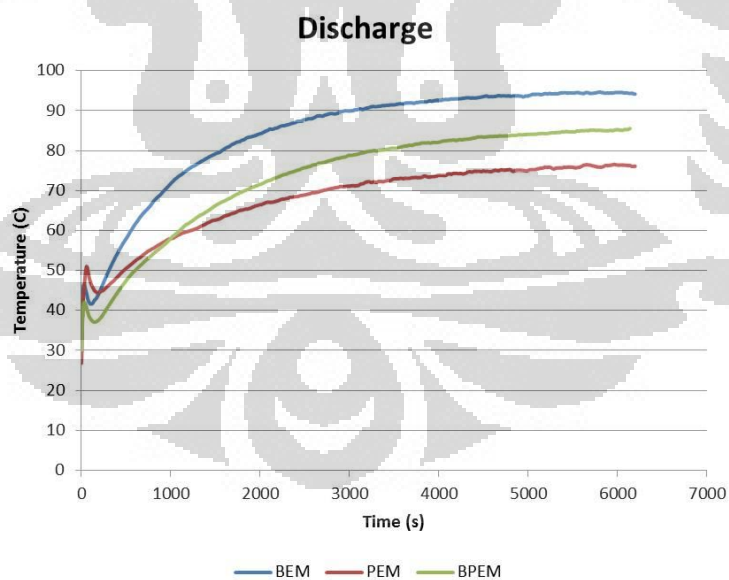
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa temperatur refrigeran yang keluar dari ekspansi dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran propan, etan, dan metan membuat temperatur keluar ekspansi menjadi lebih stabil dan memberikan temperatur steady yang lebih dingin.



Gambar 4.48. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar ekspansi saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa penurunan temperatur keluar evaporator sebanding dengan komposisi propan pada campuran tersebut, semakin banyak komposisi propan maka temperatur keluar evaporator akan semakin rendah.

4.3.4 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Discharge

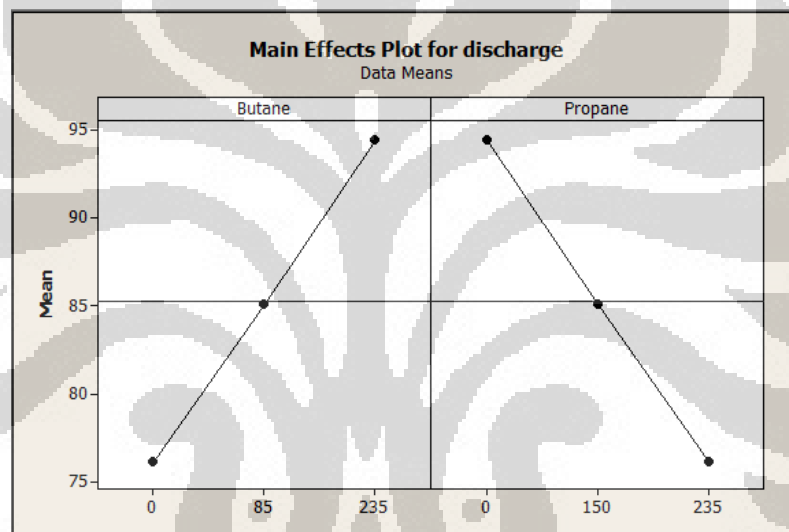


Gambar 4.49. Grafik temperatur discharge

Tabel 4.27. Rata-rata temperatur discharge saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 94.43992 | 76.21905 | 85.10324 |

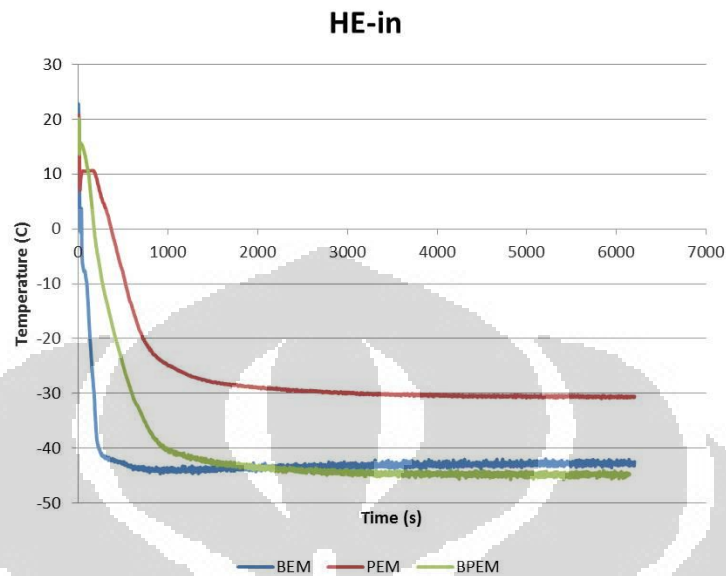
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa campuran propan, etan, dan metan membuat temperatur discharge menjadi lebih rendah, temperatur discharge yang rendah menunjukkan bahwa kerja kompresor juga tidak terlalu berat.



Gambar 4.50. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur discharge saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa penurunan temperatur discharge sebanding dengan komposisi propan pada campuran tersebut, semakin banyak komposisi propan maka temperatur discharge akan semakin rendah.

4.3.5 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Masuk Heat Exchanger

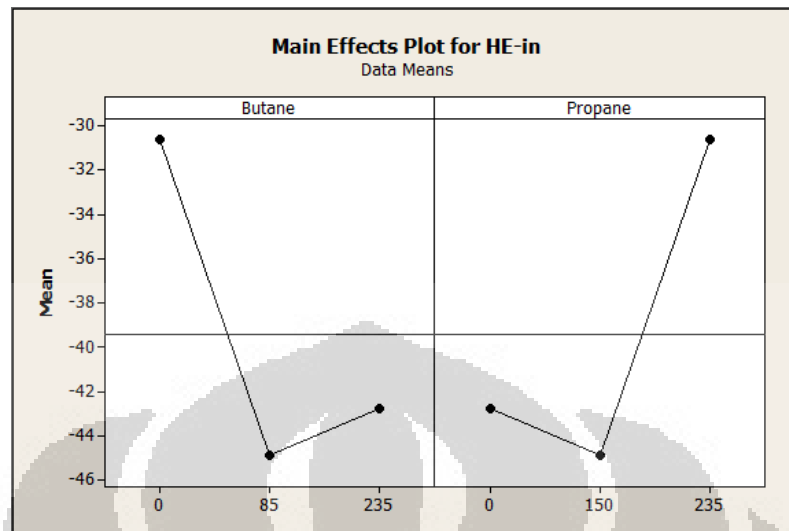


Gambar 4.51. Grafik temperatur masuk heat exchanger

Tabel 4.28. Rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| -42.7774 | -30.6232 | -44.8334 |

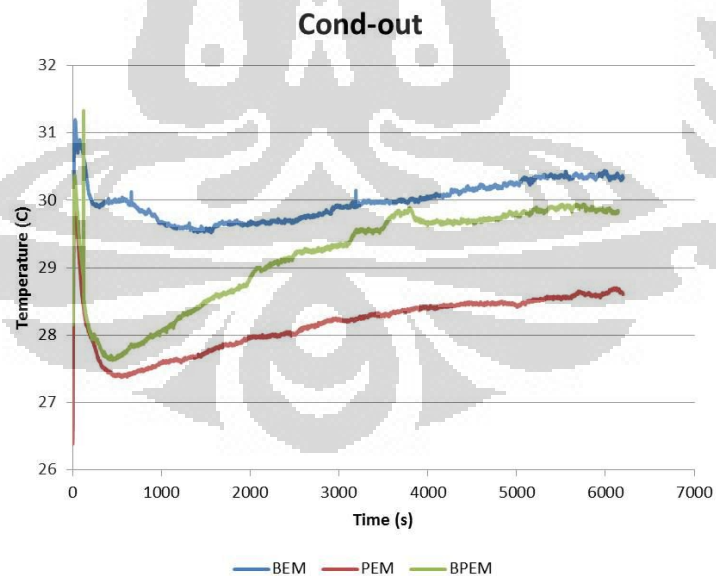
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa temperatur refrigeran yang masuk heat exchanger dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran propan etan, dan metan mengakibatkan temperatur masuk heat exchanger menjadi lebih tinggi.



Gambar 4.52. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk heat exchanger saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa temperatur masuk heat exchanger akan mencapai titik terendah apabila propan dan butan dicampurkan dengan komposisi tertentu (pada percobaan empat komponen refrigeran).

4.3.6 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar Kondenser

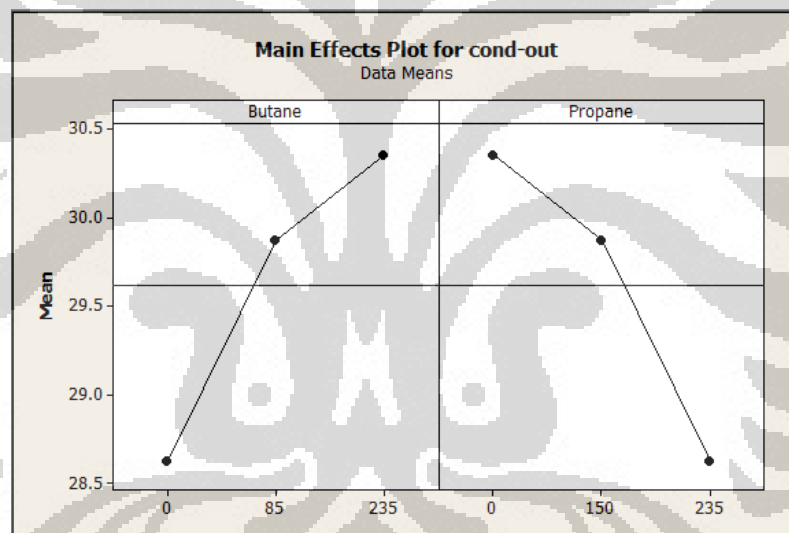


Gambar 4.53. Grafik temperatur keluar kondenser

Tabel 4.29. Rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|---------|----------|
| 30.35807 | 28.6254 | 29.87301 |

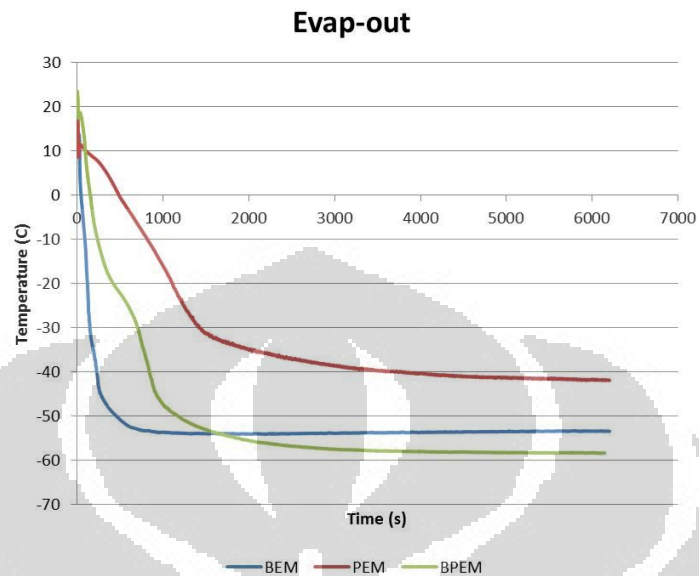
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa temperatur refrigeran yang keluar dari kondenser dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran propan, etan, dan metan membuat temperatur keluar kondenser menjadi lebih rendah hal ini juga disebabkan oleh temperatur discharge pada percobaan ini juga lebih rendah.



Gambar 4.54. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar kondenser saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa penurunan temperatur keluar kondenser sebanding dengan komposisi propan pada campuran tersebut, semakin banyak komposisi propan maka temperatur keluar condenser akan semakin rendah.

4.3.7 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Keluar Evaporator

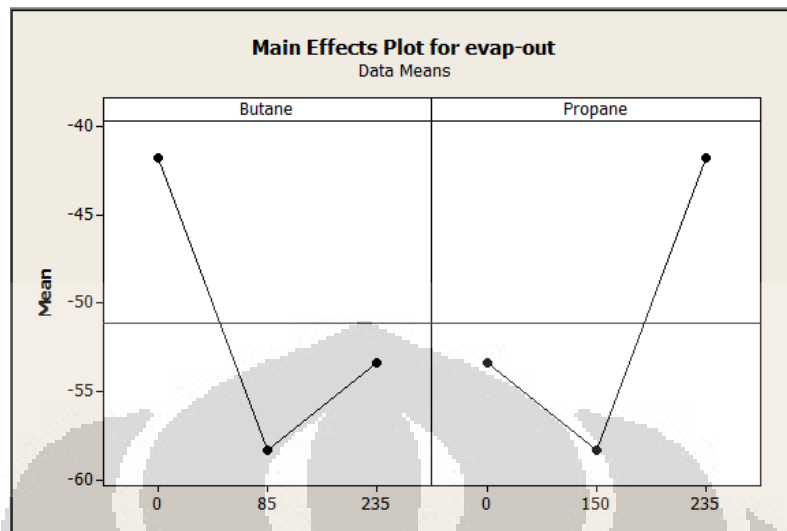


Gambar 4.55. Grafik temperatur keluar evaporator

Tabel 4.30. Rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|---------|----------|
| -53.3679 | -41.741 | -58.2825 |

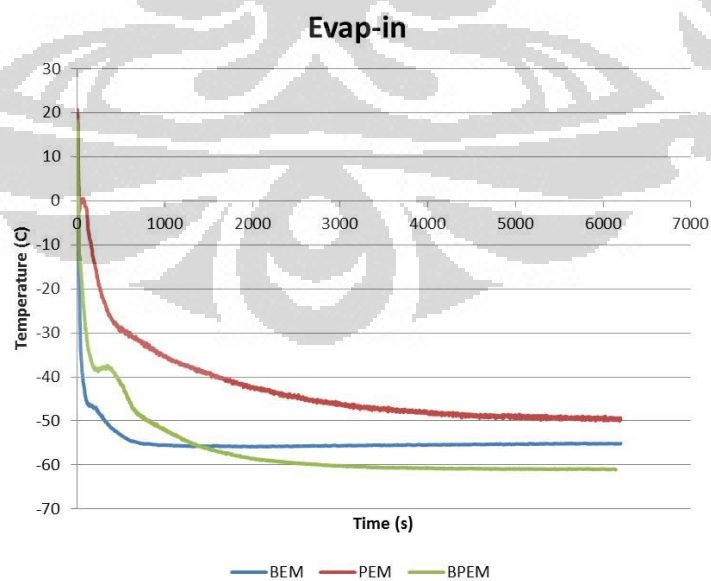
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa temperatur refrigeran yang keluar dari evaporator dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran dengan empat komponen refrigeran menunjukkan angka yang lebih rendah tetapi grafik menunjukkan bahwa campuran butan, etan, dan metan cenderung lebih cepat stabil dibandingkan dua campuran yang lain.



Gambar 4.56. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur keluar evaporator saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa temperatur keluar evaporator akan mencapai titik terendah apabila propan dan butan dicampurkan dengan komposisi tertentu (pada percobaan empat komponen refrigeran) dengan kecenderungan bahwa campuran butan, etan, dan metan menghasilkan temperatur yang lebih rendah daripada campuran propan, etan, dan metan.

4.3.8 Pengaruh Campuran terhadap Temperatur Masuk Evaporator

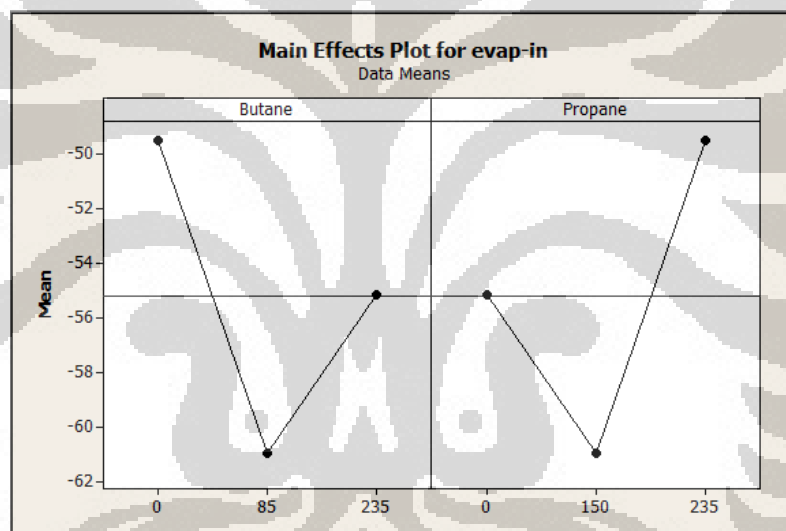


Gambar 4.57. Grafik temperatur masuk evaporator

Tabel 4.31. Rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|---------|
| -55.1493 | -49.4732 | -60.931 |

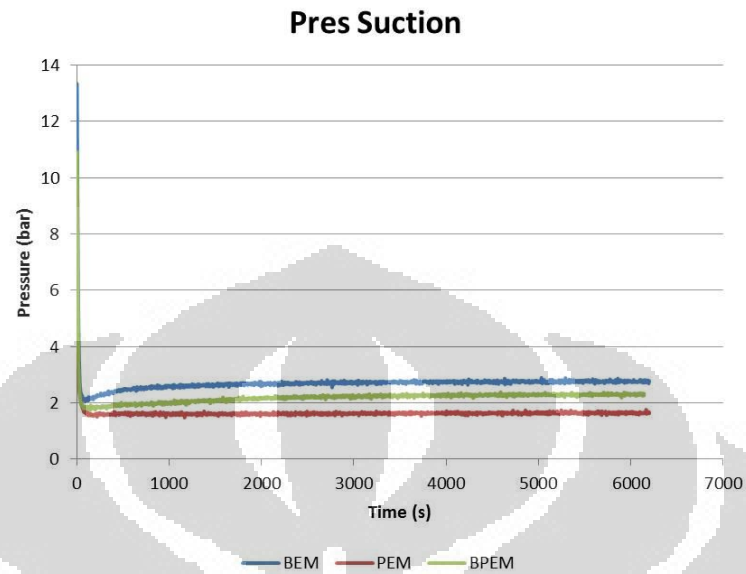
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa temperatur refrigeran yang masuk ke evaporator dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran dengan empat komponen refrigeran menunjukkan angka yang lebih rendah tetapi grafik menunjukkan bahwa campuran butan, etan, dan metan cenderung lebih cepat stabil dibandingkan dua campuran yang lain.



Gambar 4.58. Grafik mean effect untuk rata-rata temperatur masuk evaporator saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa temperatur masuk evaporator akan mencapai titik terendah apabila propan dan butan dicampurkan dengan komposisi tertentu (pada percobaan empat komponen refrigeran) dengan kecenderungan bahwa campuran butan, etan, dan metan menghasilkan temperatur yang lebih rendah daripada campuran propan, etan, dan metan.

4.3.9 Pengaruh Campuran terhadap Tekanan Suction

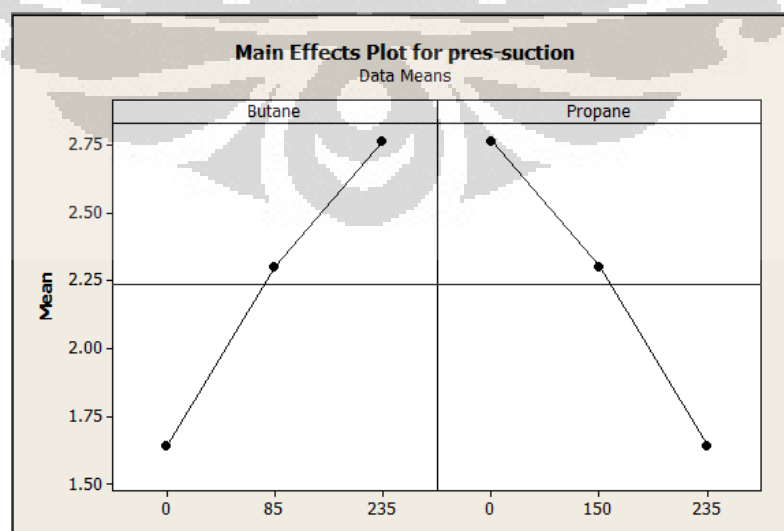


Gambar 4.59. Grafik tekanan suction

Tabel 4.32. Rata-rata tekanan suction saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 2.762214 | 1.640949 | 2.299947 |

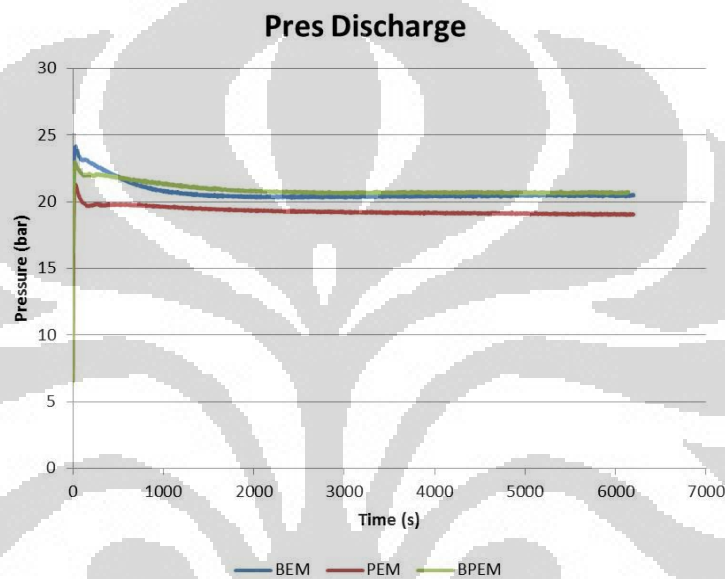
Dari grafik dan tabel terlihat bahwa tekanan suction dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran propan, etan, dan metan cenderung memiliki tekanan suction yg lebih rendah daripada campuran yang lain.



Gambar 4.60. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan suction saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa penurunan tekanan suction sebanding dengan komposisi propan pada campuran tersebut, semakin banyak komposisi propan maka tekanan suction akan semakin rendah.

4.3.10 Pengaruh Campuran terhadap Tekanan Discharge

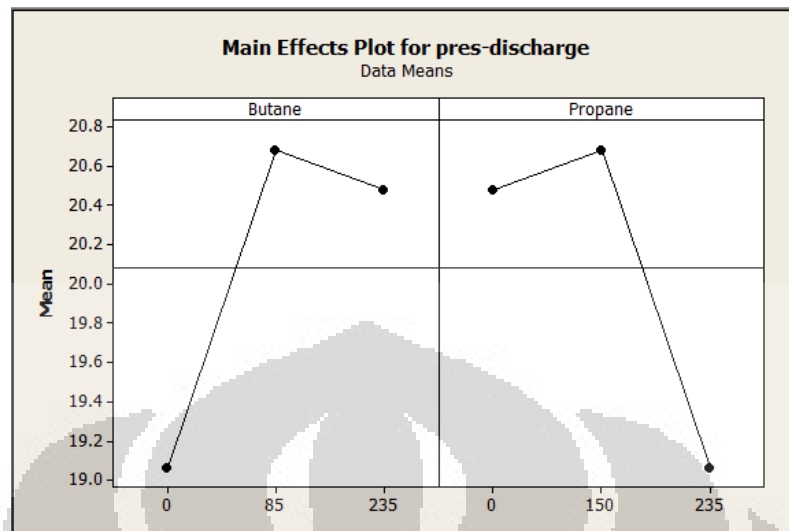


Gambar 4.61. Grafik tekanan discharge

Tabel 4.33. Rata-rata tekanan discharge saat steady

| BEM | PEM | BPEM |
|----------|----------|----------|
| 20.48465 | 19.06714 | 20.68766 |

Dari grafik dan tabel terlihat bahwa tekanan discharge dipengaruhi oleh campuran refrigeran, campuran propan, etan, dan metan cenderung memiliki tekanan discharge yg lebih rendah daripada campuran yang lain.



Gambar 4.62. Grafik mean effect untuk rata-rata tekanan discharge saat steady

Dari grafik main effect terlihat bahwa tekanan discharge akan mencapai titik tertinggi apabila propan dan butan dicampurkan dengan komposisi tertentu (pada percobaan empat komponen refrigeran). Tekanan terendah dicapai saat campuran propan, etan dan metan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kasimpulan yang dapat diambil dari percobaan ini adalah:

1. Campuran butan, etan, dan metan akan mengakibatkan penurunan temperatur keluar heat exchanger, dan menghasilkan temperatur masuk evaporator, keluar evaporator, masuk heat exchanger lebih rendah daripada campuran propan, etan, dan metan serta menyebabkan sistem lebih cepat stabil.
2. Campuran propan, etan, dan metan akan mengakibatkan penurunan temperatur discharge, dan keluar condenser serta mengakibatkan tekanan suction lebih rendah.
3. Campuran butan, propan, etan, dan metan mengakibatkan penurunan temperatur masuk evaporator, keluar evaporator, masuk heat exchanger, serta menaikkan temperatur suction dan tekanan discharge.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya lebih baik mengarah pada optimalisasi desain separator serta mencoba memodifikasi siklus untuk mengoptimalkannya agar tidak ada kalor yang terbuang.

DAFTAR PUSTAKA

- Apra. C, Maiorino. A. 2009. *Autocascade refrigeration system: Experimental result in achieving ultra low temperature*. International Jurnal Of Energy Research. DOI : 10.1002/er.1492
- ASHRAE Handbook. 2006. *Refrigeration System and Applications (SI)*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineer. Atlanta. Georgia.
- Bubbico, Roberto. *Gas-Liquid Separators* . Departmen of Chemical Engineering University of Rome
- Chen. Guangming. 2007. *Research of Refrigeration in Zhejiang University*. Presentation Institute Of Refrigeration And Ultra lows Zhejiang University P.R China. Warwick. 26 April 2007
- Cox.N. 2007. *Working towards more environmentally friendly Refrigerant Blends*. 12th European Conference. Milano. Italy. Juni 8 – 9. 2007
- Darwin Rio Budi Syaka. **Nasruddin**. 2008. *Analisa Termodinamika Pemilihan Refrigeran Pada Sistem Refrigerasi Cascade*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)-VII. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Manado. 4 – 6 November.
- Du. Kai, Zhang. Shaoqian, Xu. Weirong, Niu. Xiofeng. 2008. *A study on the cycle characteristics of an auto-cascade refrigeration system*. International Jurnal Of Refrigeration. 33 (2008):240-245
- Gong. M.Q, Luo.E.C, Wu.J.F, Zhou.Y. 2002. *On the temperature distribution in the counter flow heat exchanger with multicomponent non-azeotropic mixtures*. Ultra lows. 42 (2002):729-804
- Kharagpur. *Refrigeration and Air Conditioning*. EE IIT. India. 2008
- Kim. S.G, Kim. M.S. 2001. *Experiment and simulation on the performance of an autocascade refrigeration system using carbon dioxide as a refrigerant*. International Jurnal Of Refrigeration. 25 (2002):1093-1101
- Kreith. Frank, alih bahasa Arko Prijono. 1994. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. edisi ketiga. Penerbit Erlangga. Jakarta

- Missimer. Dale J. 1996.*Refrigerant conversion of Auto-Refrigerating Cascade (ARC) systems*. International Jurnal Of Refrigeration. Vol. 20. No.3.pp :201-207
- Naer. Vjacheslav, Rozhentsev. Andrey, 2002.*Application of hydrocarbon mixtures in small refrigerating and ultra low machines*. International Jurnal Of Refrigeration. 25 (2002):836-847
- Venkatarathnam. G. 2008.*Cryogenic Mixed Refrigerant Processes*. www.springer.com/series/6086
- Yu.Jianlin.Zhao.Hua. Li. Yanzhong. 2008.*Application of an ejector in aut cascade refrigeration cycle for the performance improvement*. International Jurnal Of Refrigeration. 31 (2008):279-28
- Yuliono, Ardi. 2010. *Optimalisasi Pipa Kapiler Diameter 0.028 Inch Pada Mesin Pendingin Autocascade Dengan Campuran Refrigeran Hidrokarbon*.

