



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSOR
PADA PENGERING BEKU VAKUM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**MUHAMAD IQBAR
0806368755**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

ANALISA PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSOR PADA PENGERING BEKU VAKUM

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Penulisan skripsi ini dibuat bersama **Mochamad Taufik** dengan judul skripsi ” **Laju Pengerinan Pada Pengerin Beku Vakum Untuk Aloe Vera Dan Teripang** ” sehingga tidak terdapat kata-kata atau kalimat yang sama pada judul skripsi.

Nama : Muhamad Iqbar

NPM : 0806368755

Tanda Tangan :



Tanggal : 10 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhamad Iqbar
NPM : 0806368755
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Pemanfaatan Panas Buang
Kondensor Pada Pengering Beku Vakum

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir. M.Idrus Alhamid
Pembimbing : Dr.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng
Penguji : Ir. Rusdy Malin, MME
Penguji : Dr.Ir. Budihardjo. Dipl.Ing

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 10 Januari 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan do'a dan dukungannya kepada saya untuk tetap semangat.
2. Dr.Ir M Idrus Alhamid dan Dr.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng , selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Muhamad Yulianto ST.MT yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
4. Mochamad Taufik sebagai teman satu tim yang solid yang selalu bersemangat, kreatif dan aktif dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Teman – teman Lab Pendingin Gangka, Luthfi, Kuncoro, Luki, Hilman, Insan, Arnas, Bayu, Iqbal dan Hanan yang banyak memberikan saran, bantuan, motivasi dan inspirasi dalam mengerjakan skripsi.
6. Teman – teman PPSE 2008 yang telah banyak membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

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

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

Nama : Muhamad Iqbar
NPM : 0806368755
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISA PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSOR PADA
PENGERING BEKU VAKUM**

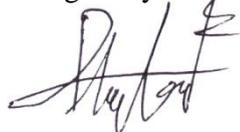
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Januari 2011

Yang menyatakan



(Muhamad Iqbar)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Iqbar

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Analisa Pemanfaatan Panas Buang Kondensor Pada Pengering Beku Vakum.

Pengeringan beku diakui sebagai metode pengeringan terbaik tetapi sangat intensif energi yang disebabkan dua hal yaitu proses pembekuan pada tekanan yang berbeda dengan pengeringan dan perambatan panas yang lambat selama sublimasi. Proses pembekuan dalam hal ini dihasilkan dari perubahan tekanan dalam suatu tabung vakum yang mengacu pada diagram fasa air dimana seiring dengan penurunan tekanan maka akan terjadi penurunan temperatur dalam suatu ruang sehingga jika suatu produk yang dijadikan sebagai eksperimen diletakkan didalamnya maka akan terjadi proses pembekuan. Seiring dengan pembekuan produk kemudian dilanjutkan dengan proses pemanasan untuk mencapai titik sublimasi sehingga terjadi proses pengeringan. Untuk mengatasi perambatan panas yang lambat selama sublimasi maka diusulkan penyelesaian dengan penggunaan pemanas yang memanfaatkan panas buang dari kondensor. Dengan demikian diharapkan pemakaian energi pada proses pengeringan beku berkurang. Pemakaian pemanas yang terdiri dari pemanas atas dan bawah divariasikan pada temperatur tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pemanas mengakibatkan meningkatnya beban pendinginan yang diterima evaporator dan pengaturan pemanas yang dilakukan secara manual mengakibatkan terjadinya fluktuasi temperatur evaporator pada saat awal pengoperasian pemanas.

Kata kunci :

Pengeringan beku vakum, pemanfaatan panas buang kondensor, beban pendinginan.

ABSTRACT

Name : Muhamad Iqbar

Study Program : Mechanical Engineering

Title : Analysis of waste heat recovery condenser in a vacuum freeze drying.

Freeze drying is recognized as the best drying method but it is highly energy intensive due to two things: the freezing process at different pressures with heat drying and slow propagation during sublimation. Freezing process in this case resulting from the change in pressure in a vacuum tube which refers to the phase diagram along with the decrease of water where there will be a decrease in pressure in a room temperature so that if a product is used as an experiment placed in it there will be a process pembekukan. Along with the freezing of the product is then followed by a heating process to achieve sublimation point resulting in the drying process. To overcome the slow heat propagation during sublimation, the proposed settlement with the use of heaters that utilize waste heat from the condenser. Thus the expected power consumption in the process of freeze drying is reduced. Usage of heater which consists of upper and lower heater was varied in temperature. The result showed that the use of heater resulted in the increased cooling load received by the evaporator and heater settings are done manually resulting in temperature fluctuations at the beginning of the operation of the heater.

Key words: *Vacuum Freeze Drying, utilization of waste heat condensor , cooling load.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT ..	vii
DAFTAR ISI ..	viii
DAFTAR GAMBAR	xi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

2. DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan	5
2.1.1 Definisi Pengeringan Beku	6
2.1.2 Komponen-komponen Utama Pengeringan Beku Vakum	9
2.1.3 Siklus Ideal Sistem Refrigerasi	10
2.1.4 Komponen – Komponen Sistem Refrigerasi	12
2.2 Perpindahan Kalor	21
2.2.1 Konduksi	21
2.2.2 Konveksi	22
2.2.3 Radiasi	23
2.3 Beban Pendinginan	23
2.3.1 Beban Bagian Dalam (<i>Internal Loads</i>).....	24
2.3.2 Beban Dinding	24
2.3.3 Beban Produk	25
2.3.4 Beban Lainnya	25

3. METODA PENGUJIAN

3.1 Komponen Sistem.....	26
3.1.1 Pompa Vakum.....	26
3.1.2 Termokopel.....	27
3.1.3 <i>Pressure Transmitter</i>	27
3.1.4 <i>National Instrumment</i>	28

3.1.5 Power Supply	28
3.1.6 National Instrument Lab View 8.5	29
3.1.7 Timbangan Digital.....	30
3.2 Parameter Pengujian	30
3.2.1 Tekanan.....	30
3.2.2 Temperatur.....	31
3.3 Persiapan Pengujian	31
3.3.1 Persiapan Material Uji.....	31
3.3.2 Pemeriksaan Sistem Refrigerasi.....	32
3.3.3 Pengujian Kebocoran Ruang Uji.....	33
3.4 Pengujian	34
3.5 Diagram Alir Pengujian	35
BAB 4 ANALISA DATA	
4.1 Pengujian Tanpa Penggetar	36
4.1.1 Pengujian Tanpa Pemanas	36
4.1.2 Pengujian Dengan Pemanas Atas Pada Temperatur Maksimum	37
4.1.3 Pengujian Dengan Pemanas Bawah Pada Temperatur Maksimum	39
4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Penggetar.....	40
4.2.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Pemanas	40
4.2.2 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 28°C	42
4.2.3 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 30°C	43
4.2.4 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 28°C	45
4.2.5 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 30°C	46
4.3 Pengujian Dengan Menggunakan Wadah Bertingkat	48
4.3.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Pemanas	48
4.3.2 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 28°C	49
4.3.3 Pengujian Dengan Pemanas Atas Pada Temperatur Maksimum.....	51
4.3.4 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 28°C	52
4.3.5 Pengujian Dengan Pemanas Bawah Temperatur Maksimum.....	53
4.4 Pengujian Material Teripang	55
4.4.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Pemanas	55
4.4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 28°C	56
4.4.3 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 30°C	58
4.4.4 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 28°C	59
4.4.5 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 30°C	61
4.4 Analisa Nilai Fraksi Uap	62
BAB 5 KESIMPULAN	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fase Air	7
Gambar 2.2 Perubahan Fase Air.....	7
Gambar 2.3 <i>Freeze Vacuum Drying</i>	9
Gambar 2.4 Siklus Refrigerasi	10
Gambar 2.5. <i>Refrigeration unit</i>	12
Gambar. 2.6.Kompresor.....	13
Gambar 2.7. Kondensor	14
Gambar 2.8. Katup Ekspansi.....	15
Gambar.2.9. <i>Orifice</i>	15
Gambar 2.10 Evaporator sebagai <i>cold trap</i>	16
Gambar 2.11 <i>Oil Separator</i>	18
Gambar 2.12 <i>Filter Dryer</i>	18
Gambar 2.13 <i>Accumulator</i>	19
Gambar 2.14 <i>Sight Glass</i>	19
Gambar 2.15 <i>Shut – off valve</i>	20
Gambar 2.16 <i>Check valve</i>	20
Gambar 2.17 <i>Pressure Gauge</i>	21
Gambar 3.1 Pompa Vakum.....	26
Gambar 3.2. Termokopel tipe K.....	27
Gambar 3.3. <i>Pressure Transmitter</i>	28
Gambar 3.4. <i>Power Supply</i>	29
Gambar 3.5. Timbangan Digital.....	30
Gambar 3.6. Diagram Alir Pengujian	35
Gambar.4.1. Grafik perbandingan temperature pada pengujian tanpa menggunakan pemanas	36
Gambar.4.2. Grafik beban pendinginan pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.....	37
Gambar.4.3. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas pada temperatur maksimum	38

Gambar.4.4. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas pada temperatur maksimum.....	38
Gambar.4.5. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah pada temperatur maksimum	39
Gambar.4.6. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah pada temperatur maksimum.....	40
Gambar.4.7. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan penggetar tanpa pemanas.....	41
Gambar 4.8. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar tanpa pemanas	41
Gambar.4.9. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 28°C.....	42
Gambar.4.10. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 28°C	43
Gambar.4.11. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 30°C.....	44
Gambar.4.12. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 30°C	44
Gambar.4.13. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 28°C.....	45
Gambar.4.14. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 28°C	46
Gambar.4.15. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 30°C.....	47
Gambar.4.16. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 30°C	47
Gambar.4.17. Grafik perbandingan temperature pada pengujian tanpa menggunakan pemanas	48
Gambar.4.18. Grafik beban pendinginan pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.....	49
Gambar.4.19. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas 28°C	50

Gambar.4.20. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas 28°C.....	50
Gambar.4.21. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas maksimum.....	51
Gambar.4.22. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas maksimum.....	51
Gambar.4.23. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas bawah 28°C.....	52
Gambar.4.24. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas 28°C.....	53
Gambar.4.25. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas bawah maksimum.....	54
Gambar.4.26. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas bawah maksimum.....	54
Gambar.4.27. Grafik perbandingan temperature pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.....	55
Gambar.4.28. Grafik beban pendinginan pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.....	55
Gambar.4.29. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 28°C.....	56
Gambar.4.30. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 28°C.....	57
Gambar.4.31. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 30°C.....	58
Gambar.4.32. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 30°C.....	58
Gambar.4.33. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 28°C.....	59
Gambar.4.34. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 28°C.....	60
Gambar.4.35. Grafik perbandingan temperature pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 30°C.....	61

Gambar.4.36. Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 30°C..... 61



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki kekayaan sumber daya alam hayati yang sangat besar. Tanah yang subur menjadikan pertanian Indonesia dapat menghasilkan berbagai hasil unggulan selain itu Indonesia memiliki kekayaan alam berupa biota laut yang sangat beraneka ragam. Sumber daya alam ini dapat dimanfaatkan dengan berbagai cara misalnya diolah sebagai bahan pangan dan dijadikan bahan pembuat obat – obatan. Guna mencapai hasil tersebut maka diperlukan proses lanjutan terhadap hasil sumber daya alam tersebut. Salah satu proses yang dapat diterapkan adalah proses pengeringan.

Proses pengeringan pada umumnya bertujuan untuk mengawetkan, dengan menghilangkan kandungan air dari suatu material yang diharapkan dapat menghambat atau bahkan menghentikan laju pertumbuhan mikroorganisme yang dapat mengakibatkan suatu material menjadi busuk sehingga tidak dapat dimanfaatkan lagi. Terdapat beberapa cara untuk mengeringkan suatu material tergantung pada metoda yang digunakan dan waktu pengeringan. Pengeringan beku merupakan salah satu teknik pengeringan terbaik walaupun tentunya terdapat beberapa kelemahan dari teknik pengeringan ini.

Pengeringan beku dapat menghasilkan produk yang sangat baik akan tetapi pengeringan beku sangat intensif energi hal ini dikarenakan oleh proses pembekuan pada tekanan yang berbeda dengan pengeringan dan perambatan panas yang lambat selama sublimasi. Untuk mengatasi hal ini maka digunakan beberapa cara diantaranya memanfaatkan panas terbuang yang berasal dari kondensor dan penambahan komponen berupa penggetar. Cara tersebut bertujuan untuk mempercepat laju perambatan panas selama sublimasi sehingga pengeringan beku dapat dilakukan dalam waktu yang relatif lebih cepat yang tentunya akan berakibat pada berkurangnya jumlah konsumsi energi selama pengeringan.

Proses pengeringan beku terbagi atas dua tahapan yaitu proses pembekuan dan proses pengeringan. Proses pembekuan dilakukan dengan cara penurunan tekanan menggunakan pompa vakum. Pembekuan ini didasarkan pada penurunan titik didih air pada tekanan rendah. Proses lanjutan setelah material membeku adalah proses pengeringan. Material menjadi kering setelah mengalami sublimasi. Perambatan panas selama sublimasi sangatlah lambat, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan komponen pemanas yang mana panasnya berasal dari panas terbuang kondensor. Penggunaan pemanas tersebut cukup mempengaruhi sistem secara keseluruhan, khususnya sistem refrigerasi dari pengering beku vakum. Hal inilah yang menjadi subyek penelitian dengan sasaran khusus yaitu menganalisa pengaruh penggunaan panas buang kondensor terhadap kinerja sistem refrigerasi pada pengering beku vakum.

1.2 Perumusan Masalah

Untuk menyempurnakan pengering beku vakum yang telah dibuat pada skripsi sebelumnya, maka dalam skripsi ini akan dibahas mengenai analisa penggunaan pemanas yang sumber panasnya berasal dari panas buang kondensor. Dalam pengoperasiannya dilakukan beberapa variasi yang meliputi variasi temperatur pemanas, variasi penggunaan pemanas yaitu penggunaan pemanas atas dan bawah serta pengaruh panjang pipa pemanas terhadap kinerja sistem refrigerasi.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- Melakukan analisa sistem refrigerasi yang terdapat pada pengering beku vakum sehingga dapat menghasilkan pengembangan desain pengering beku vakum yang optimum.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan materi yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Membahas sistem refrigerasi dari pengering beku vakum tanpa membahas proses pengeringan yang terjadi.
- Membahas pengaruh penggunaan variasi temperatur pemanas dan posisi pemanas terhadap kinerja sistem refrigerasi.
- Membahas beban pendinginan dan pengaruh panjang pipa pemanas guna mendapatkan kinerja mesin yang optimal.

1.5 Metodologi Penulisan

Metodologi penulisan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi yang berkaitan dengan materi yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, jurnal dan informasi dari media internet. Tugas akhir ini adalah lanjutan dari tugas akhir sebelumnya yang membahas mengenai rancang bangun pengering beku vakum, oleh karena itu dalam pelaksanaannya tugas akhir ini banyak mengacu pada tugas akhir tersebut.

2. Modifikasi Pengering Beku Vakum

Modifikasi ini meliputi beberapa proses pengerjaan diantaranya, melakukan perancangan ulang komponen dan sistem pemipaan, penggantian dan penambahan komponen seperti kompresor dan alat ukur baik tekanan maupun temperatur, serta melakukan proses kalibrasi terhadap alat ukur.

3. Pengujian Pengering Beku Vakum

Setelah semua komponen terpasang maka dilakukan pemeriksaan secara keseluruhan sebelum melakukan pengujian. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi pengujian kebocoran dan pembacaan alat ukur. Proses selanjutnya adalah pengujian atau proses pengambilan data berupa tekanan, temperatur

dan perubahan massa dari material yang dikeringkan. Data ini selanjutnya akan dianalisa sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan .

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang pengertian pengering beku secara umum beserta keuntungan dan kerugiannya, sistem refrigerasi pada pengering beku vakum, beban pendinginan, proses perpindahan panas pada kondensor dan perancangan kondensor.

BAB 3 METODA PENGUJIAN

Bab ini berisi tentang deskripsi alat pengujian, skema kerja alat, prosedur pengujian, hasil pengujian dan bagan alur pengujian.

BAB 4 ANALISA DATA

Bab ini berisi tentang data yang diperoleh selama pengujian dan analisa mengenai data yang diperoleh sehingga selanjutnya dapat ditarik sebuah kesimpulan.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan berdasarkan data hasil pengujian yang telah dianalisa dan beberapa saran yang diberikan untuk menyempurnakan kinerja alat.

BAB 2

DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori – teori yang mendasari pembuatan skripsi. Beberapa dasar teori digunakan dalam perhitungan dan analisa hasil pengujian. Selain itu terdapat beberapa teori yang dijelaskan karena bahasan tersebut termasuk hal – hal yang terjadi selama pengujian. Dasar teori selengkapnya dibahas dibawah ini.

2.1 Pendahuluan

Pengeringan (*drying*), secara bahasa dapat diartikan memindahkan atau mengambil kandungan suatu zat cair dari benda padatnya, zat cair yang biasa kita pindahkan dari zat padat adalah air. Sedangkan zat padatnya bisa bermacam-macam, contohnya saat kita selesai mencuci baju maka kita hendak melakukan proses pengeringan pada baju kita, maka yang bertindak sebagai zat padat adalah kain baju kita, sedangkan yang menjadi zat cairnya adalah air yang berada dalam baju tersebut.

Metode yang dikembangkan untuk pengeringan ini amat beraneka ragam, dengan berbagai karakteristiknya. Keragaman karakteristik ini mencakup ukuran bahan yang dapat dikeringkan, waktu pengeringan, biaya, tekanan saat operasi, panas yang dapat dipindahkan dan karakteristik lainnya. Mujumdar dan Devahastin dalam bukunya mengatakan bahwa tidak ada satu prosedur perancangan khusus yang mungkin diterapkan untuk seluruh atau beberapa jenis mesin pengering sekalipun. Karena itu saat mencoba untuk merancang mesin pengering atau menganalisa mesin pengering perlu mengacu kembali pada dasar-dasar pindah panas, massa serta proses termodinamika yang dikaitkan dengan pengetahuan tentang sifat bahan. Secara matematis dapat dikatakan bahwa seluruh proses yang terlibat, meski pada mesin pengering yang paling sederhana sekalipun adalah sangat tidak linier dan karenanya pembesaran skala mesin pengering umumnya sangat sulit.

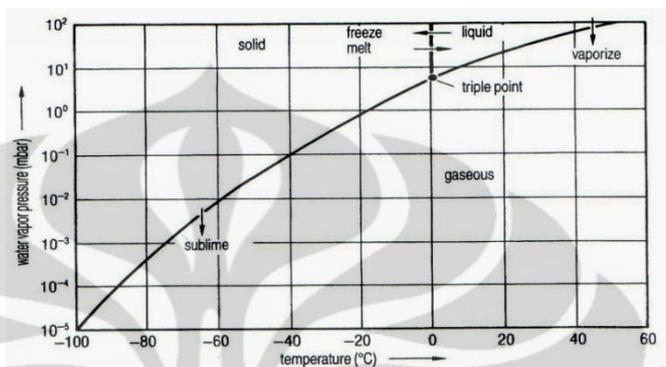
Ada beberapa masalah yang seringkali ditemui dalam proses pengeringan. Yang pertama adalah masalah yang berkaitan dengan mutu hasil pengeringan. Operasi yang dijalani dalam pengeringan adalah operasi yang cukup rumit yang meliputi perpindahan panas dan massa serta mungkin beberapa laju proses lain, seperti perubahan fisik atau kimia dari produk, yang mana hal-hal tersebut dapat saja menimbulkan perubahan mutu hasil. Perubahan fisik yang mungkin terjadi antara lain adalah pengerutan dan penggumpalan. Selain perubahan fisik, dapat pula terjadi perubahan kimia yang merubah aroma, warna, tekstur atau sifat padatan yang lain yang dihasilkan. Yang kedua adalah masalah kapasitas dari proses pengeringan itu sendiri, dimana kebutuhan pada saat ini yang cukup tinggi, sehingga perlu juga dipikirkan mengenai bagaimana membuat mesin pengering yang memiliki kapasitas besar. Kemudian masalah selanjutnya adalah yang berkaitan dengan kondisi dan sifat dari bahan yang dikeringkan cukup bervariasi, dan terkadang menuntut perlakuan khusus. Masalah-masalah ini menuntut adanya modifikasi dari proses pengeringan tradisional (dengan cara menjemur atau sekedar memanaskan) menjadi proses-proses pengeringan dengan karakter dan kemampuan yang lebih spesifik dan dengan sesuai dengan kebutuhan masing-masing produk.

2.1.1 Definisi Pengeringan Beku

Pengeringan beku atau *lyophilization* merupakan proses dimana suatu larutan dikristalkan terlebih dahulu pada temperatur rendah untuk kemudian mengalami proses sublimasi secara langsung dari padat menjadi uap (George – Wilhelm Oetjen, Peter Haseley).

Proses pengeringan beku kebanyakan dilakukan dengan air sebagai pelarutnya. Gambar 2.1.1 menunjukkan fase diagram air dan lokasi dimana kemungkinan terjadi perubahan fase dari padat ke uap. Proses ini relatif jelas terjadi pada air murni. Jika larutan terdiri dari beberapa komponen pelarut murni maka diperlukan penyederhanaan grafik sehingga proses menjadi lebih mudah dipahami. Kompleksitas diatas umumnya terjadi pada bahan-bahan *biological*.

Tujuan dari pengeringan beku adalah untuk menghasilkan bahan yang mempunyai stabilitas yang baik dan tidak berubah setelah dicampur dengan air kembali. Hal ini juga sangat dipengaruhi oleh perlakuan akhir setelah proses yakni pengemasan serta kondisi penyimpanan.



Gambar 2.1. Diagram fase dari air (Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 1)

Pada diagram fase air, zat padat akan menjadi kering jika zat cair pada zat padat menguap dan diambil oleh udara di sekitar zat padat tadi. Uap zat cair dari zat padat dapat diambil oleh udara dengan cara mengubah keadaan udara berdasarkan temperatur, kelembaban, laju aliran, tekanan dan lain sebagainya. Setiap zat akan mempunyai kesetimbangan bentuk baik sebagai padat, cair, maupun gas sesuai dengan kondisi tekanan dan temperatur dari zat tersebut. Akan tetapi ada suatu batas dimana air akan berbentuk padat, cair maupun gas, yaitu pada titik *triple point*. Perubahan fase dari air ke padat (es) kemudian ke bentuk uap yang dapat dilihat pada gambar 2.2 dimana setiap perubahan fase melalui proses yang berbeda-beda.



Gambar 2.2. Perubahan Fase Air

(http://images.google.co.id/imgres?imgurl=http://125.163.204.22/e_books/modul_online/geografi/MO_96/images/)

Transformasi air dari zat padat ke cair, kemudian ke bentuk gas dan perubahan yang lain disebut perubahan fase air. Ada enam perubahan fase pada air yaitu: padat ke cair (mencair), cair ke padat (membeku), cair ke gas (menguap), gas ke cair (kondensasi), padat ke gas (sublimasi), dan gas ke padat (deposisi). Untuk dua jenis perubahan fase terakhir (sublimasi dan deposisi) memerlukan kondisi yang ekstrim untuk bisa terjadi.

Keuntungan Penggunaan *Freeze Drying*

Seperti yang diketahui pengeringan beku dengan metode pemvakuman merupakan metode terbaik. Kenapa dikatakan terbaik karena memiliki beberapa keuntungan yaitu :

- Dengan proses pada temperatur rendah dapat mengurangi degradasi kandungan mineral pada bahan yang mempunyai sensitifitas panas tinggi.
- Dapat dilakukan penakaran yang akurat pada produk yang akan dikeringkan.
- Kandungan air dari produk akhir dapat dikendalikan selama proses berlangsung.
- Produk kering mempunyai penampilan yang bagus.
- Produk kering mempunyai *specific area* yang besar sehingga dapat mudah dilarutkan kembali dengan air.

Kerugian Penggunaan Pengering Beku

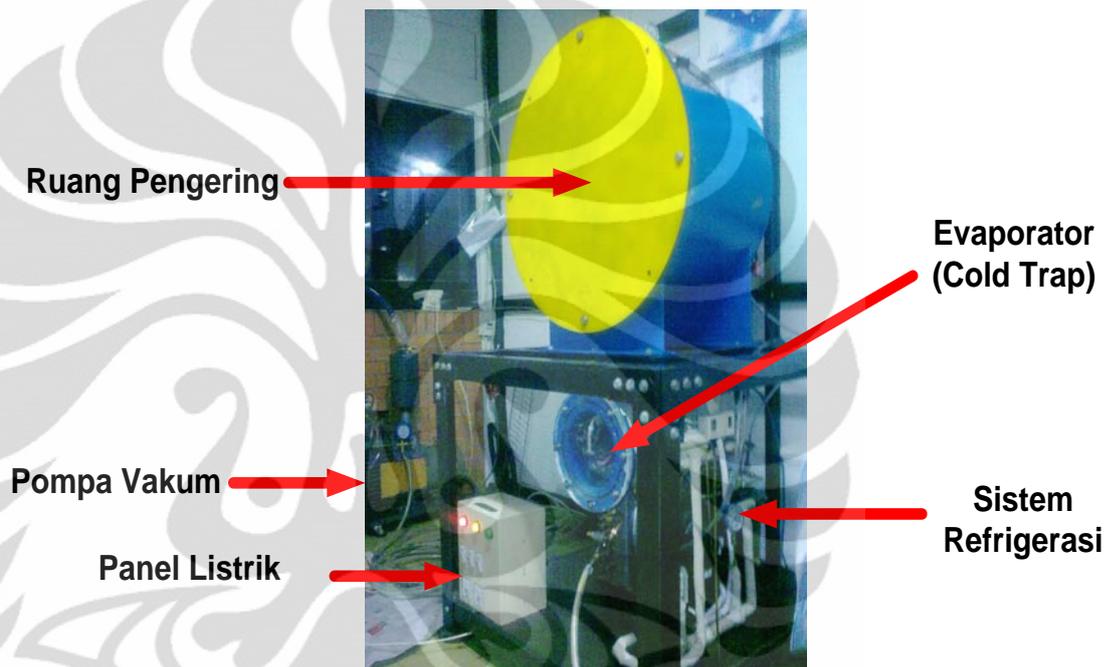
Selain memiliki kelebihan sistem pengering beku ini juga memiliki kerugian. Kerugiann itu antara lain :

- Biaya yang mahal pada pengadaan alat, pengoperasian serta perawatan.
- Kompleksitas proses serta peralatan membutuhkan tenaga ahli yang dapat saling bekerjasama dengan baik.

Universitas Indonesia

2.1.2 Komponen-komponen Utama Pengeringan Beku Vakum.

Komponen-komponen utama pengeringan beku sendiri terdiri dari macam-macam komponen yang mempunyai fungsi-fungsi yang berbeda tetapi dirakit menjadi satu sistem keseluruhan sehingga membentuk satu sistem baru, satu rangkaian yang berfungsi sebagai pengering beku. Komponen-komponen pengering beku ini meliputi :



Gambar 2.3. Freeze Vacuum Drying

- a. Ruang pengering (*chamber*) yang berisi pemanas atas dan bawah, dan tempat untuk meletakkan wadah sampel. Ruang pengering juga dilengkapi dengan *pressure transmitter* dan termokopel untuk pengukuran suhu ruang pengering, lapisan sampel, dan suhu pemanas.
- b. Perangkat uap (*cold trap*) yang merupakan alat untuk menangkap uap air selama sublimasi sehingga uap air tersebut tidak masuk ke pompa vakum.
- c. Sistem refrigerasi yang terdiri dari kompresor, kondenser, katup ekspansi, dan evaporator yang berfungsi untuk membekukan

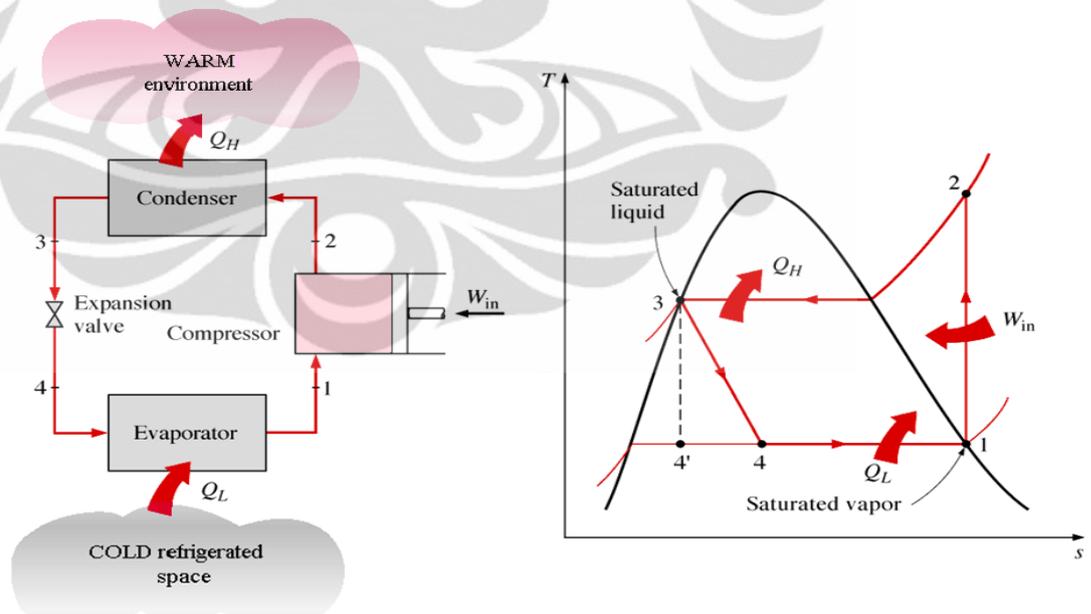
Universitas Indonesia

sampel ketika pengering beku ini menggunakan model pembekuan lempeng sentuh.

- d. Pompa vakum yang berfungsi untuk menangkap uap hasil pengeringan yang dilepas produk pada saat dipanaskan, uap ini mengandung zat cair yang dilepas dari padatan.
- e. Panel listrik yang berfungsi sebagai panel untuk *safety* dari alat-alat sistem pendingin seperti kompresor, kipas condenser dan lain-lain.

2.1.3 Siklus Ideal Sistem Refrigerasi

Siklus ideal sistem refrigerasi merupakan pengembangan dari *reversed carnot cycle* melalui proses evaporasi gas refrigeran sebelum dikompresikan dan dengan mengganti peran turbin dengan *throttling device* seperti katup ekspansi ataupun pipa kapiler. Siklus sistem ini dapat digambarkan dengan diagram sebagai berikut:



Gambar 2.4 Siklus Refrigerasi

(Cengel, Yunus A., Michael A. Boles, "Thermodynamics an Engineering Approach Fourth Edition International Edition", McGraw-Hill, 2002).

Dengan penjabaran siklus untuk tiap-tiap langkah sebagai berikut:

- 1-2 Kompresi isentropik dalam kompresor
- 2-3 Tekanan konstan proses pembuangan panas dalam kondensor
- 3-4 Proses *throttling* oleh katup ekspansi
- 4-1 Tekanan konstan proses penyerapan panas dalam evaporator

Gas refrigeran mengalami penurunan tekanan pada saat melewati katup ekspansi sedemikian rupa sehingga lebih rendah daripada temperatur ruangan yang didinginkan untuk kemudian memasuki evaporator dan menguap dengan menyerap panas dari ruangan yang ingin didinginkan. Gas kemudian keluar dari evaporator dalam kondisi *saturated vapor* lalu memasuki kompresor dan melanjutkan siklus pendinginan.

Adapun prosesnya dapat dijelaskan secara lebih detil berikut ini :

- Refrigeran yang telah bersirkulasi satu siklus penuh masuk ke kompresor dalam keadaan uap jenuh (*saturated vapor*) dan akan ditekan di dalam kompresor ke tekanan yang lebih tinggi, menghasilkan tekanan dan temperatur refrigeran yang tinggi.
- Uap yang keluar dari kompresor dalam keadaan temperatur tinggi, di kenal dengan uap panas tingkat lanjut (*superheated vapor*) kemudian akan menuju ke kondensor dimana di kondensor ini refrigeran akan didinginkan dan dikondensasikan menjadi cairan dengan cara melewatkannya melalui *tube* bersirip, proses pendinginan di kondenser terdapat 2 cara yaitu : dengan udara yang dihasilkan dari fan/blower atau dengan media cairan pendingin (contoh : air). Pada kondenser terjadi peristiwa pembuangan kalor dari refrigeran/sistem ke lingkungan.
- Refrigeran yang telah terkondensasi menjadi cairan, dikenal dengan cairan jenuh (*saturated liquid*) kemudian akan menuju alat ekspansi dimana tekanannya akan diturunkan. Penurunan tekanan ini akan menghasilkan campuran x % cair dan y % uap, yang kuantitasnya dapat dilihat di diagram mollier y % uap inilah yang disebut sebagai *flash gas* yang akan

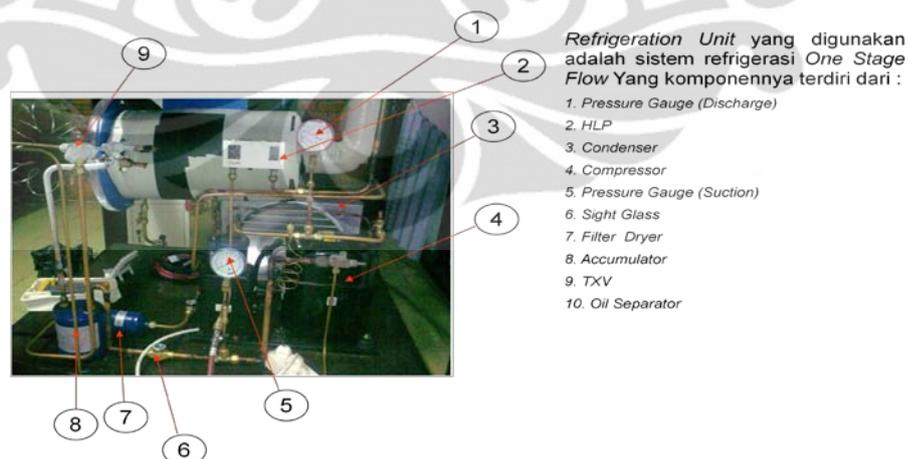
Universitas Indonesia

mendinginkan sisa refrigeran yang masih berbentuk cairan ke temperatur yang lebih rendah dari temperatur ruangan yang akan didinginkan.

- Campuran uap dan cairan refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan rendah kemudian akan memasuki evaporator. Fan akan mensirkulasikan udara yang tentunya lebih hangat dari temperatur campuran cairan dan uap refrigeran. Udara yang lebih hangat inilah yang akan membuat refrigeran cair berevaporasi seluruhnya sampai ke kondisi uap jenuh (*saturated vapor*). Pada waktu yang sama pula, udara hangat akan menjadi dingin setelah melewati evaporator (karena terjadi proses perpindahan panas), udara yang dingin keluar dari evaporator akan mendinginkan ruangan sampai ke temperatur yang diinginkan. Untuk menyelesaikan satu siklus refrigerasi penuh maka 100 % uap dari evaporator akan kembali menuju kompresor.

2.1.4 Komponen-komponen Sistem Refrigerasi

Sebagaimana dijelaskan diatas alat pengering beku dengan pemvakuman ini memanfaatkan panas buang dari kondenser untuk mengeringkan produk didalam tabung (*chamber*), untuk itu diperlukan suatu sistem pendingin yang berfungsi sebagai sistem pendukung (*support sistem*) dari proses pengeringan produk.



Gambar 2.5 Refrigeration Unit.

- Kompresor

Kompresor merupakan komponen yang penting dalam sistem refrigerasi yang berfungsi untuk mendorong gas refrigeran secara terus menerus dari evaporator sehingga tekanan dan temperatur yang rendah didalam evaporator dimana terjadi penguapan dan pelepasan panas dari ruangan dapat dipertahankan. Kompresor kemudian harus mampu menaikkan tekanan refrigeran pada tingkatan dimana akan mengkondesasi dengan membuang panas ke media media pendingin dalam kondensor. Kompresor yang digunakan dalam sistem ini adalah jenis kompresor hermatik (*sealed*). Jenis kompresor ini menempatkan motor penggerak dan kompresor dalam satu ruangan dan dibuat sedemikian rupa sehingga tidak dimungkinkan terjadi kebocoran dari dalam kompresor. Kelemahan jenis kompresor ini adalah kurangnya pendinginan motor penggerak yang menyebabkan pemanasan komponen kompresor sehingga dalam hal ini diperlukan mekanisme pendinginan dengan melewati gas refrigeran melalui motor penggerak sehingga dalam hal ini diperlukan jenis *high dielectric* refrigeran sehingga adanya kebakaran akibat kontak listrik dapat dihindari. Kompresor Hermatik memiliki kerapatan yang tinggi sehingga memiliki kelebihan dapat digunakan dengan baik pada interval temperatur yang rendah namun efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan *Open Compressor* dikarenakan sebagian aliran refrigeran digunakan untuk mendinginkan kompresor.



Gambar 2.6 Kompresor

- Kondenser

Pada prinsipnya kondensator maupun evaporator merupakan alat penukar kalor dimana gas refrigeran mengalami perubahan fase. Didalam kondensator, refrigeran vapor mengalami kondensasi dengan membuang panas menuju media luar yang berfungsi sebagai penyerap panas. Sedangkan dalam evaporator, gas refrigeran mengalami penguapan dan menyerap panas dari sekitarnya. Kondensator yang digunakan pada sistem ini adalah kondensator yang menggunakan pendinginan paksa. Dalam hal ini perpindahan panas terjadi antara komponen dengan udara sekitar. Terdapat dua jenis pendinginan yaitu konveksi alami dan konveksi paksa dimana pada konveksi alami proses perpindahan panas terjadi disebabkan adanya gaya buoyancy akibat perbedaan temperatur sedangkan pada konveksi paksa sirkulasi udara pendingin dilakukan dengan bantuan kipas ataupun *blower* sehingga jenis komponen ini memiliki kapasitas yang lebih besar. Kedua jenis *heat exchanger* ini bisa dilengkapi dengan *fin* yang berfungsi untuk menambah luas area perpindahan panas sehingga dapat mempercepat laju perpindahan panas.



Gambar 2.7 Kondensator

- Katup Ekspansi

Katup ekspansi merupakan salah satu bagian utama sistem refrigerasi yang berfungsi untuk mengurangi tekanan dari kondensator untuk disesuaikan dengan tekanan *evaporator* serta mengatur aliran refrigeran dari cairan bertekanan tinggi menuju yang ke *evaporator* untuk disesuaikan dengan laju penguapan dalam *evaporator*. Dalam kondisi normal laju aliran massa refrigeran dalam sistem harus

proporsional dengan beban pendinginan maupun dengan pengkondisian yang lainnya. Terdapat dua jenis katup ekspansi yaitu *fixed opening* tipe dan *variable opening type* dimana pada jenis pertama luasan aliran refrigeran konstan sedangkan yang kedua luasan aliran berubah seiring dengan perubahan laju aliran massa. Jenis yang kedua ini memiliki beberapa tipe antara lain:



Gambar 2.8 Katup Ekspansi

- Orifice

Merupakan metode untuk menurunkan tekanan dengan menaikkan kecepatan aliran refrigeran pada saat melewatkannya pada suatu penyempitan dalam pipa aliran yang disebut orifice. Orifice tidak dapat dipisahkan dari katup ekspansi, keduanya merupakan satu paket.

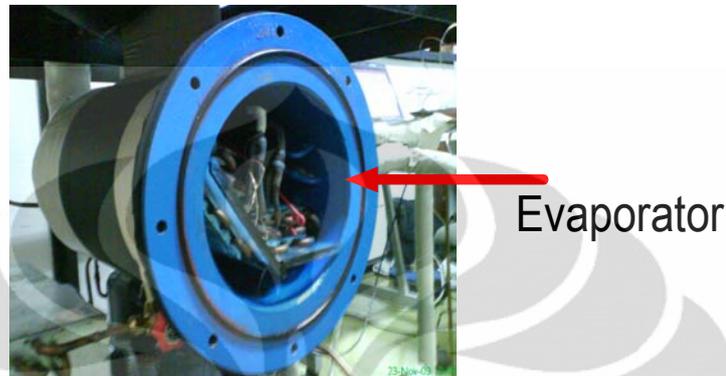


Gambar 2.9 Orifice

- Evaporator

Evaporator adalah media pemindahan energi panas melalui permukaan refrigeran cair menguap dan menyerap panas dari udara dan produk yang ada

didalam ruang tersebut. Evaporator pada sistem pengering beku ini difungsikan juga sebagai perangkap (cold trap) uap air hasil sublimasi didalam ruang pengering.



Gambar 2.10 *Evaporator* sebagai *Cold Trap*

- Zat Pendingin

Refrigeran dalam sistem pendingin memegang peranan penting dalam efisiensi siklus pendinginan sehingga dalam pemilihannya diperlukan penyesuaian dengan desain sitem, ukuran, keamanan maupun dengan isu yang berkaitan pemanasan global sehingga diperlukan pemikiran yang komprehensif dalam pemilihannya. Beberapa kriteria yang diperlukan dalam pemilihan refrigeran antara lain:

Sifat termodinamik dan thermo-physical yang mempertimbangkan:

- Suction pressure* : dimana dengan temperatur kerja evaporator, tekanan saturasi hendaknya diatas tekanan atmosfer guna menghindari udara masuk ataupun embun masuk kedalam sistem serta supaya mudah dalam mendeteksi adanya kebocoran. Tekanan yang lebih tinggi lebih baik karena dapat meringankan kerja kompresor.

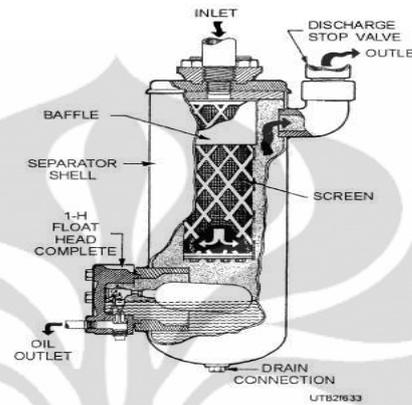
- b. Discharge pressure* : dimana dengan temperatur kerja kondensor, tekanan kondensor hendaknya serendah mungkin untuk memperkecil ukuran kompresor, kondensor maupun sistem lainnya.
- c. Pressure ratio* : hendaknya serendah mungkin untuk mendapatkan efisiensi volumetrik yang tinggi serta kebutuhan daya yang rendah.
- d. Latent heat of vaporization* : hendaknya setinggi mungkin sehingga laju aliran massa yang diperlukan untuk setiap unit kapasitas pendinginan menjadi kecil.
- e. Isentropic index of compression* : hendaknya serendah mungkin sehingga kenaikan temperatur selama proses kompresi menjadi rendah.
- f. Liquid specific heat* : hendaknya serendah mungkin sehingga derajat temperatur *subcooling* menjadi besar untuk menghindari gas menguap pada saluran masuk evaporator.
- g. Vapor specific heat* : hendaknya setinggi mungkin sehingga derajat temperatur *superheating* menjadi rendah.
- h. Viscosity* : nilai viskositas hendaknya rendah baik pada fase cair maupun uap untuk menghindari *pressure drop* dalam sirkulasi sistem.

Komponen pendukung sistem pendingin

- *Oil separator*

Kompresor dalam sistem refrigerasi menghasilkan tekanan aliran uap refrigeran yang cukup besar dan panas serta mengandung oli dari kompresor yang ikut terbawa saat proses *discharging* berlangsung sehingga diperlukan *oil separator* yang berfungsi untuk menyaring dan mengembalikan oli ke kompresor. Proses pemisahan terjadi dikarenakan aliran uap mengalami perlambatan pada saat

memasuki *oil separator* untuk kemudian mengumpulkannya hingga level tertentu untuk kemudian dialirkan dengan dibukanya sebuah *needle valve* yang digerakkan oleh pelampung. *Oil separator* hendaknya di insulasi untuk menghindari berfungsi sebagai kondensor yang dapat melepas panas ke lingkungan.



Gambar 2.11 *Oil Separator*

- *Filter dryer*

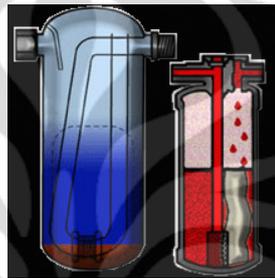
Merupakan komponen sistem pendingin yang berfungsi untuk menyaring refrigeran dari zat pengotor dan kandungan air yang terbawa sirkulasi selama proses sehingga bersih dan tetap kering. *Filter dryer* biasanya berupa tabung silinder yang terbuat dari aluminium, tembaga ataupun baja yang berisi bahan kimia seperti alumina aktif atau *silica gel* yang mampu menyerap air sebesar 12 sampai 16% dari beratnya. Kedua ujung saluran masuk dan keluar komponen berisi elemen penyaring dengan ujung yang di hubungkan secara permanen.



Gambar 2.12 *Filter Dryer*

- *Accumulator*

Berfungsi sebagai komponen pengaman sistem, *accumulator* berfungsi untuk mencegah cairan refrigeran mengalir melewati saluran hisap dan memasuki kompresor. Masuknya cairan *refrigeran* kedalam kompresor dapat menyebabkan *knocking* dan mengakibatkan kerusakan. Cairan refrigeran yang memasuki *accumulator* akan diuapkan untuk menjamin saluran masuk yang menuju kompresor berisi uap.



Gambar 2.13 *Accumulator*

- *Sight glass*

Sight glass pada umumnya dipasang pada saluran yang mengandung cairan refrigeran untuk mendeteksi adanya gelembung secara visual serta menganalisa kondisi sistem. Pada bagian atas komponen ini biasanya terdapat tanda berupa warna yang mengindikasikan kondisi refrigeran pada saat melewati *sight glass*. Terdapat dua macam cara menyambung komponen ini yaitu dengan *soldering* atau baut pada kedua ujungnya dimana pada cara yang pertama pipa dibuat lebih panjang untuk menghindari kerusakan akibat pemanasan kaca saat pemasangan.



Gambar 2.14 *Sight Glass*

- *Shut-off valve*

Katup ini berfungsi untuk mengatur besarnya tekanan pada saluran yang juga bisa dipakai untuk menghentikan suatu bagian sistem tertentu yang dalam desain dipisahkan dengan *shut-off valve* tanpa mengganggu sistem yang lain.

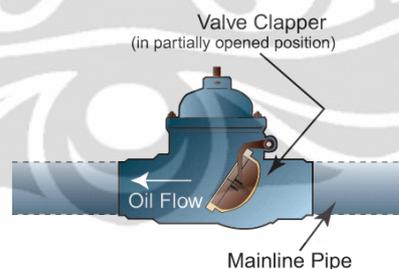
Katup yang biasanya digerakkan dengan tangan ini harus tahan terhadap korosi, operasi yang berulang-ulang tanpa menimbulkan kebocoran.



Gambar 2.15 *Shutt/off Valve*

- *Check valve*

Check valve merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem refrigerasi dimana katup ini berfungsi untuk mencegah aliran cairan atau uap refrigeran dari arah aliran yang salah. Dalam hal *check valve* harus terhindar dari kebocoran melalui penggunaan seal yang benar sehingga kobocoran refrigeran pada aliran sesuai dengan yang diinginkan dapat dihindari. Katup ini juga harus memiliki respon buka yang baik karena jika terjadi hambatan dalam proses kerjanya maka katup bisa berfungsi sebagai *throttling* dikarenakan adanya *pressure drop* yang cukup besar.



Gambar 2.16 *Check Valve*

- *Pressure gauge*

Berfungsi untuk mengukur tekanan yang melewati saluran refrigeran yang berfungsi sebagai indikator untuk mengetahui keadaan sistem selama siklus berlangsung. Pada umumnya satuan tekanan dalam *pressure gauge* menggunakan *pounds per square inch* diatas tekanan atmosfer (psig atau psi) dimana tekanan

nol pada *pressure gauge* menunjukkan tekanan satu atmosfer atau 14.7 psia. Dalam hal tertentu terdapat alat ukur yang juga mendeteksi tekanan vakum yang menunjukkan tekanan nol absolut.



Gambar 2.17. *Pressure Gauge*

2.2 Perpindahan Kalor

Secara natural perpindahan kalor terjadi akibat adanya perbedaan temperatur, dimana kalor bergerak dari suatu area yang memiliki temperatur lebih tinggi. Proses perpindahan kalor ini akan terus berlangsung hingga akhirnya kedua area yang memiliki perbedaan temperatur mengalami kesetimbangan temperatur. Perpindahan kalor melalui suatu bahan padat yang disebut peristiwa konduksi, menyangkut pertukaran energi pada tingkat molekuler. Sebaliknya, radiasi adalah proses yang membawa energi dengan jalan pelompatan foton dari suatu permukaan ke permukaan yang lain. Radiasi dapat menyebrangi ruang vakum dan tidak bergantung pada media perantara untuk menghubungkan dua permukaan. Perpindahan kalor konveksi tergantung pada konduksi antara permukaan benda padat dengan fluida terdekat yang bergerak. Jadi masing – masing mekanisme perpindahan kalor berbeda satu sama lainnya, akan tetapi semuanya memiliki karakteristik umum karena masing – masing tergantung pada temperatur dan dimensi benda yang ditinjau.

2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor secara molekuler suatu material tanpa diikuti perpindahan material secara menyeluruh. Contoh sederhana dari peristiwa konduksi adalah apabila suatu batang logam dipanaskan pada salah satu ujungnya,

Universitas Indonesia

maka panas tersebut lama kelamaan akan dapat dirasakan pada ujung yang lainnya. Kepadatan aliran (flux) energi perpindahan kalor secara konduksi di sepanjang sebuah batangan padat, sebanding dengan temperatur dan luas penampang, serta berbanding terbalik dengan panjangnya.

$$q = -k \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

dengan: k = konduktivitas thermal (W/m.K)
 A = luas penampang (m²)
 ΔT = beda temperatur (K)
 L = panjang (m)

Nilai minus (-) pada persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah menuju area yang memiliki temperatur lebih rendah. Konduktivitas thermal adalah suatu karakteristik yang memiliki nilai berbeda pada tiap material dan perbandingan antara konduktivitas thermal dengan panjang disebut dengan hantaran (konduktansi). Daya hantar (konduktivitas) thermal dan laju perpindahan kalor konduktif dipengaruhi oleh struktur molekul material. Material logam dapat memindahkan energi lebih cepat bila dibandingkan dengan material non logam, karena material logam memiliki susunan molekul yang lebih rapi dan rapat sedangkan pada material non logam susunannya acak dan jarang.

2.2.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor melalui gerakan massa dari fluida seperti air atau udara. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan temperatur diantara permukaan dengan fluida yang bergerak. Fluida yang dipanaskan bergerak menjauhi sumber panas menuju area yang memiliki temperatur lebih rendah dengan membawa energi. Contoh dari peristiwa ini adalah pada saat kita memasak air, dimana air yang berada dibagian bawah akan bergerak menjauhi sumber panasnya.

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_f)$$

dengan:

- h = koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
- A = luas penampang (m^2)
- T_s = temperatur permukaan (K)
- T_f = temperatur fluida (K)

perpindahan kalor secara konveksi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- Konveksi bebas (*free convection*), dimana aliran terjadi akibat dari gaya apung yang timbul dari perbedaan densitas fluida karena variasi temperatur dalam fluida.
- Konveksi paksa (*forced convection*), dimana aliran terjadi akibat adanya kerja dari luar seperti kipas, pompa ataupun pergerakan angin.

2.2.3 Radiasi

Pemindahan energi secara radiasi berlangsung jika foton – foton dipancarkan dari suatu permukaan ke permukaan lain. Pada saat mencapai permukaan lain foton yang diradiasikan juga diserap, dipantulkan atau diteruskan melalui permukaan. Energi yang diradiasikan dari suatu permukaan ditentukan dalam bentuk daya pancar (*emissive power*), yang secara termodinamika dapat dibuktikan bahwa daya pancar tersebut sebanding dengan pangkat empat suhu absolutnya. Untuk sebuah radiator ideal biasanya berupa benda hitam dengan daya pancar :

$$E_B = \sigma T^4$$

dengan:

- E_B = daya pancar ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^4$)
- σ = tetapan Stefan-Boltzman = $5,669 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^4$
- T = temperatur absolut (K)

2.3 Beban Pendinginan

Beban pendinginan pada sistem pendingin jarang sekali hanya berasal dari satu sumber kalor. Kalor yang menjadi beban tersebut biasanya berasal dari beberapa sumber yang berbeda, diantaranya :

- Beban yang berasal dari perembesan udara luar tanpa kendali melalui dinding yang disebabkan oleh gaya alamiah.
- Kalor yang masuk secara radiasi langsung melalui bidang transparan seperti kaca.
- Kalor yang masuk pada saat pintu atau jendela terbuka sehingga udara luar yang cenderung memiliki temperatur lebih tinggi masuk.
- Kalor yang berasal dari produk yang berada didalam ruang, pada pengujian ini kalor berasal dari aloe vera dan teripang.
- Kalor yang berasal dari proses pemanas yang berada didalam ruang. Selain pemanas benda lain seperti wadah material uji pun akan menjadi beban pendinginan.

2.3.1 Beban Bagian Dalam (*Internal Loads*)

Sumber utama perolehan kalor pada ruang uji adalah pemanas yang digunakan pada saat pengujian. Jumlah perolehan kalor yang berasal dari pemanas tergantung pada jenis pengujian yang dilakukan. Pada pengujian terdapat variasi temperatur pemanas dan variasi posisi pemanas. Pemancaran kalor dari pemanas merupakan bentuk energi radiasi. Energi radiasi dari pemanas mula – mula diserap oleh dinding dan peralatan yang berada didalam ruang uji hingga temperturnya naik dengan laju yang ditentukan oleh massa. Dikarenakan temperatur benda – benda tersebut naik diatas temperatur udara, maka dari permukaan tersebut kalor dikonveksikan sehingga akhirnya menjadi beban bagi sistem pendinginan. Untuk peralatan yang menghasilkan kalor, perlu diperkirakan daya yang digunakan bersama dengan periode penggunaannya atau frekuensinya. Untuk peralatan yang meradiasikan energi faktor beban pendinginan (CLF) dapat dianggap sama dengan 1,0.

2.3.2 Beban Dinding

Kuantitas kalor yang ditransmisikan pada dinding tergantung pada luasan permukaan, koefisien perpindahan kalor total dan perbedaan temperatur pada permukaan dinding. Seperti dijelaskan pada persamaan dibawah ini.

$$Q = A \cdot U \cdot TD$$

dengan: U = koefisien perpindahan kalor total thermal (W/m.K)
 A = luas penampang (m²)
 TD = beda temperatur (K)

Besarnya nilai koefisien perpindahan kalor total tergantung pada ketebalan dan material dinding. Dinding sebaiknya terbuat dari material yang bersifat isolator sehingga nilai U dapat dijaga serendah mungkin.

2.3.3 Beban Produk

Produk atau material uji yang berupa *aloe vera* dan teripang memiliki kalor yang harus dibuang untuk menurunkan temperaturnya hingga temperatur yang diinginkan. Beban produk tergantung pada karakteristik material dan kuantitasnya.

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

dengan: m = massa produk (kg)
 c = kalor spesifik (kJ/kg.K)
 ΔT = beda temperatur (K)

Untuk mengetahui beban pendinginan produk yang disimpan pada jangka waktu tertentu maka persamaan diatas dibagi dengan variable waktu dalam satuan detik.

2.3.4 Beban Lainnya

Beban ini berasal dari benda atau peralatan yang berada didalam ruang uji seperti pemanas dan wadah dari material uji.

BAB 3

METODA PENGUJIAN

3.1 Komponen Sistem

Pada pengujian ini terdapat beberapa komponen yang diperlukan. Selain pengering beku vakum itu sendiri terdapat beberapa komponen penunjang lainnya yang digunakan selama pengujian, komponen tersebut diantaranya :

3.1.1 Pompa vakum

Pompa vakum digunakan untuk menurunkan tekanan pada ruang uji hingga mencapai tekanan yang diinginkan yaitu pada kisaran 0,1 mbar. Pompa vakum yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.1 Pompa Vakum

Type : *Direct oil rotary vacuum pump*

AC 220 V 50Hz

Displacement : 50 Hz – 1200 L/min

60 Hz – 1440 L/min

Ultimate Vacuum : 6.7×10^{-2} Pa

Motor Power : 2.2 kW

Oil Capacity : 2.8 L

Pump Weight : 138 kg.

3.1.2 Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur temperatur di beberapa tempat tertentu seperti didalam ruang uji dan pada sistem refrigerasi. Pada ruang uji termokopel digunakan untuk mengukur temperatur didalam ruang uji, material uji dan pemanas. Pada sistem refrigerasi termokopel digunakan untuk mengukur temperatur masukan dan keluaran kompresor serta temperatur di evaporator. Termokopel yang digunakan pada pengujian adalah termokopel tipe K karena tipe ini cukup banyak tersedia di pasaran dan tidak memerlukan syarat tambahan seperti penggunaan rangkaian penguat. Termokopel akan dihubungkan pada data akuisisi sehingga hasil pengukurannya dapat langsung terbaca di komputer.



Gambar 3.2. Termokopel tipe K.

3.1.3 Pressure Transmitter

Pressure Transmitter merupakan sebuah instrumentasi yang digunakan untuk mengukur tekanan dari ruang uji. Komponen ini digunakan karena dianggap memiliki akurasi yang sangat baik dan kemudahan dalam pembacaan sehingga memudahkan dalam melakukan pengolahan data.



Gambar 3.3 *Pressure Transmitter*

3.1.4 *National Instrument (NI)*

National Instrument merupakan sebuah instrumentasi yang digunakan untuk membantu pengukuran yang berbasis data akuisisi. Instrument ini berupa modul yang membantu pembacaan hasil pengukuran baik tekanan maupun temperatur. Hasil pengukuran yang berupa gelombang elektromagnetik dirubah menjadi satuan yang telah ditentukan yaitu milibar untuk alat ukur tekanan dan °C untuk alat ukur temperatur. *National Instrument* yang digunakan pada pengujian adalah tipe DAQ – 9174 dengan modul sebagai berikut :

- Termokopel → *National Instrument (NI) 9211 TC ± 0 mV*
- *Pressure Transmitter* → *National Instrument (NI) 9203 AI ± 20 mA*
- *Input 9 – 30 V ; 15 W max.*

3.1.5 *Power Supply*

Power Supply memiliki fungsi utama untuk merubah listrik arus bolak balik (AC) yang berasal dari PLN menjadi arus searah (DC) yang dibutuhkan oleh komponen. Selain itu *power supply* memiliki fungsi lainnya yaitu :

- *Voltage Transformation* : Memberikan keluaran tegangan DC yang sesuai dengan yang di butuhkan.
- *Filtering* : Menghasilkan arus listrik DC yang lebih “bersih” atau terbebas dari noise listrik yang lain

- *Regulation* : Mengendalikan teggangan keluaran agar tetap terjaga tergantung pada tingkatan yang di inginkan, beban daya dan perubahan kenaikan termperatur kerja juga toleransi perubahan tegangan daya input.
- *Isolation* : Memisahkan secara elektrik output yang di hasilkan dari sumber input
- *Portection* : Mencegah lonjakan tegangan listrik (jika terjadi), sehingga tidak tersedianya sekering untuk *auto shutdown* jika hal ini terjadi.

Power supply yang digunakan dalam pengujian mempunyai spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Power Supply*

- *Type* : JL – 145s12
- *AC Input* : 170 V – 264 V
- *DC Output* : 12 V – 12 A

3.1.6 *National Instrument LabVIEW 8.5*

LabVIEW yang merupakan kependekan dari Laboratory Instrumentation Engineering Workbench adalah sebuah perangkat lunak komputer yang berfungsi untuk melakuakn proses dan visualisasi dalam bidang akuisisi data. *LabVIEW* merupakan salah satu bahasa pemograman komputer grafik yang menggunakan icon-icon sebagai pengganti teks dalam membuat aplikasi. Berbeda dengan pemograman berbasis teks dimana instruksi-instruksi menentukan eksekusi

program, *LabVIEW* merupakan pemograman aliran data dimana aliran data menentukan eksekusi dari program.

3.1.7 Timbangan Digital

Komponen ini digunakan untuk mengetahui massa dari material uji sebelum pengujian yang berupa cairan dan material uji setelah pengujian yang berupa serbuk. Massa material uji dibandingkan sehingga dapat diketahui persentase pengurangan massa yang terjadi pada material. Timbangan yang digunakan memiliki satuan gram dengan ketelitian dua angka dibelakang koma dan kapasitas maksimum timabangan adalah 300 gr.



Gambar 3.5 Timbangan Digital

3.2 Parameter Pengujian

Pada pelaksanaan pengujian terdapat dua parameter yang diamati yaitu tekanan dan temperatur. Kedua parameter ini yang menentukan hasil akhir dari pengujian, jadi apabila pada awal pengujian salah satu atau mungkin kedua parameter uji menunjukkan penyimpangan yang cukup signifikan maka pengujian dapat dihentikan dan selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap sistem sebelum pengujian dilakukan kembali.

3.2.1 Tekanan

Tekanan dalam sistem sangatlah penting untuk diketahui. Pada ruang uji tekanan dibuat serendah mungkin bahkan hingga vakum yang dimaksudkan agar material dapat membeku secara sempurna. Apabila tekanan dalam ruang uji tidak tercapai maka hasil akhir pengujian menjadi tidak baik. Selain pada ruang uji, tekanan pada sistem refrigerasi pun harus diperhatikan karena kompresor yang

digunakan bekerja pada kisaran tekanan tertentu dan bila kondisi ini tidak terpenuhi tentunya dapat merusak kompresor tersebut.

3.2.2 Temperatur

Pada pengering beku vakum terdapat beberapa tempat yang diamati temperaturnya yaitu pada ruang uji, material uji, pemanas dan sistem refrigerasi. Temperatur material uji diamati untuk mengetahui laju pembekuan dan pengeringannya. Pemanas bekerja pada temperatur tertentu yang dibatasi sesuai dengan pengambilan data karena pada pengujian ini dilakukan variasi temperatur pemanas. Temperatur dari kompresor, kondensor dan evaporator yang merupakan bagian dari sistem refrigerasi pun diamati dan selanjutnya dianalisa.

3.3 Persiapan Pengujian

Proses pengeringan beku meliputi proses pembekuan yang terjadi akibat penguapan kandungan air dari material uji pada kondisi ruangan bertekanan rendah. Pada proses penguapan ini terjadi pengambilan panas laten yang mengakibatkan temperatur dari material uji menjadi turun dan akhirnya membeku. Oleh karena itu energi yang diperlukan untuk proses pembekuan ini adalah energi untuk menurunkan tekanan pada ruang pembekuan. Hasil akhir dari pengeringan beku adalah produk yang kering sempurna tanpa ada bagian yang mencair. Pada pengujian ini material uji yang digunakan adalah lidah buaya (*aloe vera*) dan teripang. Sebelum dilakukan pengujian perlu dilakukan beberapa persiapan yang meliputi persiapan material uji dan pengecekan terhadap sistem yang bekerja pada pengering beku vakum.

3.3.1 Persiapan Material Uji

Material uji yang digunakan adalah lidah buaya dan teripang. Lidah buaya (*aloe vera*) memiliki kandungan air sebesar 98.7 %. Hasil kandungan air tersebut diperoleh dari pemeriksaan kandungan gel lidah buaya melalui uji proksimat dan analisis mineral berdasarkan hasil pemeriksaan di laboratorium analisis komoditi industri hasil pertanian Bogor, 25 April 2000. Dari hasil analisa proksimat daging teripang diperoleh komposisi protein 43%, lemak 2%, kadar air 17%, mineral

21% dan kadar abu 7%. Lidah buaya dan teripang memerlukan beberapa proses awal sebelum dimasukkan kedalam mesin pengering beku dan menjalani proses pengeringan. Proses persiapan itu adalah sebagai berikut :

- Lidah buaya segar dikupas lalu diambil dagingnya dan dibersihkan,
- Lidah buaya direbus selama \pm 5 menit.
- Lidah buaya yang telah direbus dihaluskan menggunakan blender.
- Lidah buaya yang telah diproses dimasukkan kedalam wadah sampel dan siap untuk dikeringkan.

Persiapan yang sama berlaku pada teripang, akan tetapi teripang tidak mengalami proses perebusan terlebih dahulu seperti halnya pada lidah buaya. Teripang segar yang telah dibersihkan langsung diblender dan siap untuk dikeringkan.

3.3.2 Pemeriksaan Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi yang terdapat pada pengering beku vakum harus melalui pemeriksaan terlebih dahulu sebelum dioperasikan. Pemeriksaan tersebut meliputi pemeriksaan kebocoran, pembersihan saluran refrigerasi, pengisian refrigeran dan pengujian apakah sistem refrigerasi telah bekerja dengan baik atau tidak.

a) Pengujian kebocoran

Pada saat melakukan pengujian kebocoran, sistem refrigerasi diisi udara dengan tekanan tertentu. Setelah sistem berisi udara bertekanan lalu dilakukan pengujian dengan memberikan busa sabun terhadap area – area yang rawan terhadap kebocoran misalnya pada sambungan pipa dan area sekitar katup.

b) Pembersihan saluran refrigerasi

Pada tahapan ini dilakukan proses pemvakuman saluran refrigerasi. Proses ini bertujuan untuk membuang kotoran yang terdapat dalam saluran baik berupa gas maupun debu yang masuk selama proses manufaktur sistem pendingin. Proses ini berlangsung hingga dirasakan saluran sudah cukup bersih dari kotoran yang dapat bercampur dengan refrigeran.

c) Pengisian refrigeran

Proses ini merupakan tahapan penting yang menjadi bagian dalam mempersiapkan sistem refrigerasi yang optimal dimana tahapan ini memerlukan perhatian dalam hal kemurnian refrigeran yang akan dimasukkan kedalam sistem karena masuknya udara yang akan bercampur dengan refrigeran akan mengganggu kinerjanya sehingga tidak bekerja dengan temperatur sesuai dengan spesifikasi. Untuk mendukung hal tersebut maka langkah yang perlu diambil adalah dengan menggunakan saluran *testing manifold* yang menghubungkan antara saluran sistem refrigerasi, tabung gas refrigeran dan saluran pompa vakum. Ketiganya tergabung dalam satu manifold yang proses kerjanya disesuaikan dengan tahapan dimana proses awal adalah penvakuman, maka dalam hal ini saluran yang menuju tabung refrigeran harus ditutup sehingga tekanan vakum hanya mengarah ke dalam sistem refrigerasi. Sedangkan jika tekanan vakum sudah memenuhi, langkah selanjutnya adalah mengisi refrigeran dengan menutup saluran dari pompa vakum dan membuka saluran dari tabung refrigeran sehingga terjadi proses pengisian. Dengan memperhatikan tahapan-tahapan ini maka diharapkan tidak terjadi pencampuran refrigeran dengan udara luar pada saat pengisian.

d) Pengujian sistem refrigerasi

Proses ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem refrigerasi berfungsi dengan baik atau tidak. Setelah sistem refrigerasi dinyalakan kemudian tiap komponen diperiksa. Salah satu cara untuk menentukan kinerja sistem ini adalah dengan melihat hasil pembacaan alat ukur. Apabila parameter seperti temperatur dan tekanan telah tercapai maka dapat disimpulkan bahwa sistem refrigerasi berfungsi dengan baik dan siap digunakan untuk pengujian.

3.3.3 Pengujian Kebocoran Ruang Uji

Pada saat pengujian ruang uji bertekanan sangat rendah. Tekanan dalam ruang uji haruslah dijaga karena berpengaruh sangat besar terhadap hasil akhir pengujian. Kebocoran pada ruang uji mengakibatkan material uji tidak memmbeku sempurna. Pengujian kebocoran dilakukan dengan melihat hasil pembacaan alat ukur tekanan. Apabila setelah sistem dioperasikan beberapa saat

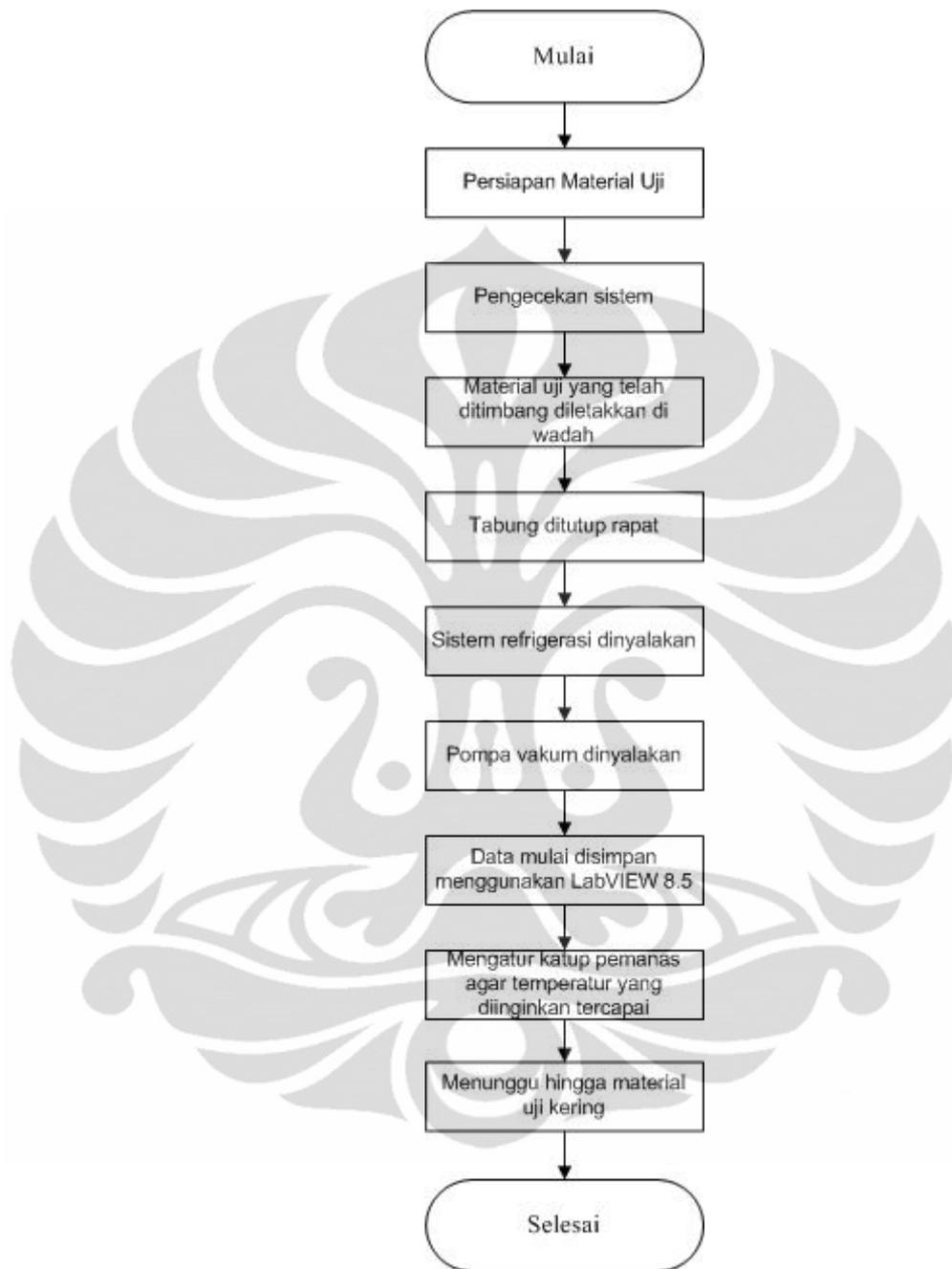
dan tekanan tidak tercapai maka dapat dipastikan bahwa telah terjadi kebocoran. Mengatasi kebocoran adalah hal yang cukup sulit karena untuk mengetahui lokasi kebocoran hanya dapat dilakukan dengan cara memprediksinya.

3.4 Pengujian

Langkah – langkah yang dilakukan pada pengujian adalah sebagai berikut :

- Material uji yang telah diolah dimasukkan kedalam wadah kemudian ditimbang untuk mengetahui massa material sebelum proses pengujian.
- Pemasangan termokopel pada wadah yang berisi material uji. Termokopel diposisikan tidak menempel pada bagian dasar wadah agar temperatur yang terbaca adalah temperatur material uji seiring proses pembekuan dan pengeringan.
- Menutup rapat tabung sehingga dapat dipastikan tidak terjadi kebocoran. Apabila dirasa penutup yang ada dianggap kurang rapat dapat ditambahkan additive berupa lem agar penutup benar – benar rapat.
- Sistem refrigerasi dinyalakan hingga temperatur evaporator mencapai temperatur terendah dan stabil.
- Setelah evaporator mencapai temperatur terendah dan stabil selanjutnya pompa vakum dinyalakan.
- Proses ini dibiarkan terus sambil diamati hingga tekanan ruang uji mencapai tekanan terendah dan material uji mencapai temperatur terendah.
- Pada saat mulai terjadi kenaikan temperatur pada material uji maka katup pemanas mulai dibuka dan diatur sehingga temperatur pemanas berada pada kisaran tertentu. Selama pemanas dibuka temperatur evaporator pun harus diamati dan dijaga tetap minus, hal ini bertujuan agar uap air dapat ditangkap evaporator dan tidak terhisap kedalam pompa vakum.
- Proses ini dibiarkan terus hingga akhirnya material kering. Indikasi bahwa material telah kering adalah temperatur material telah sama dengan temperatur ruang uji.
- Data selama pengujian yang berupa temperatur dan tekanan akan otomatis tersimpan didalam komputer.

3.5 Diagram Alir Pengujian



3.6 Diagram alir pengujian.

BAB 4

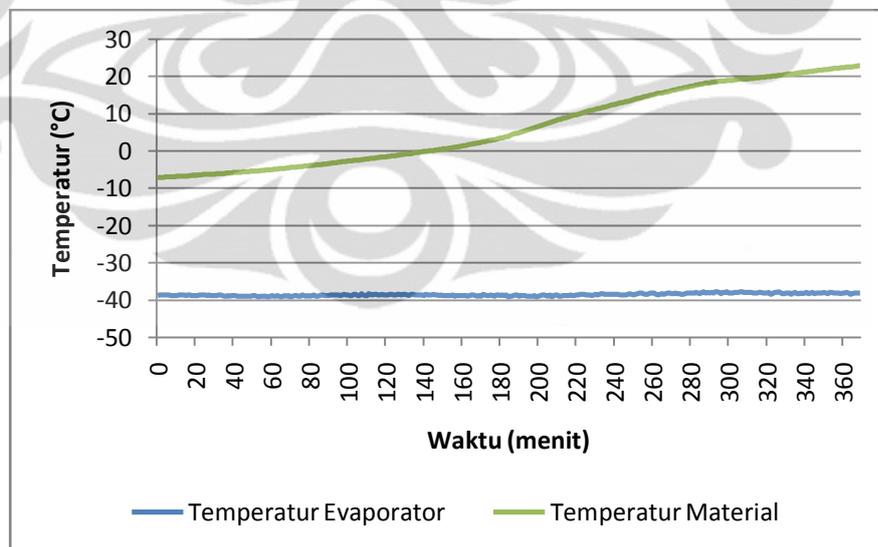
ANALISA DATA

Bab ini akan membahas mengenai analisa data yang didapatkan pada saat melakukan pengujian. Data yang didapat berupa tekanan dan temperatur, akan tetapi analisa akan lebih menitikberatkan pada data temperatur. Dari data yang didapat kemudian akan dibuat grafik yang menunjukkan kinerja alat selama pengujian. Sesuai dengan bahasan skripsi ini maka akan dilakukan analisa terhadap pengaruh penggunaan pemanas pada pengering beku vakum. Analisa yang dilakukan meliputi pengaruh penggunaan pemanas terhadap beban pendinginan dan pengaruh panjang pipa pemanas.

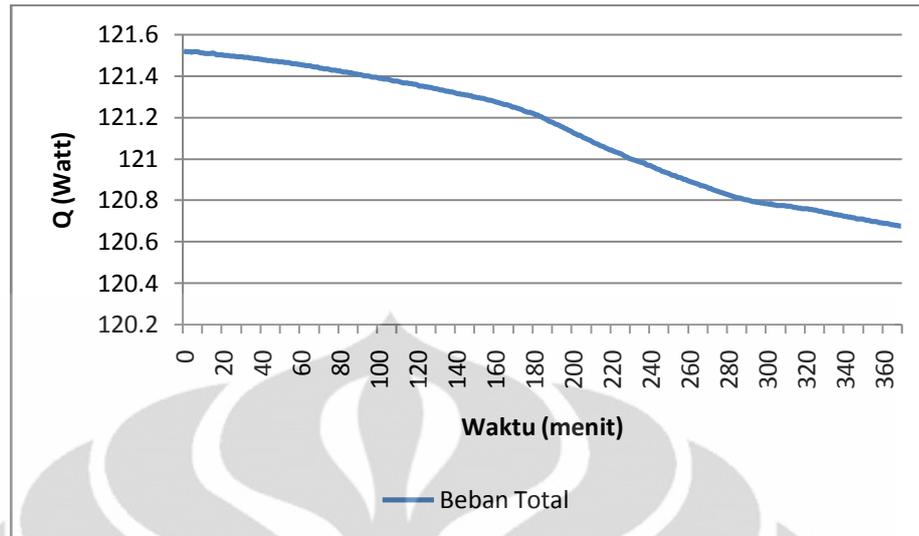
4.1 Pengujian Tanpa Penggetar

4.1.1 Pengujian Tanpa Pemanas

Berdasarkan pengujian yang dilakukan maka didapat grafik perbandingan antara temperatur evaporator dan temperatur material serta grafik beban pendinginan total yang meliputi beban material dan beban dinding.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.

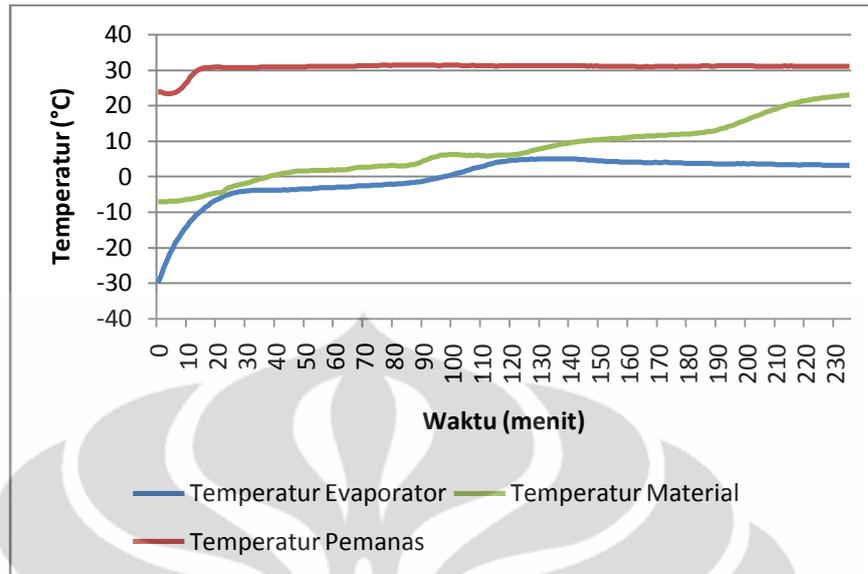


Gambar 4.2 Grafik beban pendinginan total pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.

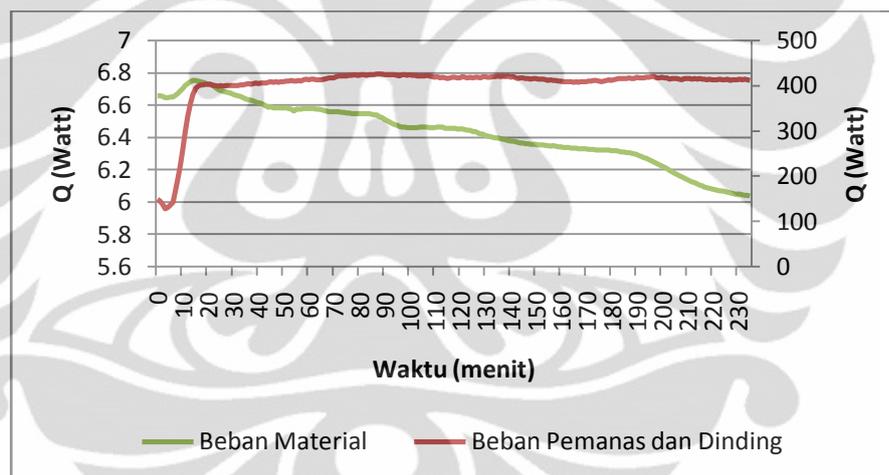
Dari grafik perbandingan temperatur dapat terlihat bahwa temperatur evaporator cenderung konstan pada saat terjadi proses pengeringan hal ini dikarenakan beban pendinginan pada pengujian ini relatif kecil. Beban pendinginan hanya berupa beban dinding dan beban dari material itu sendiri. Pada grafik beban pendinginan terlihat bahwa beban pendinginan mengalami penurunan selama pengujian. Hal ini dikarenakan proses sublimasi yang terjadi mengakibatkan berkurangnya massa dari material sehingga besarnya beban pendinginan pun pasti akan berkurang.

4.1.2 Pengujian Dengan Pemanas Atas Pada Temperatur Maksimum

Pada pengujian ini katup pemanas atas dibuka penuh selama proses pengeringan. Hal ini bertujuan agar pemanas bekerja pada kemampuan maksimumnya sehingga dihasilkan temperatur tertinggi dari pemanas. Grafik yang didapatkan berdasarkan data hasil pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas pada temperatur maksimum.



Gambar 4.4 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas pada temperatur maksimum.

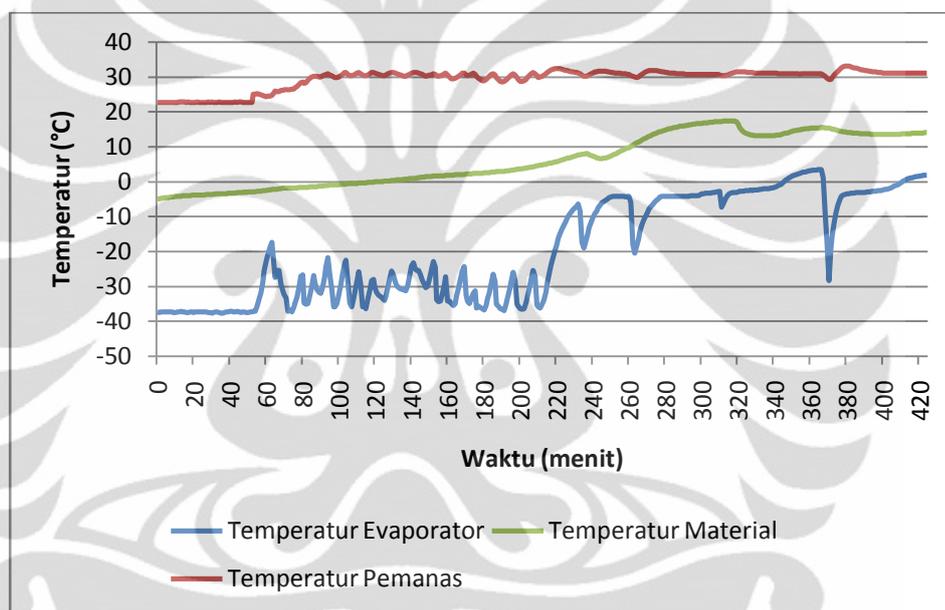
Dari grafik perbandingan temperatur terlihat bahwa terjadi kenaikan temperatur evaporator selama pengoperasian pemanas pada temperatur maksimum. Hal ini dikarenakan beban yang diberikan pemanas terhadap evaporator sangatlah tinggi. Beban yang tinggi ini diterima evaporator selama proses pengeringan sehingga temperatur evaporator terus beranjak naik bahkan hingga mencapai nilai positif. Pada grafik beban pendinginan terlihat beban pemanas bertambah pada awal pengoperasiannya lalu pada saat tercapai temperatur maksimum beban evaporator menjadi stabil. Seperti halnya pada

Universitas Indonesia

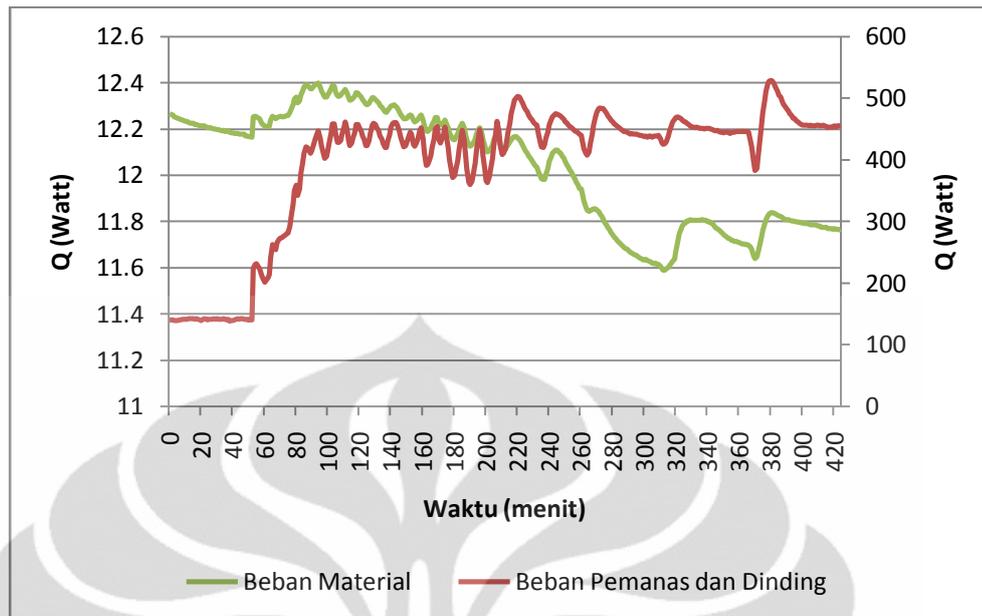
pengujian sebelumnya beban material selama pengujian terus berkurang akibat sublimasi yang terjadi pada material sehingga terjadi pengurangan massa seiring dengan waktu pengujian.

4.1.3 Pengujian Dengan Pemanas Bawah Pada Temperatur Maksimum

Pada pengujian ini katup pemanas bawah dibuka penuh selama proses pengeringan. Hal ini bertujuan agar pemanas bekerja pada kemampuan maksimumnya sehingga dihasilkan temperatur tertinggi dari pemanas. Grafik yang didapatkan berdasarkan data hasil pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan pemanas bawah pada temperatur maksimum.



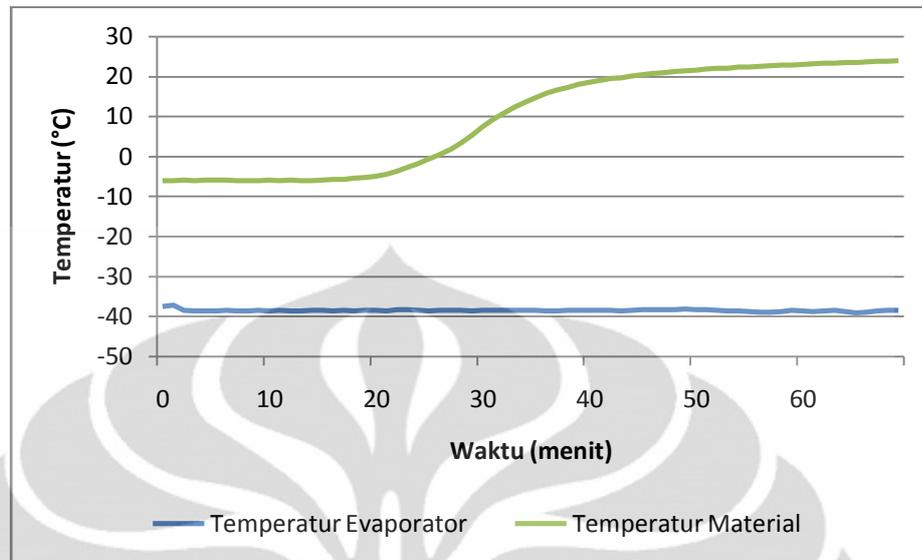
Gambar 4.6 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan pemanas bawah pada temperatur maksimum.

Berdasarkan grafik diatas dapat terlihat bahwa terjadi fluktuasi temperatur evaporator selama proses pengeringan. Hal ini terjadi karena temperatur pemanas tidak stabil berada pada suatu kisaran temperatur. Ketidakstabilan terjadi karena pengaturan temperatur pemanas dilakukan secara manual tanpa adanya control yang akurat, sehingga sulit untuk mendapatkan temperatur pemanas yang stabil. Fluktuasi pun terjadi pada beban pendinginan baik beban material maupun beban pemanas dan dinding. Selama pengoperasian pemanas terjadi kenaikan beban pendinginan sedangkan beban material mengalami penurunan.

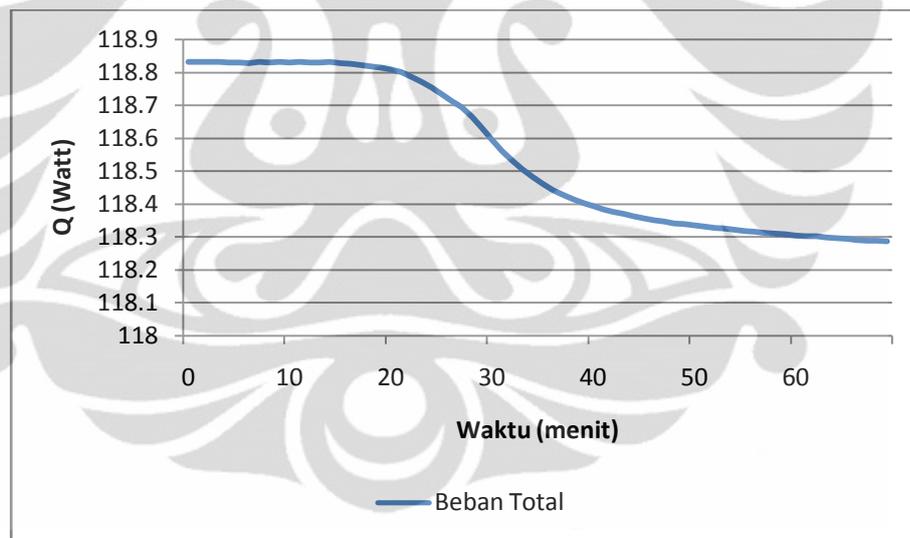
4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Penggetar

4.2.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Pemanas

Pada pengujian ini terdapat komponen tambahan berupa penggetar yang bertujuan untuk mempercepat laju pengeringan, karena uap air yang terjebak pada butir material diharapkan akan lebih mudah dilepas akibat adanya getaran. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan penggetar tanpa pemanas.



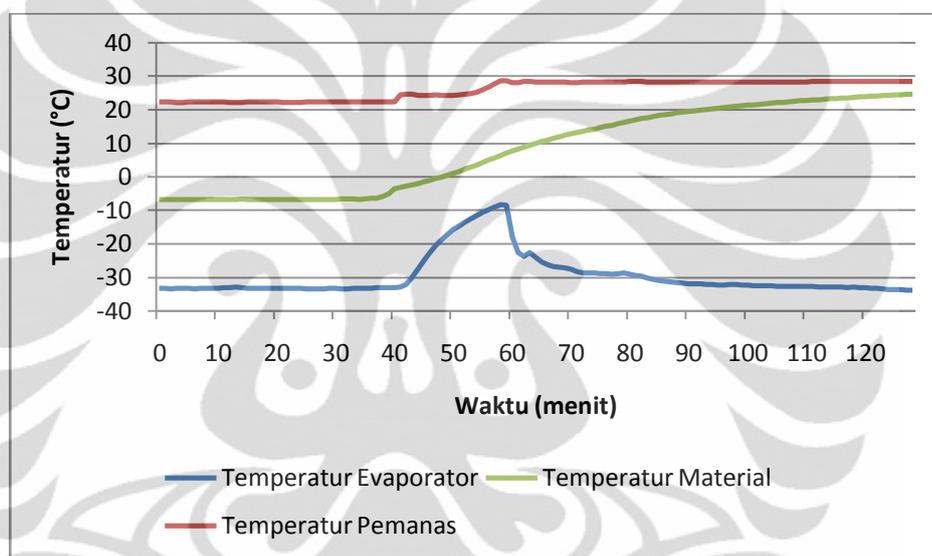
Gambar 4.8 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar tanpa pemanas.

Berdasarkan grafik terlihat bahwa temperatur evaporator cenderung konstan pada kisaran temperatur -38°C . Hal ini terjadi akibat tidak dioperasikannya pemanas sehingga beban yang diterima oleh evaporator relatif kecil. Beban yang diterima hanyalah beban dinding dan beban material yang

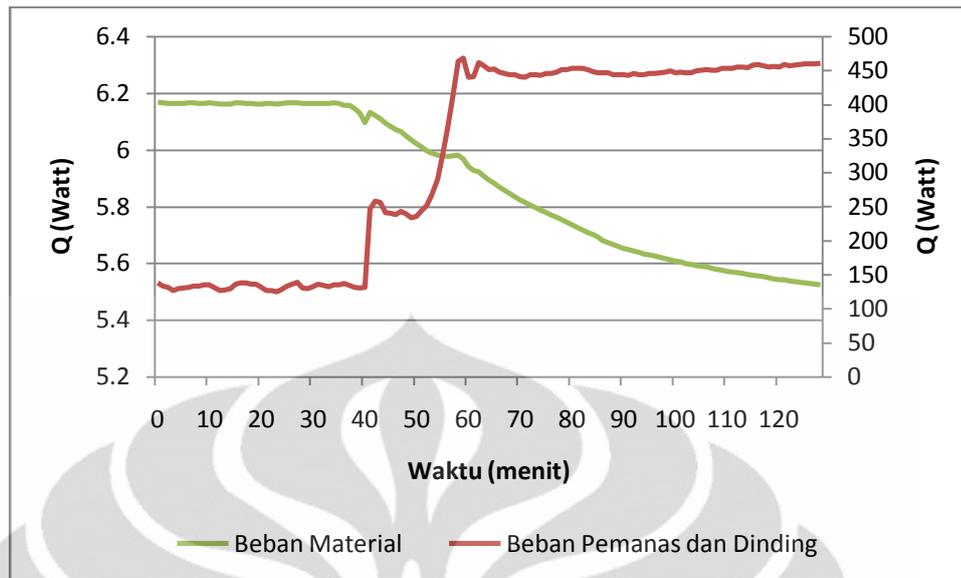
memiliki kecenderungan menurun selama pengujian akibat proses sublimasi pada material tersebut.

4.2.2 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 28°C

Pada pengujian ini pemanas diatur sedemikian rupa agar terjaga pada kisaran 28°C. Untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 28°C dilakukan pengaturan pada bukaan katup pemanas atas dan katup kondensor. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 28°C.

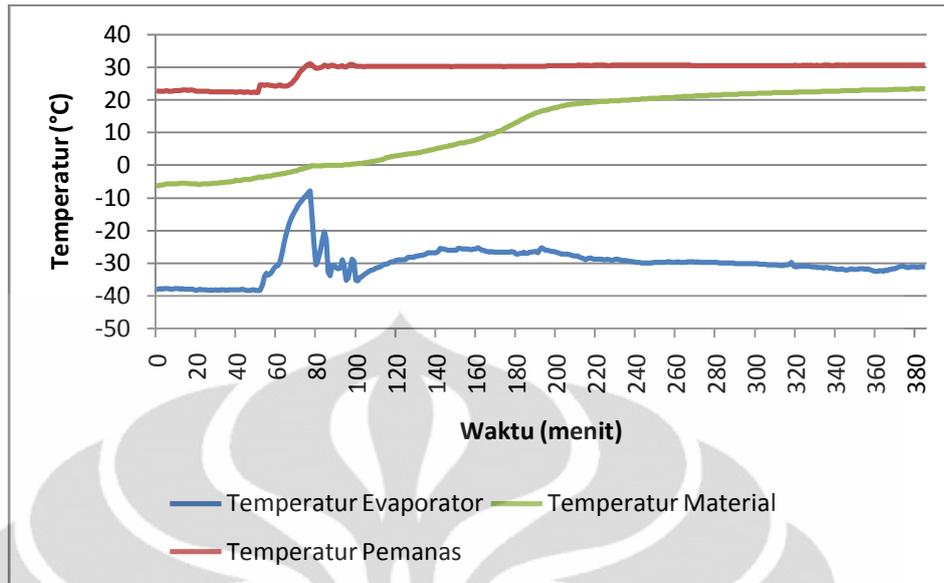


Gambar 4.10 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 28°C.

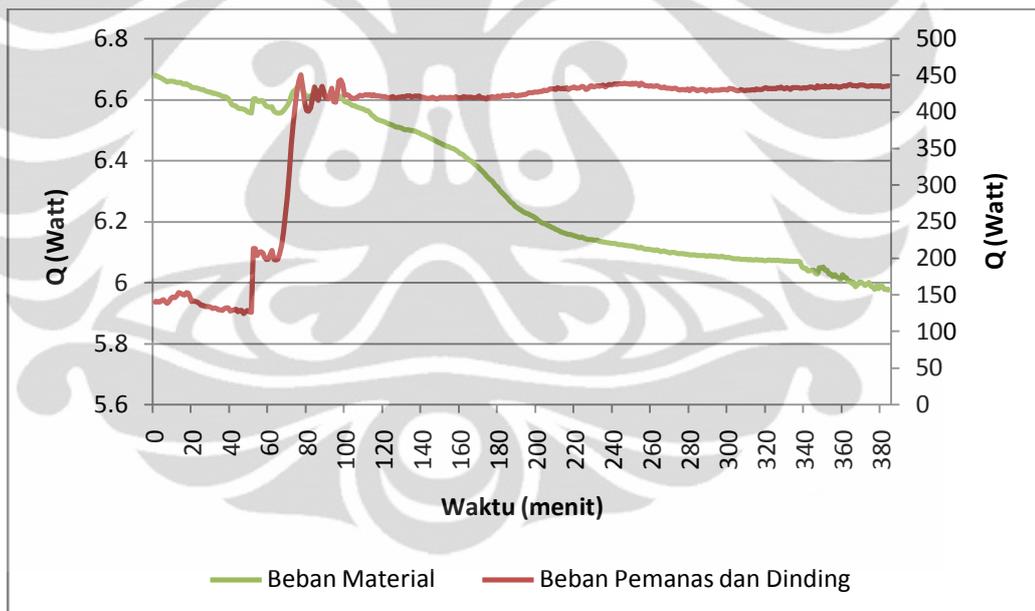
Dari grafik terlihat bahwa terjadi fluktuasi temperatur evaporator dan pemanas pada pertengahan grafik. Fluktuasi ini karena pengaturan katup pemanas yang dilakukan secara manual untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 28°C. Setelah temperatur pemanas terjaga pada temperatur 28°C maka temperatur evaporator pun kembali stabil. Temperatur evaporator pada kondisi stabil mengalami kenaikan apabila dibandingkan dengan pengujian tanpa menggunakan pemanas. Temperatur evaporator yang semula berada pada kisaran -38°C naik menjadi sekitar -32°C, hal ini terjadi akibat adanya beban tambahan dari pemanas. Demikian halnya dengan grafik beban pendinginan, pada beban pemanas terjadi kenaikan berkala. Hal ini terjadi karena pemanas yang semula temperaturnya sama dengan temperatur ruangan perlahan naik hingga mencapai kisaran 28°C, maka beban pemanas pun mengalami kenaikan.

4.2.3 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 30°C

Pada pengujian ini pemanas diatur sedemikian rupa agar terjaga pada kisaran 30°C. Untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 30°C dilakukan pengaturan pada bukaan katup pemanas atas dan katup kondensor. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.11 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 30°C.



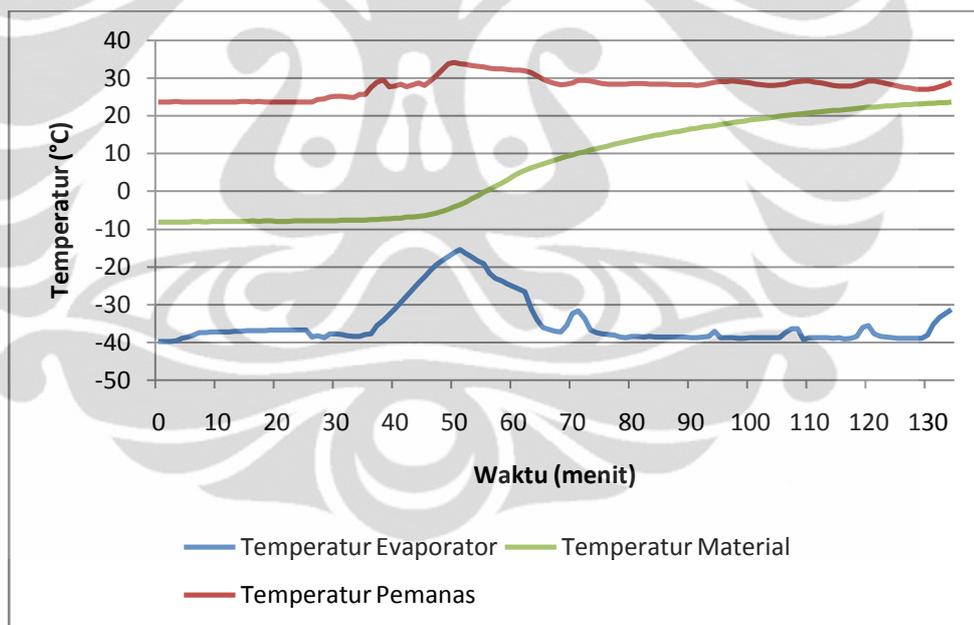
Gambar 4.12 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas atas 30°C.

Dari grafik terlihat bahwa terjadi fluktuasi temperatur evaporator dan pemanas pada awal pengoperasian pemanas. Fluktuasi ini karena pengaturan katup pemanas yang dilakukan secara manual untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 30°C. Setelah temperatur pemanas terjaga pada temperatur 30°C maka temperatur evaporator pun kembali stabil. Temperatur evaporator pada

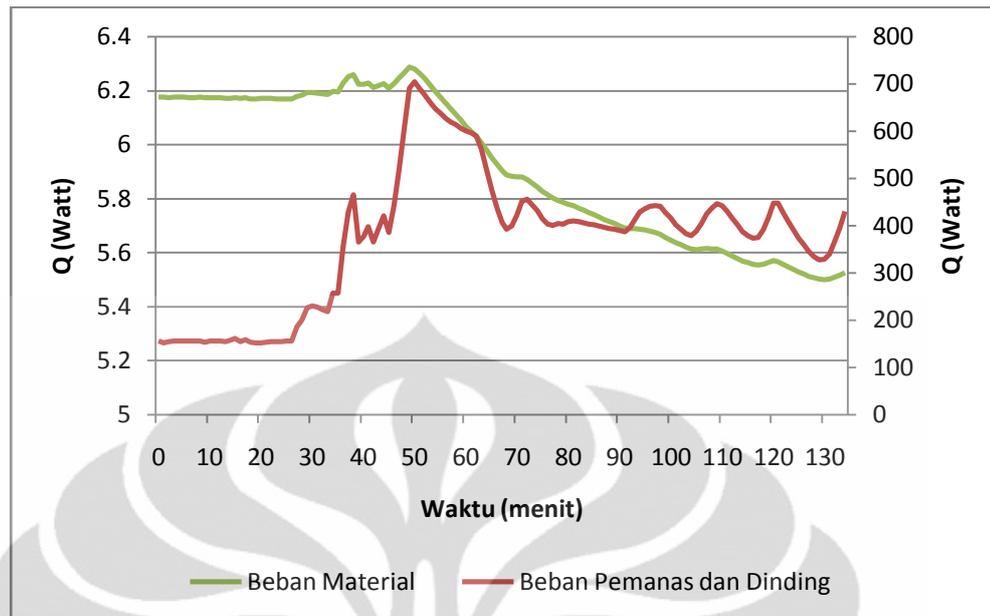
kondisi stabil mengalami kenaikan apabila dibandingkan dengan pengujian tanpa menggunakan pemanas. Temperatur evaporator yang semula berada pada kisaran -38°C naik menjadi sekitar -29°C , hal ini terjadi akibat adanya beban tambahan dari pemanas. Demikian halnya dengan grafik beban pendinginan, pada beban pemanas terjadi kenaikan berkala. Hal ini terjadi karena pemanas yang semula temperaturnya sama dengan temperatur ruangan perlahan naik hingga mencapai kisaran 30°C , maka beban pemanas pun mengalami kenaikan.

4.2.4 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 28°C

Pada pengujian ini pemanas bawah diatur sedemikian rupa agar terjaga pada kisaran 28°C . Untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 28°C dilakukan pengaturan pada bukaan katup pemanas bawah dan katup kondensor. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.13 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 28°C .

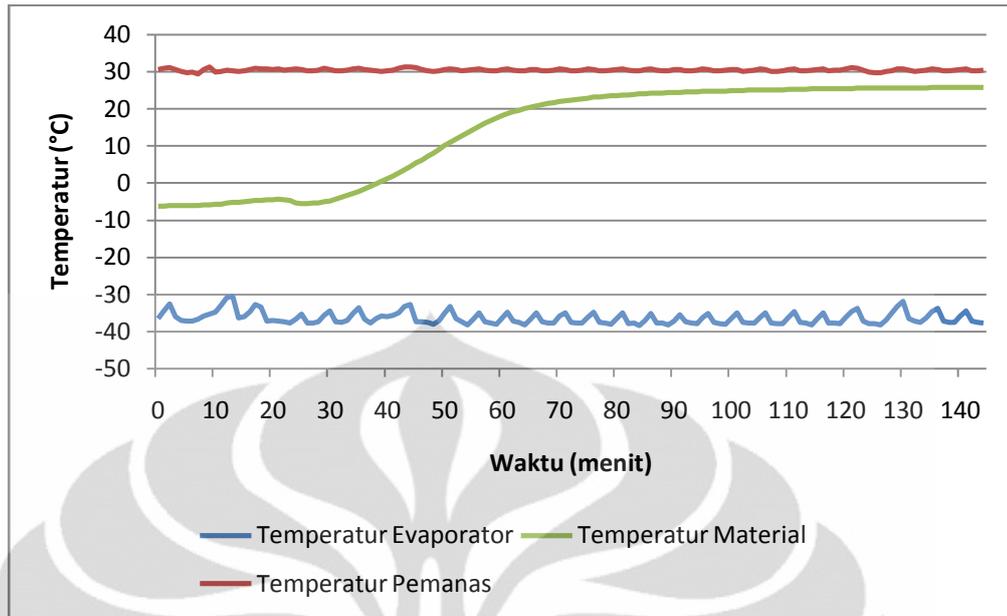


Gambar 4.14 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 28°C .

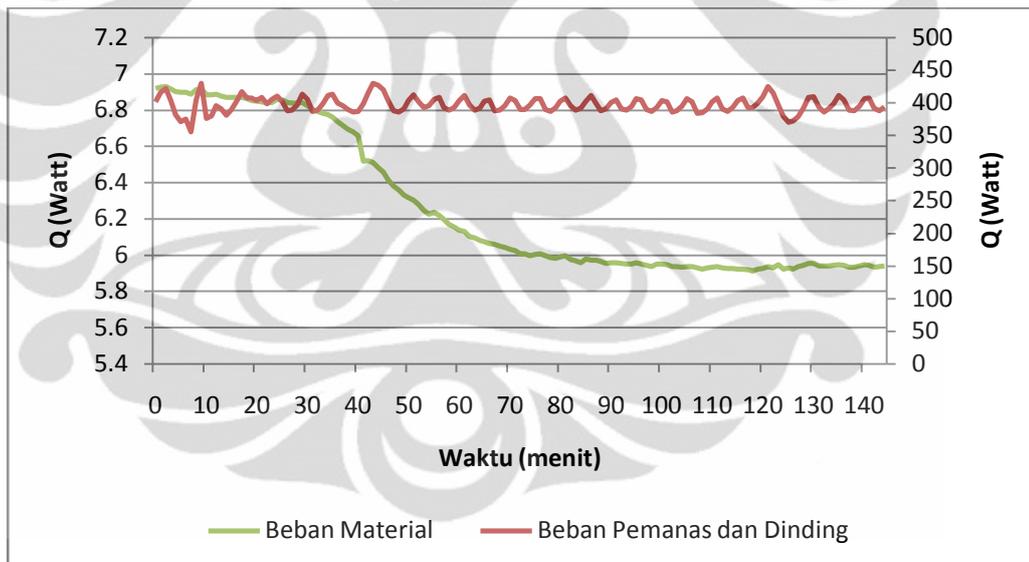
Berdasarkan grafik terlihat bahwa terjadi fluktuasi temperatur evaporator selama pengujian. Hal ini akibat temperatur pemanas yang tidak dapat terjaga pada kisaran 28°C . Pengaturan temperatur pemanas yang dilakukan secara manual mengakibatkan terjadi perubahan temperatur pemanas selama pengujian. Temperatur berada pada kisaran 27°C sampai dengan 29°C , sehingga pada grafik terlihat terjadi kenaikan dan penurunan temperatur pemanas selama pengujian. Demikian halnya dengan beban pemanas, akibat temperatur yang tidak stabil maka beban pemanas pun mengalami fluktuasi.

4.2.5 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 30°C

Pada pengujian ini pemanas bawah diatur sedemikian rupa agar terjaga pada kisaran 30°C . Untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 30°C dilakukan pengaturan pada bukaan katup pemanas bawah dan katup kondensor. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.15 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 30°C.



Gambar 4.16 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan penggetar dan pemanas bawah 30°C.

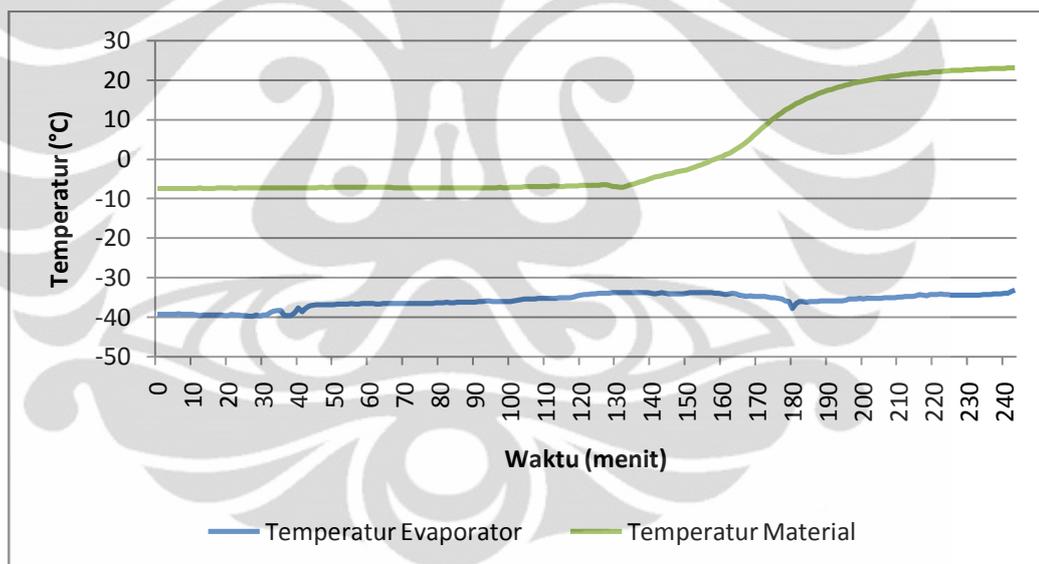
Berdasarkan grafik terlihat bahwa terjadi fluktuasi pada temperatur pemanas, temperatur evaporator dan beban pemanas. Hal ini terjadi akibat temperatur pemanas tidak dapat terjaga pada kisaran 30°C. Selama pengujian untuk mendapatkan kisaran temperatur pemanas yang tidak terlalu jauh dengan 30°C maka dilakukan pengaturan bukaan katup baik kondensor dan pemanas

bawah. Pengaturan bukaan katup ini dilakukan secara manual selama pengujian. Beban pendinginan yang berasal dari pemanas pun mengalami hal yang serupa yaitu terjadi kenaikan dan penurunan selama pengujian. Sementara beban material tetap menurun selama pengeringan.

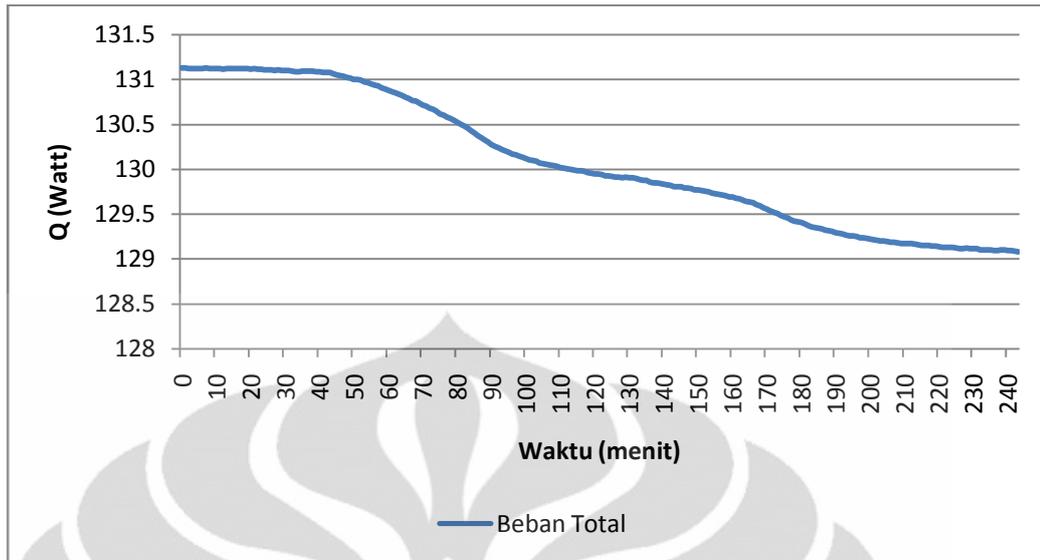
4.3 Pengujian Dengan Menggunakan Wadah Bertingkat

4.3.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Pemanas

Pada pengujian ini terjadi penambahan jumlah wadah, yang semula hanya digunakan satu wadah selama pengujian kini menjadi tiga wadah yang disusun secara bertingkat keatas. Pengujian ini bertujuan untuk meningkatkan kuantitas produk yang dihasilkan pengering beku vakum. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.17 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.

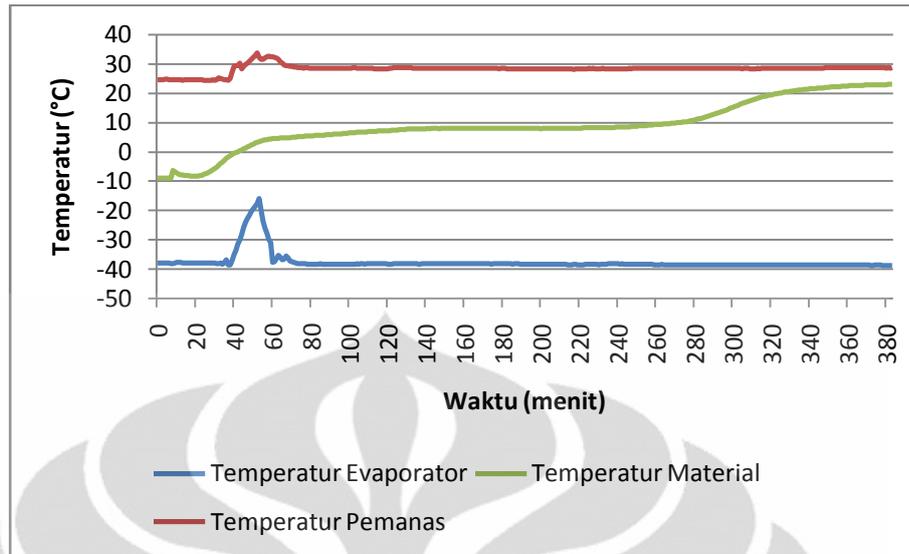


Gambar 4.18 Grafik beban pendinginan pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.

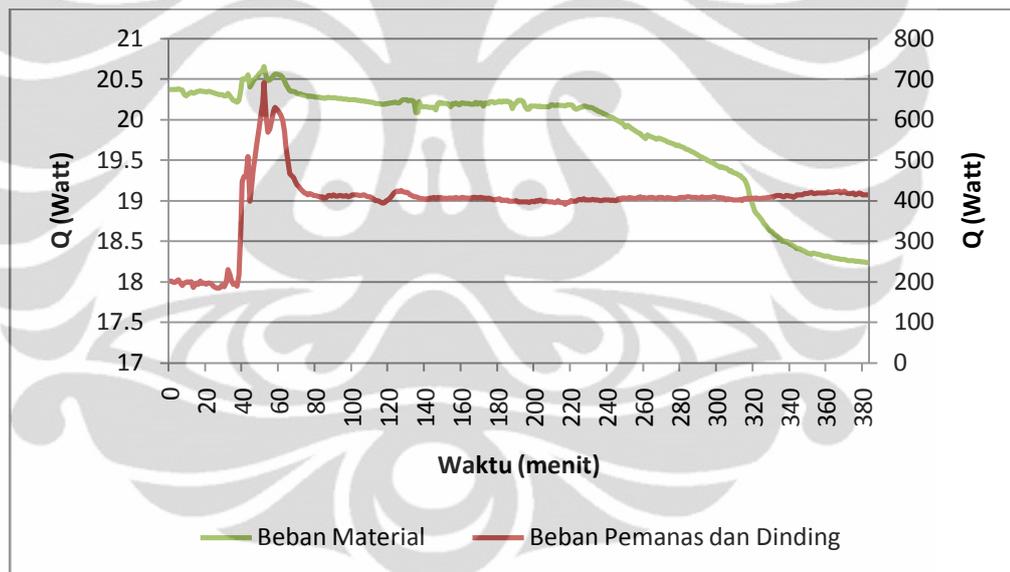
Berdasarkan grafik terlihat bahwa temperatur evaporator cenderung konstan pada kisaran temperatur -34°C . Hal ini terjadi akibat tidak dioperasikannya pemanas sehingga beban yang diterima oleh evaporator relatif kecil. Beban yang diterima hanyalah beban dinding dan beban material yang memiliki kecenderungan menurun selama pengujian akibat proses sublimasi pada material tersebut.

4.3.2 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 28°C

Pada pengujian ini pemanas atas diatur sedemikian rupa agar terjaga pada kisaran 28°C . Untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 28°C dilakukan pengaturan pada bukaan katup pemanas atas dan katup kondensor. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.19 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas 28°C.



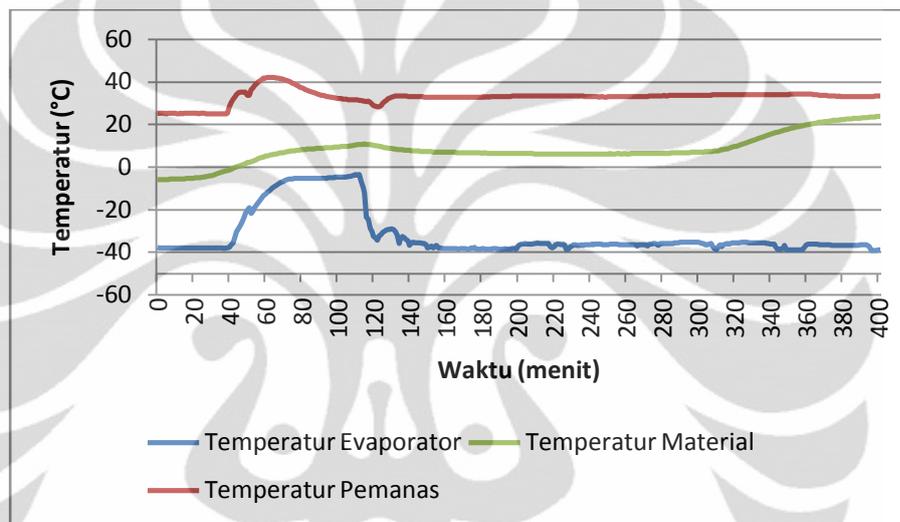
Gambar 4.20 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan wadah bertingkat dan pemanas atas 28°C.

Berdasarkan grafik terlihat terjadi fluktuasi temperatur evaporator pada awal pengoperasian pemanas. Pengaturan temperatur pemanas yang dilakukan secara manual mengakibatkan terjadi perubahan temperatur pemanas diluar kisaran yang diinginkan yaitu 28°C. Pada saat pengaturan temperatur mencapai kisaran 27°C hingga 32°C. Fluktuasi pada temperatur pemanas mengakibatkan hal yang

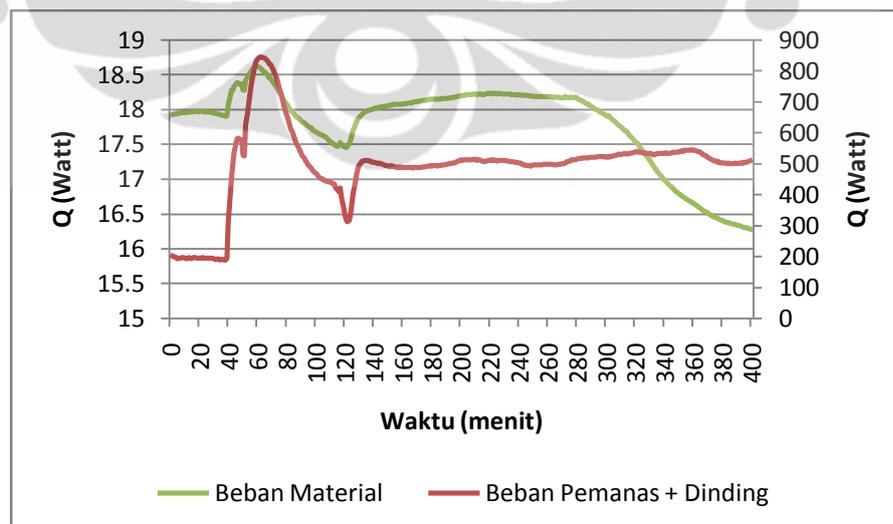
sama terjadi pada beban pemanas yaitu kenaikan yang tidak teratur sebelum akhirnya beban pemanas konstan.

4.3.3 Pengujian Dengan Pemanas Atas Pada Temperatur Maksimum.

Katup pemanas atas terbuka penuh selama proses pengeringan agar temperatur pemanas dapat mencapai temperatur maksimum atau temperatur tertinggi yang mampu dicapai oleh pemanas. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.21 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas maksimum.

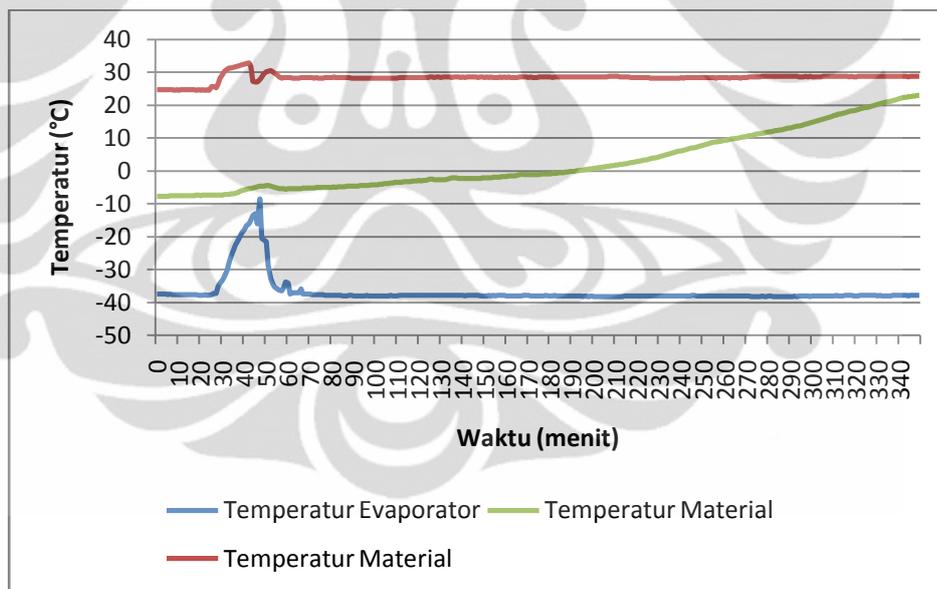


Gambar 4.22 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas atas maksimum.

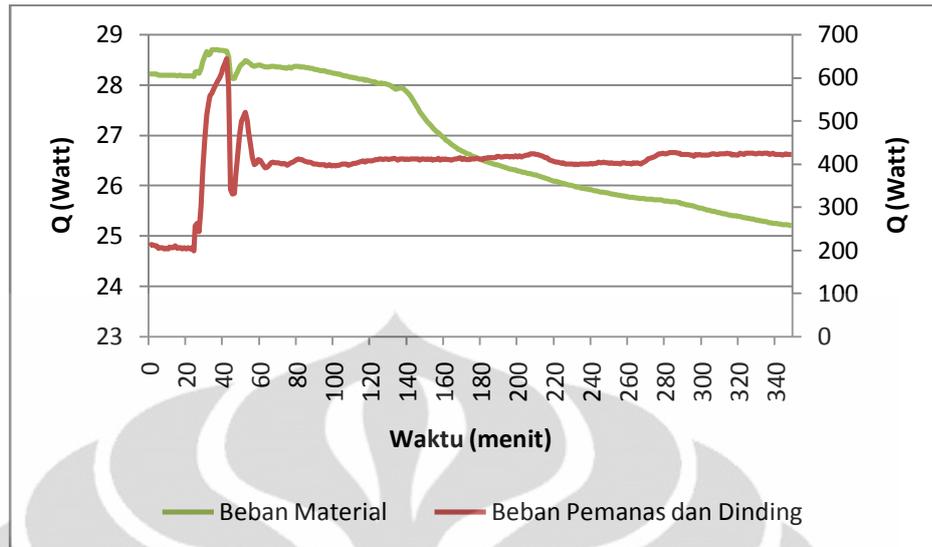
Berdasarkan grafik terlihat temperatur evaporator mengalami fluktuasi sebelum mencapai temperatur yang relatif konstan pada kisaran -36°C . Fluktuasi terjadi karena dalam pengaturan temperatur pemanas memerlukan waktu yang cukup lama akibat pengaturan yang dilakukan secara manual. Setelah tercapai kondisi stabil maka temperatur pemanas cenderung konstan, demikian halnya dengan beban pemanas yang mengalami fluktuasi sebelum tercapai beban yang konstan. Sementara beban material mengalami penurunan walaupun dari grafik terlihat penurunan yang terjadi tidak secara konstan.

4.3.4 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 28°C

Pada pengujian ini pemanas atas diatur sedemikian rupa agar terjaga pada kisaran 28°C . Untuk mendapatkan temperatur pemanas pada kisaran 28°C dilakukan pengaturan pada bukaan katup pemanas atas dan katup kondensor. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.23 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas bawah 28°C .

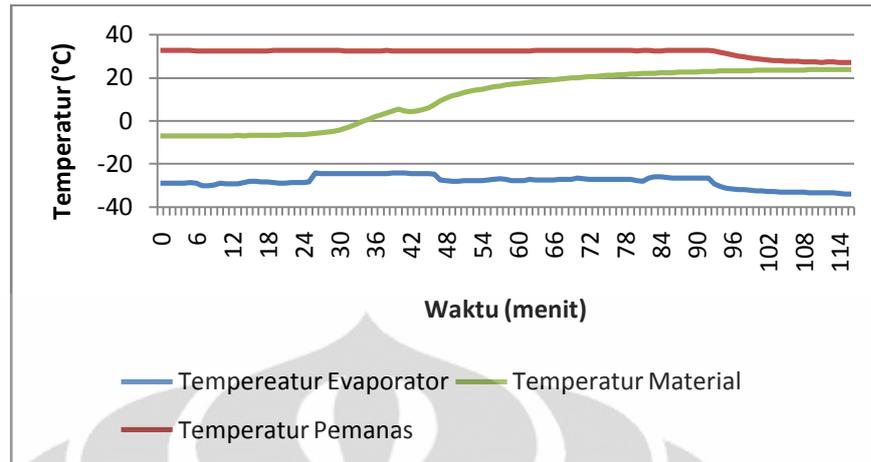


Gambar 4.24 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan wadah bertingkat dan pemanas bawah 28°C.

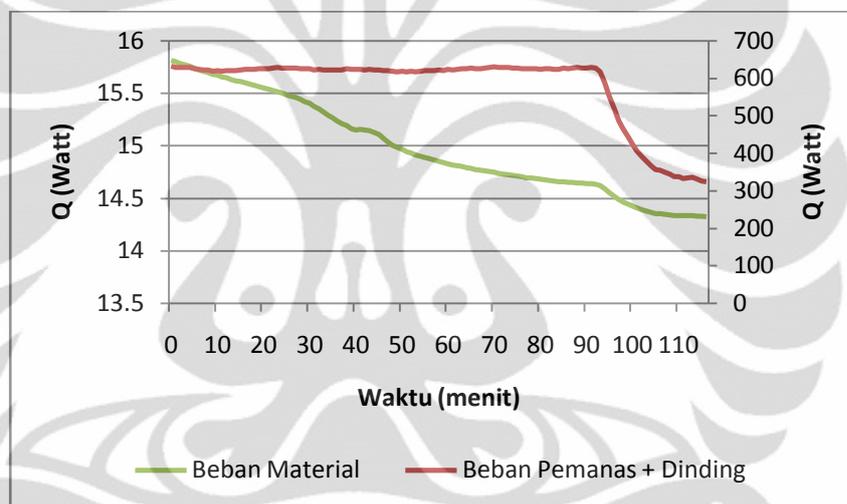
Seperti halnya pada pengujian sebelumnya yang menggunakan pemanas terjadi fluktuasi pada awal pengoperasian pemanas hingga akhirnya temperatur pemanas konstan. Fluktuasi temperatur ini berpengaruh pada beban pemanas yang juga mengalami fluktuasi. Temperatur material mengalami kenaikan secara konstan dan berbanding terbalik dengan beban material yang mengalami penurunan.

4.3.5 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah Pada Temperatur Maksimum.

Katup pemanas atas terbuka penuh selama proses pengeringan agar temperatur pemanas dapat mencapai temperatur maksimum atau temperatur tertinggi yang mampu dicapai oleh pemanas. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.25 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan wadah bertingkat dan pemanas bawah maksimum.



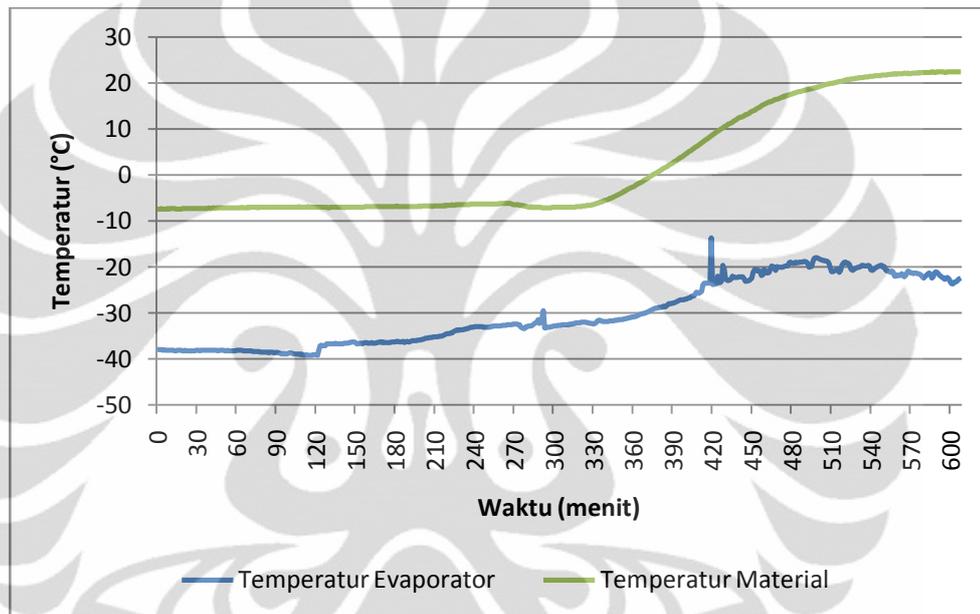
Gambar 4.26 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan wadah bertingkat dan pemanas bawah maksimum.

Berdasarkan grafik dapat terlihat bahwa grafik temperatur cenderung stabil walaupun terjadi sedikit kenaikan itu terjadi pada awal pengoperasian pemanas dan awal terjadi kenaikan temperatur material. Pada akhir pengujian terjadi penurunan temperatur pemanas yang berakibat pada menurunnya beban pemanas dan terjadi pula penurunan temperatur evaporator. Pada grafik beban material tetap terjadi penurunan seiring dengan waktu pengujian.

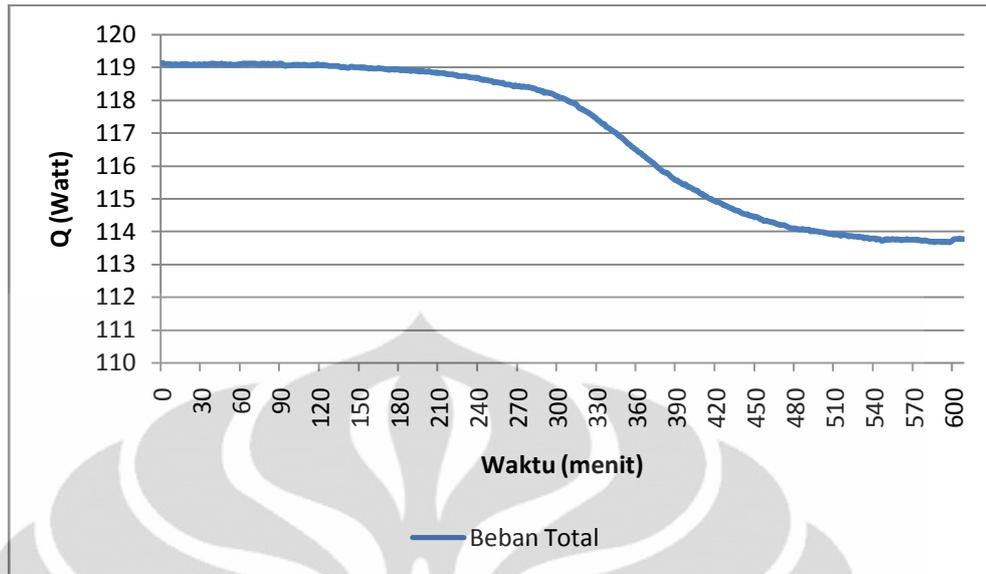
4.4 Pengujian Material Teripang

4.4.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Pemanas

Sebagai bahan pembanding terhadap pengujian pada tumbuhan maka dilakukan pengujian terhadap hewan yang berupa biota laut yaitu teripang. Dengan pengujian ini diharapkan dapat diketahui perbedaan mendasar pada proses pengeringan antara hasil pertanian dengan biota laut. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.27 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.

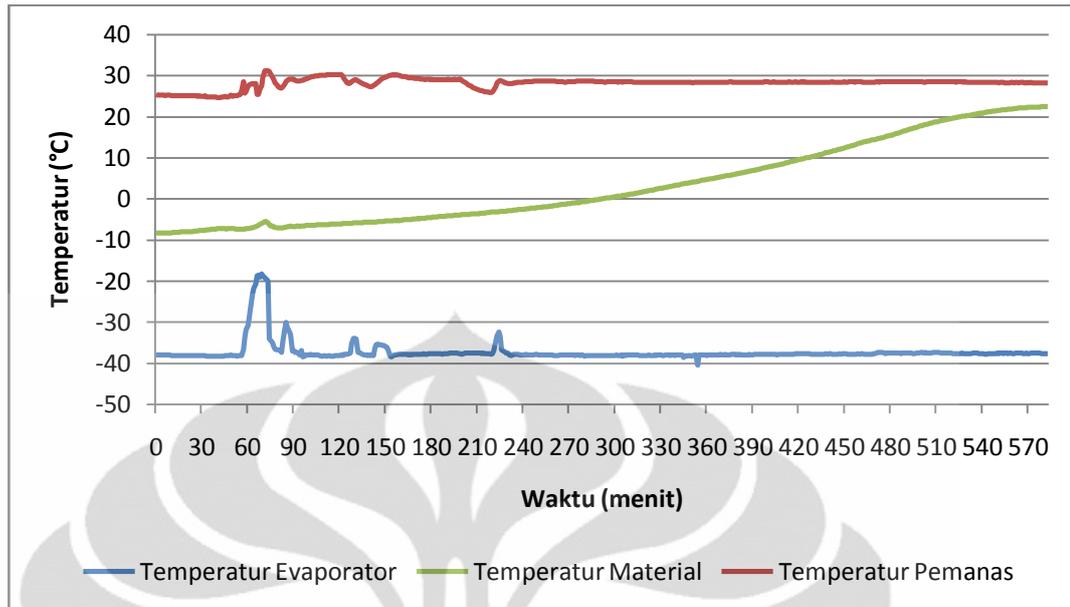


Gambar 4.28 Grafik beban pendinginan pada pengujian tanpa menggunakan pemanas.

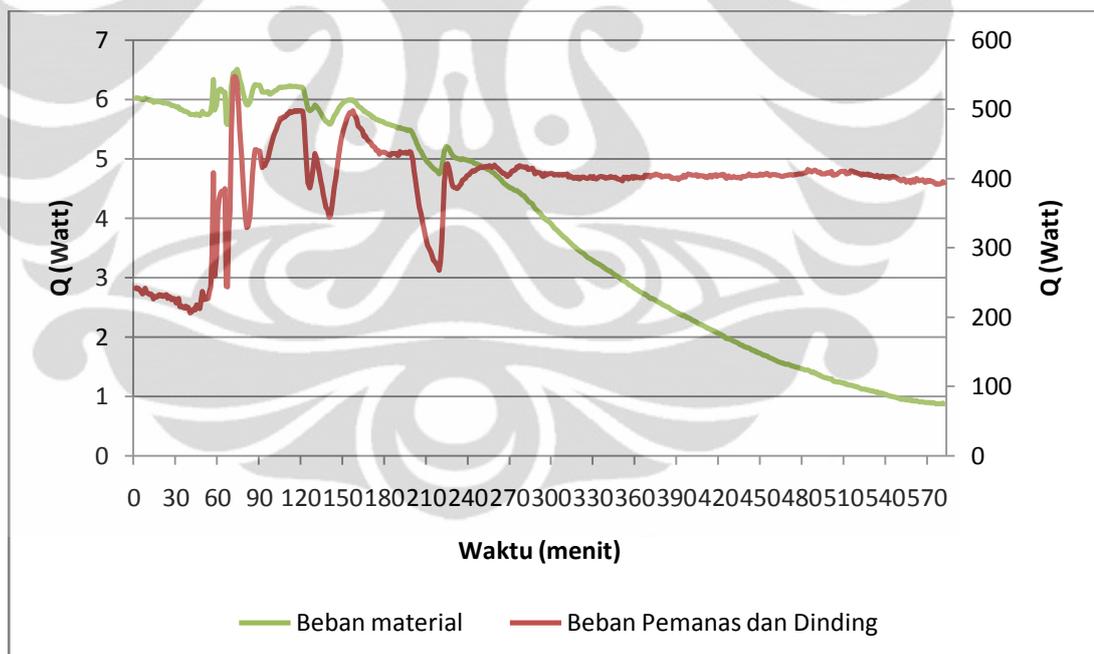
Struktur anatomi dari teripang berpengaruh terhadap pengeringan. Teripang yang memiliki kandungan air lebih kecil bila dibandingkan dengan aloe vera memerlukan waktu pengeringan yang lebih lama. Hal ini berpengaruh terhadap kinerja evaporator yang semakin naik pada akhir pengujian. Beban pendinginan yang dihasilkan teripang pun lebih besar bila dibandingkan dengan aloe vera, walaupun begitu tetap saja selama pengujian terjadi penurunan beban material akibat proses sublimasi material.

4.4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 28°C

Pada pengujian ini pemanas diatur sedemikian rupa hingga terjaga konstan pada kisaran temperatur 28°C. Untuk mencapai temperatur pemanas tersebut dilakukan pengaturan bukaan katup kondensor dan katup pemanas. Grafik hasil pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.29 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 28°C .



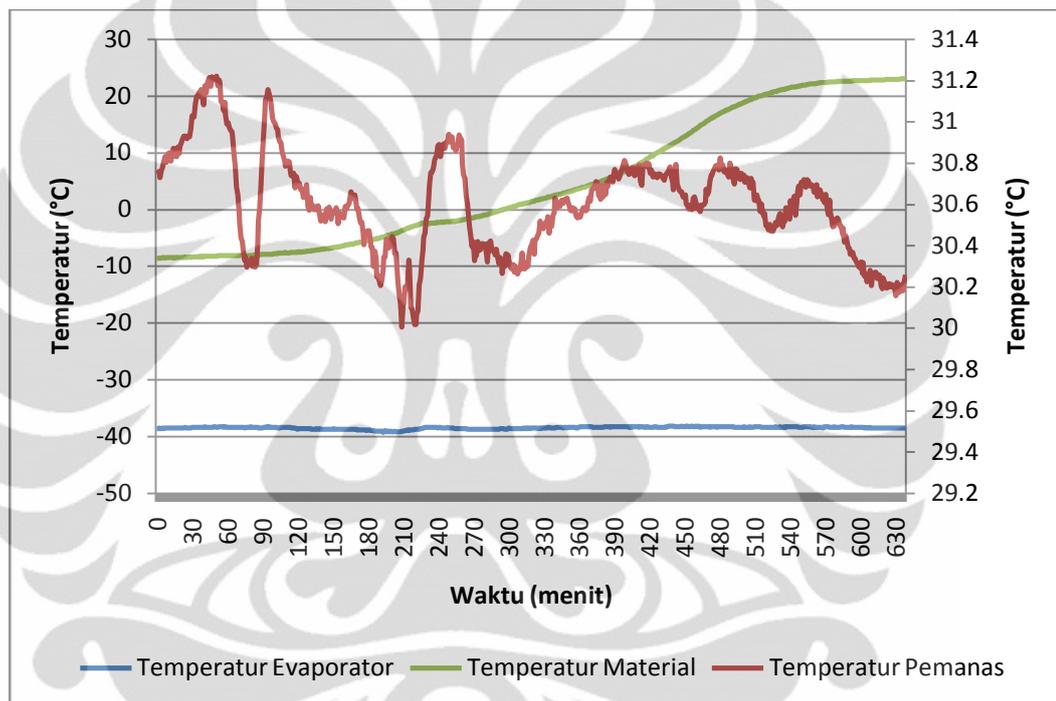
Gambar 4.30 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 28°C.

Dari grafik terlihat bahwa teripang memerlukan waktu yang lama dalam proses pengeringannya. Beban pemanas cenderung konstan pada kisaran 290 Watt walaupun pada awal pengoperasian pemanas tetap terjadi fluktuasi. Beban material pun mengalami penurunan sesuai dengan laju pengeringan dan proses

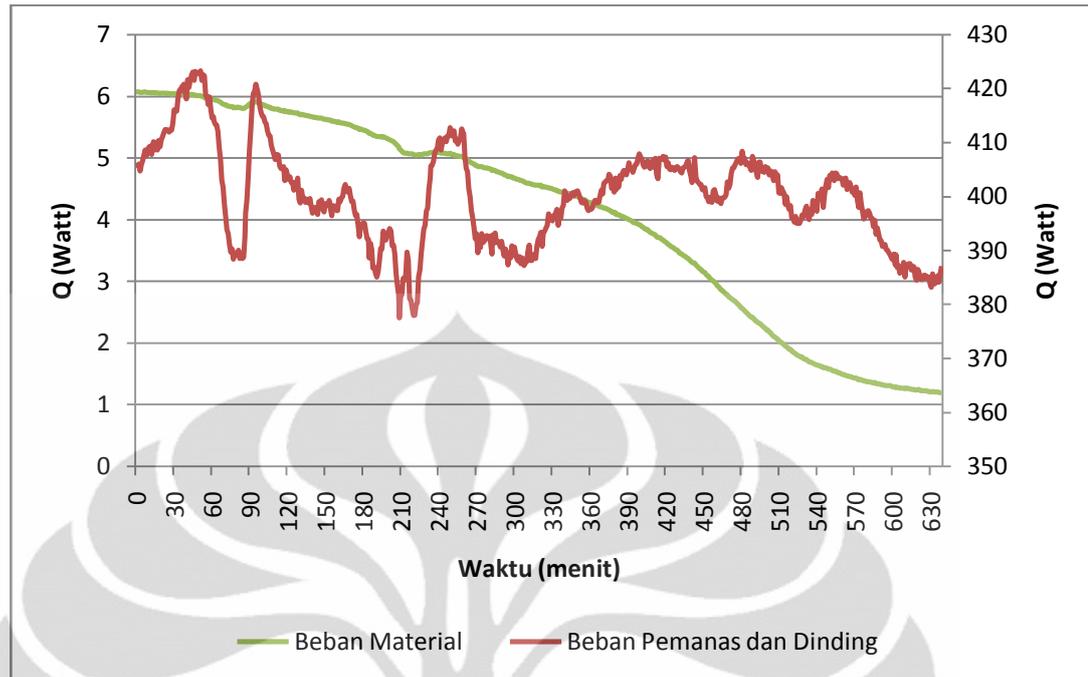
sublimasi yang terjadi pada material. Temperatur evaporator mengalami fluktuasi sesuai dengan fluktuasi yang terjadi pada temperatur pemanas.

4.4.3 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Atas 30°C

Pada pengujian ini pemanas diatur sedemikian rupa hingga terjaga konstan pada kisaran temperatur 30°C. Untuk mencapai temperatur pemanas tersebut dilakukan pengaturan bukaan katup kondensor dan katup pemanas. Grafik hasil pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.31 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 30°C .

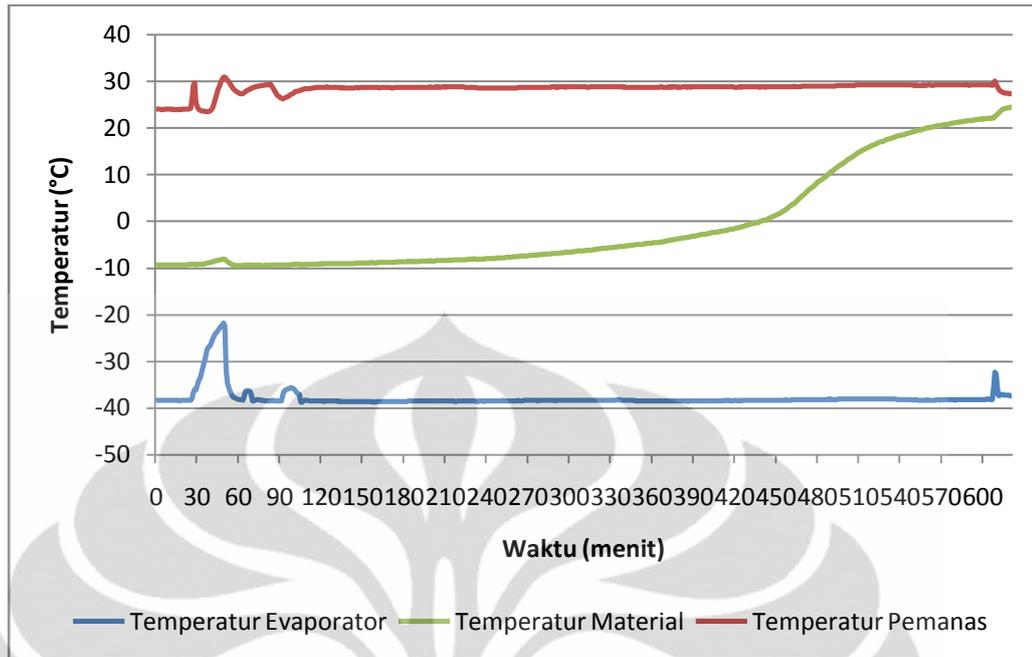


Gambar 4.32 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas atas 30°C.

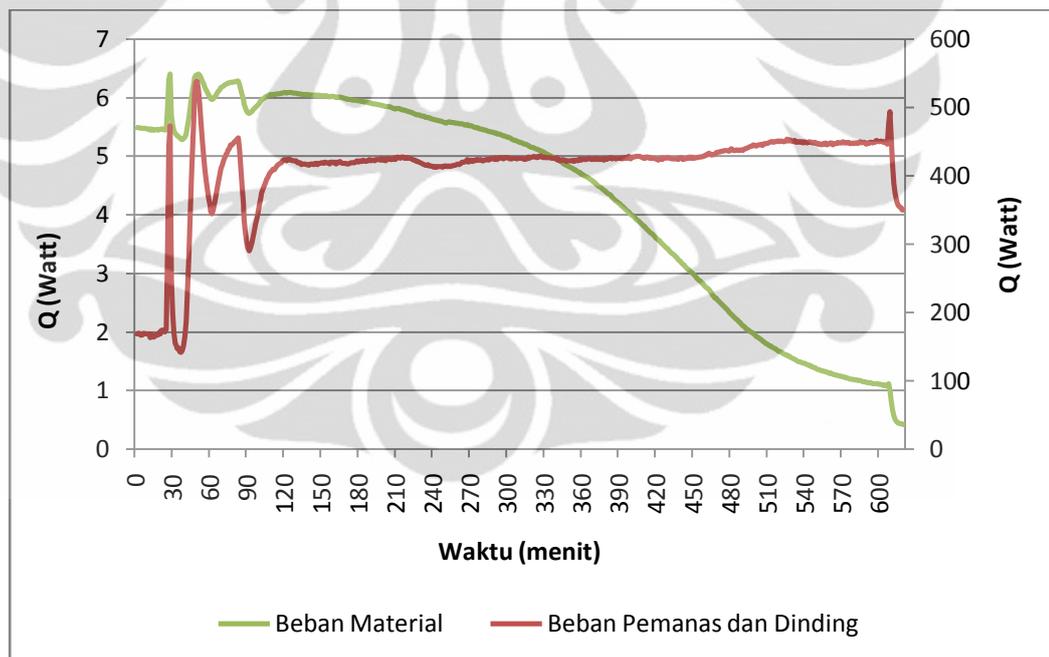
Fluktuasi yang terjadi pada temperatur pemanas berpengaruh secara langsung terhadap grafik beban pendinginan, dimana beban pemanas pun mengalami fluktuasi dengan kenaikan dan penurunan yang cukup signifikan.

4.4.4 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 28°C

Pada pengujian ini pemanas diatur sedemikian rupa hingga terjaga konstan pada kisaran temperatur 28°C. Untuk mencapai temperatur pemanas tersebut dilakukan pengaturan bukaan katup kondensor dan katup pemanas. Grafik hasil pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.33 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 28°C .



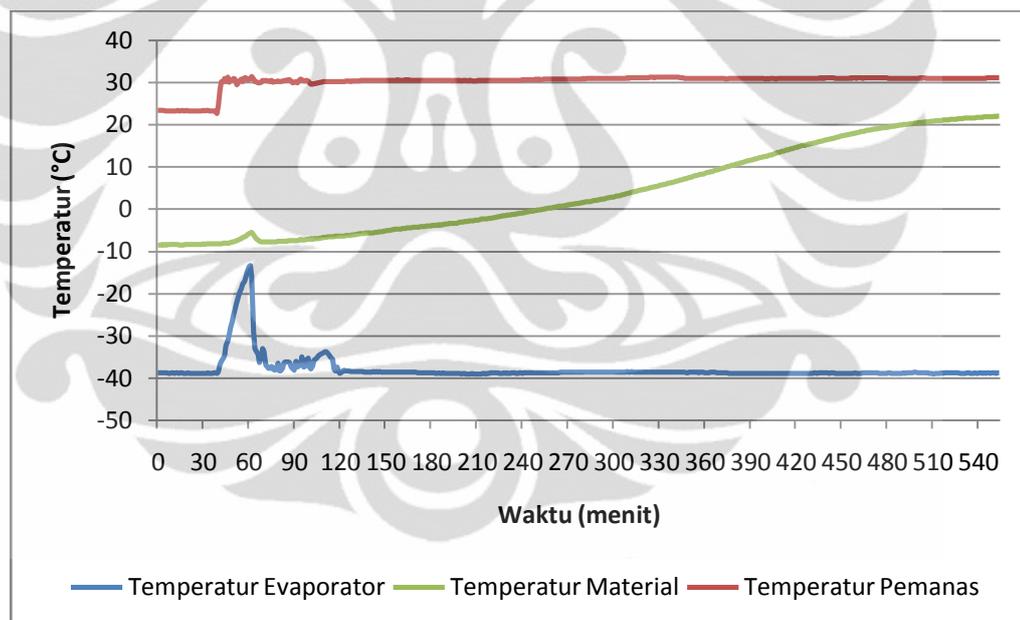
Gambar 4.34 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 28°C .

Seperti pengujian dengan pemanas yang telah dilakukan sebelumnya, pada pengujian ini terjadi fluktuasi temperatur evaporator pada awal pengoperasian pemanas. Hal ini akibat pengaturan temperatur pemanas yang dilakukan secara

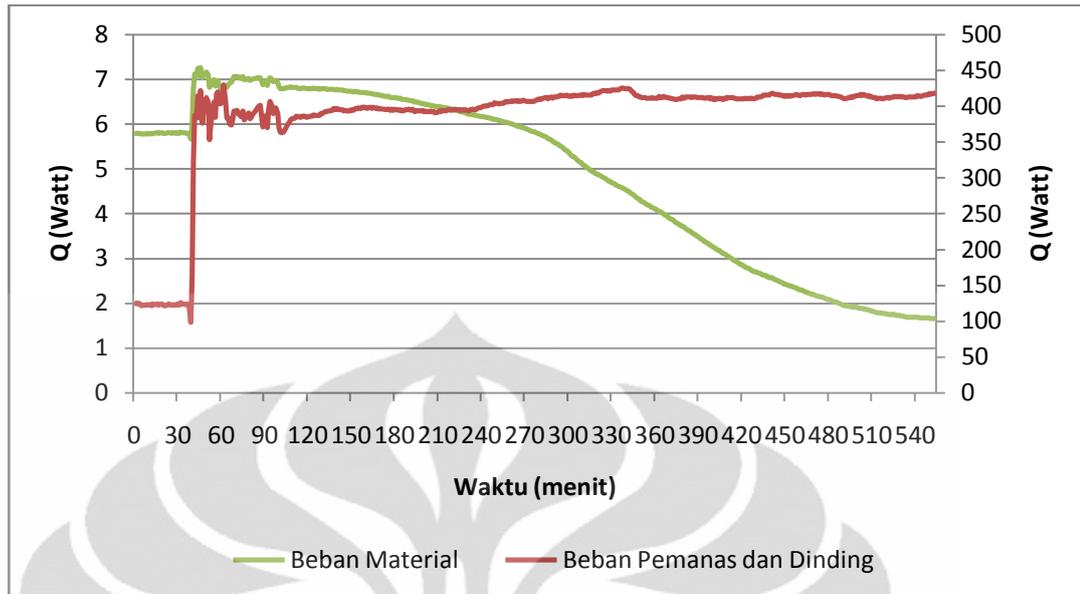
manual sehingga tidak dapat tepat langsung merubah temperatur pemanas sesuai yang diinginkan. Untuk mendapatkan temperatur yang sesuai perlu dilakukan pengaturan terhadap bukaan katup baik katup pada kondensor maupun katup pemanas yang digunakan.

4.4.5 Pengujian Dengan Menggunakan Pemanas Bawah 30°C

Pada pengujian ini dilakukan pengaturan temperatur pemanas bawah pada kisaran 30°C. Untuk mencapai temperatur tersebut maka katup kondensor ditutup rapat pada saat awal pengoperasian pemanas, lalu setelah temperatur pemanas mencapai 30°C katup kondensor kembali dibuka perlahan – lahan demikian pula dengan katup pemanas ditutup perlahan – lahan hingga pada suatu kondisi temperatur pemanas dapat terjaga pada kisaran 30°C. Grafik yang didapatkan berdasarkan pengujian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.35 Grafik perbandingan temperatur pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 30°C .



Gambar 4.36 Grafik beban pendinginan pada pengujian dengan menggunakan pemanas bawah 30°C.

Data yang dihasilkan dari pengujian ini cukup baik, karena kenaikan dan penurunan baik temperatur maupun beban pendinginan tidak terjadi secara drastic. Bahkan beberapa variable seperti temperatur evaporator, temperatur pemanas dan beban pemanas cenderung memiliki besar yang stabil setelah tercapai kondisi konstan.

4.5 Analisa Nilai Fraksi Massa

Tabel 4.1 Tabel fraksi uap

No	Massa	Tin eksp	vf	vg	x	Jenis Pengujian
1	1.26	16.29153797	0.00081713	0.028881	0.029117	Pemanas atas max
2	1.26	16.43808601	0.00081749	0.028759	0.029257	Pemanas bawah max
3	1.26	17.25653797	0.00081953	0.028094	0.030048	Getar + pemanas atas 28
4	1.26	16.36153797	0.0008173	0.028823	0.029183	Getar + pemanas atas 30
5	1.26	18.01808601	0.00082144	0.02749	0.030802	Getar + pemanas bawah 28
6	1.26	16.80808601	0.00081841	0.028456	0.029612	Getar + pemanas bawah 30
7	1.26	16.73653797	0.00081823	0.028515	0.029542	3 Tingkat + pemanas atas 28
8	1.26	17.91153797	0.00082117	0.027574	0.030695	3 Tingkat + pemanas atas max
9	1.26	16.86808601	0.00081856	0.028407	0.02967	3 Tingkat + pemanas

						bawah 28
10	1.26	16.38808601	0.00081737	0.0288	0.02921	3 Tingkat + pemanas bawah max
11	1.26	15.93653797	0.00081625	0.029177	0.028781	Teripang + pemanas atas 28
12	1.26	15.96153797	0.00081631	0.029156	0.028804	Teripang + pemanas atas 30
13	1.26	16.49808601	0.00081764	0.02871	0.029314	Teripang + pemanas bawah 28
14	1.26	16.17308601	0.00081683	0.028979	0.029005	Teripang + pemanas bawah 30

Dari tabel dapat terlihat bahwa nilai fraksi massa mendekati nol, yang berarti fluida sebagian besar telah berfasa liquid (cair). Dengan demikian berarti panjang pipa pemanas yang terpasang pada pengering beku vakum sudah cukup baik karena refrigeran yang akan masuk ke katup ekspansi telah sebagian besar terkondensasi dan berfasa liquid sehingga penurunan tekanan dan temperatur pada katup ekspansi dapat optimal.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai kinerja pengering beku vakum dan beberapa saran yang diharapkan dapat lebih mengoptimalkan kinerja alat.

Kesimpulan

- Penggunaan pemanas mempengaruhi beban pendinginan dari sistem refrigerasi. Pemanas menghasilkan kalor yang harus diserap sistem dan dibuang ke lingkungan.
- Pengaturan katup pada saat pengoperasian pemanas mengakibatkan terjadinya fluktuasi pada temperatur evaporator, temperatur pemanas dan beban pemanas.
- Beban material / produk berkurang seiring dengan waktu pengujian karena terjadi proses sublimasi pada material hingga akhirnya material kering.
- Dimensi pipa pemanas sudah cukup baik karena fraksi uap yang dihasilkan memiliki besar yang mendekati nol yang berarti sebagian besar refrigeran telah berfasa cair pada saat akan masuk katup ekspansi.

Saran

- Penambahan alat ukur untuk lebih memudahkan dalam melaksanakan pengujian dan melakukan analisa data.
- Konstruksi pintu sebaiknya dirubah untuk kepraktisan dalam pengujian dan mencegah terjadinya kebocoran.
- Penggunaan katup otomatis untuk mengatur temperatur pemanas, sehingga waktu yang diperlukan untuk mengatur temperatur pemanas lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

1. George Wiliam Otjen. (2004)., *Freeze Drying second completely revised and extended edition.*, Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA
2. Holman J.P. (1991), *Perpindahan Kalor (edisi keenam)* (E.Jasjfi,Penerjemah). Jakarta: Erlangga
3. Roy J Dossat. (1981), *Principles of Refrigeration (2nd ed.)*, John Wiley & Sons, Inc
4. Wilbert F Stoecker & Jerold W Jones. (1982), *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara (edisi kedua)* (Hara Supratman, Penerjemah.), Jakarta : Erlangga
5. Yunus A Cengel & Michael A Boles (1994), *Thermodynamics an Engineering Approach (2nd ed)*, McGraw – Hill, Inc
6. Incropera, Frank P. (2005), *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (6th ed)*, John Wiley and Sons.

