

#### 4. Pipa saluran dari Kondensor menuju *Hand expansion valve*

Bagian ini dirancang sebagai saluran yang mengalirkan metanol dari Kondensor ke *hand expansion valve* pada saat proses kondensasi berlangsung. Oleh karena itu, untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol, maka bahan yang dipilih untuk pipa ini adalah *stainless steel*. sedangkan ukuran pipa ini diseragamkan dengan ukuran keseluruhan ukuran pipa saluran yang digunakan yaitu  $\text{Ø}_{\text{dalam}} = 29 \text{ mm}$ ,  $\text{Ø}_{\text{luar}} = 34 \text{ mm}$  seperti pada gambar 3.6.

## BAB IV

### ANALISA KOMPONEN MESIN

#### 4.1 KONDENSOR

Modifikasi pada komponen berhasil karena tujuan modifikasi yang meliputi perbaikan komponen untuk meminimalisir kemungkinan kebocoran, meningkatkan kemampuan penyerapan kalor dari cairan yang didinginkan ke cairan pendingin serta mencegah korosi yang terjadi pada komponen mesin pendingin adsorpsi ini telah tercapai. Modifikasi untuk meminimalisir kebocoran dilakukan dengan penggantian tipe kondensor dari model radiator menjadi model *shell and coil condenser*. Untuk meningkatkan kemampuan penyerapan panas, kondensor dimodifikasi dari jenis kondensor *air cooled condenser* menjadi *water cooled condenser*. Sedangkan untuk mencegah korosi akibat kontak dengan metanol digunakan pipa dari bahan *stainless steel*.

Penggunaan tipe *shell and coil condenser* sangat efektif untuk meminimalisir kebocoran karena kondensor model ini mudah untuk dimanufaktur dan terbuat dari

bahan baku yang digunakan berupa pipa standar yang tersedia di pasaran sehingga proses pengelasan pada komponen ini dapat dilakukan seminimal mungkin.

Penggunaan media pendingin berupa air dinilai lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan media pendingin berupa angin. Hal ini disebabkan karena konduktivitas termal fluida cair lebih tinggi dari pada konduktivitas termal fluida gas. Oleh karena itu proses perpindahan panas akan lebih baik jika menggunakan media pendingin air. Selain itu, mesin pendingin adsorpsi ini dirancang untuk menghasilkan es pada kapal nelayan sehingga ketersediaan air pendingin bukan merupakan suatu masalah. Untuk itu kondensor ini juga didesain dengan tipe *water cooled condenser*.

Penggunaan pipa dari bahan *stainless steel* sangat efektif untuk mencegah korosi. Hal ini dilakukan berdasarkan sumber bahwa *stainless steel* memiliki karakteristik yang tahan terhadap korosi yang dihasilkan oleh cairan metanol (lampiran 4). Selain itu, konduktivitas termal material *stainless steel* tidak buruk sehingga material ini merupakan salah satu pilihan alternatif dalam pembuatan *heat exchanger*.

#### **4.2 RESERVOIR**

Selain untuk memecahkan masalah kebocoran, modifikasi pada komponen ini juga telah berhasil memecahkan masalah yang ditimbulkan oleh dimensi yang terlalu besar sehingga pipa saluran metanol dari *evaporator* ke adsorber menjadi panjang dan menimbulkan *head* yang cukup besar. Modifikasi yang dilakukan meliputi pengantian tabung *reservoir* lama yang berupa tabung refrigeran mejadi tabung yang dibuat dengan menggunakan pipa yang memiliki volume maksimal sebesar 2 liter.

Tabung ini dibuat dari bahan baku pipa *stainless steel* untuk meminimalisir masalah kebocoran dan mencegah korosi akibat kontak dengan air ataupun metanol. Penggunaan bahan baku pipa dimaksudkan untuk meminimalisir pengerjaan pengelasan.

Selain itu, pengukuran temperatur dan tekanan metanol juga dapat dilakukan pada bagian komponen ini karena komponen ini dilengkapi oleh *pressure gauge* dan termometer.

### **4.3 KATUP EKSPANSI**

Penggantian katup ini dilakukan untuk dapat memaksimalkan proses penurunan tekanan (*throttling*) pada metanol. Untuk itu dipilih katup dengan model *globe valve* dan terbuat dari bahan *stainless steel*.

### **4.4 EVAPORATOR**

Setelah dilakukan modifikasi pada komponen ini, permasalahan seputar kebocoran pada komponen ini sudah dapat dipecahkan. Hal ini disebabkan karena bagian ini dibuat dari bahan baku berupa pipa sehingga pekerjaan pengelasan dapat diminimalisir. Selain itu, penggunaan pipa dari bahan *stainless steel* juga dinilai efektif untuk mencegah korosi yang ditimbulkan akibat kontak dengan cairan yang berupa metanol (lampiran 4). *Stainless steel* juga telah banyak dipakai pada komponen *evaporator* pada aplikasi pendingin karena material ini memiliki konduktivitas termal yang tidak buruk sehingga proses perpindahan panas dari cairan yang didinginkan ke cairan pendingin (refrigeran) dapat bekerja secara maksimum.

Modifikasi pada komponen ini juga ditujukan untuk mengubah kapasitas metanol dan air yang didinginkan. Adapun kapasitas metanol pada komponen ini adalah 2 liter dan kapasitas air pendingin adalah 1 liter. Untuk itu, dimensi *evaporator* dirancang untuk memenuhi kapasitas tersebut.

Selain hal-hal diatas, masalah pengukuran temperatur dan tekanan pada komponen ini juga telah dirancang agar dapat dilakukan dengan mudah dan menyeluruh pada bagian-bagian yang penting untuk diukur. Komponen ini dilengkapi oleh dua buah termometer untuk mengukur temperatur metanol dan air, dilengkapi juga oleh *pressure gauge* untuk pengukuran tekanan metanol.

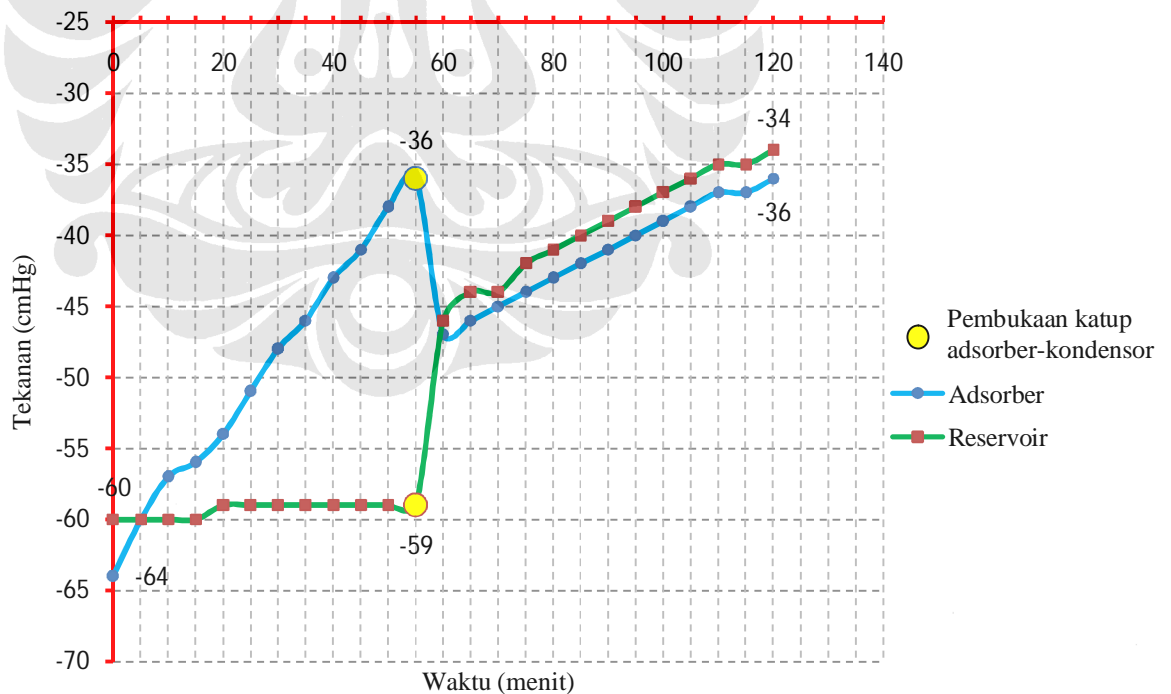
### **4.4 ADSORBER**

Setelah mesin pendingin adsorpsi selesai dimodifikasi, mesin tersebut dijalankan dan diuji sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Dari hasil pengujian yang mengacu pada laporan tugas akhir Yudi Ariyono , dapat dianalisa

kondisi komponen adsorber pada mesin pendingin adsorpsi melalui data-data pengujian tersebut. Data-data pengujian tersebut kemudian disajikan dalam bentuk diagram dan dibandingkan dengan diagram pada jurnal mesin pendingin adsorpsi yang telah ada. Berikut merupakan analisa dan perbandingan adsorber mesin pendingin adsorpsi dengan jurnal.

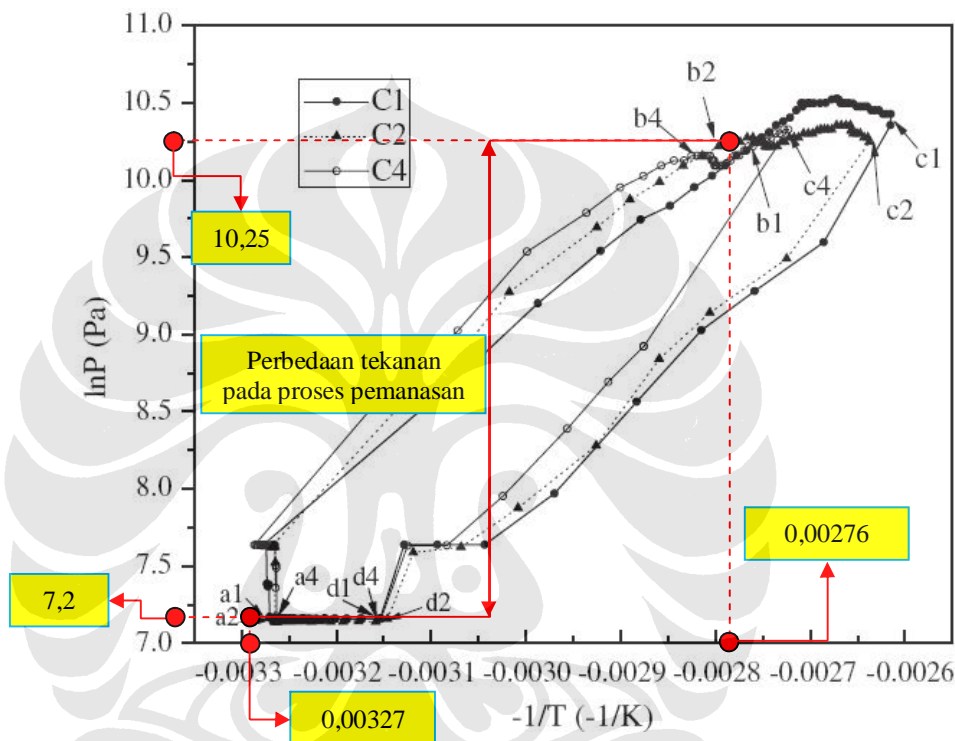
Gambar 4.1 merupakan grafik menunjukkan besarnya peningkatan tekanan pada adsorber dan kondenser selama proses pemanasan dan desorpsi berlangsung. Pada saat proses pemanasan berlangsung, tekanan pada adsorber meningkat akibat peningkatan temperatur adsorben dan adsorbat didalamnya. Sedangkan pada *reservoir* tekanan tidak berubah secara signifikan karena tidak ada aliran kalor yang masuk maupun meninggalkan kondenser sehingga temperatur *reservoir* konstan.

Tekanan adsorber pada saat pemanasan dimulai adalah -64 cmHg *gauge* sampai pada akhir pemanasan *pressure gauge* adsorber menunjukkan tekanan sebesar -36 cmHg *gauge*. Oleh karena itu, besarnya peningkatan tekanan adsorber selama proses pemanasan berlangsung ( $\Delta p_{ads1}$ ) adalah 28 cmHg.



**Gambar 4.1. Hubungan tekanan adsorber dan evaporator terhadap waktu selama proses pemanasan dan pemanasan-desorpsi**

Besarnya peningkatan tekanan adsorber ini lebih besar jika dibandingkan dengan besarnya peningkatan tekanan adsorber jurnal “*Influence of intermittent heat source on adsorption ice maker using waste heat*” oleh D.C. Wang \*, J.Y. Wu.



**Gambar 4.2. Diagram clapeyron aktual jurnal [18]**

Pada jurnal tersebut, besarnya peningkatan tekanan adsorber pada saat proses pemanasan dapat dilihat melalui diagram clapeyron yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Grafik tersebut menunjukkan proses-proses yang terjadi pada satu siklus kerja mesin pendingin adsorpsi jurnal yang dibatasi oleh titik-titik a, b, c, d. Proses a-b merupakan proses pemanasan, proses b-c merupakan proses pemanasan-desorpsi, proses c-d merupakan proses pendinginan, dan proses d-a merupakan proses pendinginan-adsorpsi.

Kurva a1-b1 merupakan kurva yang menggambarkan proses pemanasan. Pada kurva terjadi peningkatan tekanan akibat proses pemanasan. Dimana tekanan awal

ketika dimulai pemanasan adalah sekitar  $e^{7,2}$  Pa absolut = 1339,4 Pa absolut = 0,013394 bar absolut = 1,0180 cmHg absolut. Dan tekanan pada akhir proses pemanasan adalah  $e^{10,25}$  absolut = 28.282,54 Pa absolut = 0,28283 bar absolut = 21,495 cmHg absolut. Sehingga didapatkan besarnya peningkatan tekanan selama proses pemanasan adalah  $\Delta P = 21,495 - 1,0180 = 20,441$  cmHg.

Dari kurva a1-b1 juga dapat didapatkan besarnya temperatur adsorber jurnal pada saat pemanasan dimulai adalah  $-1/-0,00327$  K = 305,81 K = 32,81 °C dan pada akhir pemanasan temperatur adsorber adalah  $-1/-0,00276$  K = 362,32 K = 89,31 °C. Sehingga besarnya peningkatan temperatur pada saat proses pemanasan pada adsorber jurnal adalah  $108,68$  °C -  $32,81$  °C =  $56,5$  °C.

Dengan peningkatan tekanan sebesar 28 cmHg maka dapat disimpulkan bahwa “peningkatan tekanan pada adsorber mesin pendingin adsorpsi lebih besar jika dibandingkan dengan peningkatan tekanan adsorber jurnal pada proses pemanasan”.

Fenomena peningkatan tekanan adsorber mesin pendingin adsorpsi yang lebih besar daripada peningkatan tekanan adsorber jurnal pada saat proses pemanasan dinilai abnormal karena fenomena tersebut terjadi ketika peningkatan temperatur adsorber jurnal lebih tinggi jika dibandingkan dengan peningkatan temperatur mesin pendingin adsorpsi. Padahal substansi yang terdapat didalam kedua adsorber tersebut adalah sama (jika tidak terjadi kebocoran maupun kontaminasi) yaitu metanol dan karbon aktif. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Keterangan	Peningkatan tekanan, $\Delta P$ (cmHg)	Peningkatan temperatur, $\Delta T$ (°C)
Adsorber Mesin pendingin adsorpsi	28	27,7
Adsorber jurnal	20,441	56,5

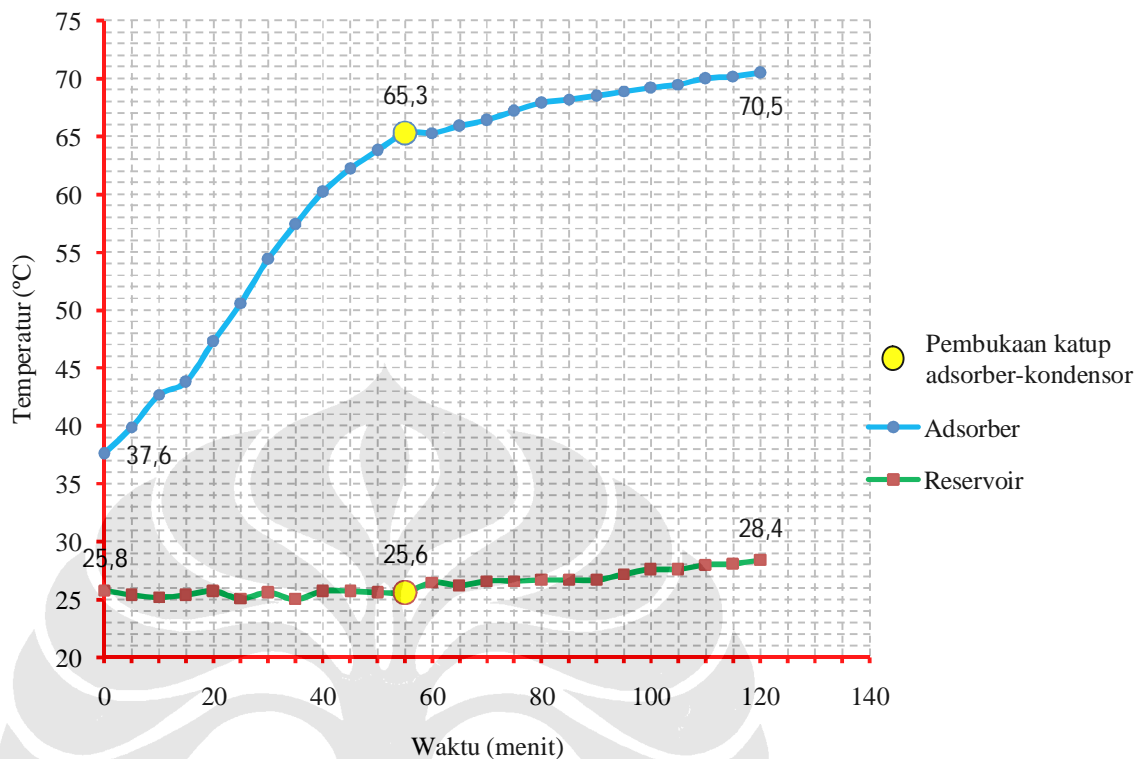
**Tabel 4.1. Perbandingan peningkatan tekanan dengan peningkatan temperatur pada adsorber jurnal dan adsorber mesin pendingin adsorpsi**

Fenomena tersebut dapat terjadi apabila adsorber mesin pendingin adsorpsi terkontaminasi dengan substansi lain selain metanol yang ada pada sistem tersebut, sehingga pada saat proses pemanasan terjadi substansi tersebut memuai dan

menimbulkan peningkatan tekanan yang besar. Substansi tersebut dapat masuk melalui pengisian metanol yang tidak murni atau dapat pula terjadi akibat kebocoran terjadi pada sistem ini.

Setelah dilakukan *degassing* untuk membersihkan kembali sistem pendingin ini, kemudian diisi kembali dengan metanol murni, ternyata fenomena tersebut tetap terjadi. Akhirnya dilakukan pengetesan ulang kebocoran. Dari pengetesan tersebut disimpulkan bahwa mesin mengalami kebocoran pada adsorber akibat lem yang digunakan untuk menyumbat kebocoran pada adsorber mengalami aus sehingga tidak dapat lagi mengatasi masalah kebocoran tersebut. Mesin dinyatakan bocor setelah diperoleh data uji kebocoran mesin pendingin adsorpsi. Data uji tersebut berupa data tekanan dan temperatur pada setiap komponen mesin pendingin adsorpsi yang diambil dalam waktu 5 jam dengan interval pengambilan data adalah setiap 1 jam (lampiran 3). Dari data tersebut disimpulkan bahwa mesin pendingin adsorpsi mengalami peningkatan tekanan khususnya pada bagian adsorber yang disebabkan karena adanya kebocoran pada sistem tersebut dan bukan karena adanya peningkatan temperatur pada adsorber tersebut.

Dari pengujian tersebut didapatkan tekanan awal adsorber setelah divakum dengan menggunakan pompa vakum adalah sebesar -70 cmHg *gauge*. Sedangkan pada akhir pengujian kebocoran yang berlangsung selama 5 jam tekanan berubah menjadi -52cmHg *gauge*. Oleh karena itu, besarnya rata-rata laju peningkatan tekanan pada adsorber adalah sekitar 18 cmHg per 5 jam.



**Gambar 4.3. Hubungan temperatur adsorber dan *reservoir* terhadap waktu selama proses pemanasan dan pemanasan-desorpsi**

Gambar 4.3 menunjukkan besarnya peningkatan temperatur pada adsorber dan *reservoir* selama proses pemanasan dan desorpsi berlangsung. Pada *reservoir* temperatur tidak berubah secara signifikan karena dianggap tidak ada aliran kalor yang signifikan yang masuk maupun meninggalkan kondenser.

Pada saat proses pemanasan berlangsung, temperatur pada adsorber meningkat sebagai akibat dari perpindahan panas dari minyak goreng ke adsorben-adsorbat. Peningkatan temperatur yang terjadi tidak linier karena perbedaan temperatur antara adsorben-adsorbat dengan minyak goreng tidak konstan. Seiring dengan berjalannya waktu, perbedaan temperatur antara adsorben-adsorbat dengan minyak goreng akan semakin menurun karena temperatur adsorben-adsorbat mengalami peningkatan sedangkan temperatur minyak goreng dijaga konstan. Hal tersebut akan menyebabkan



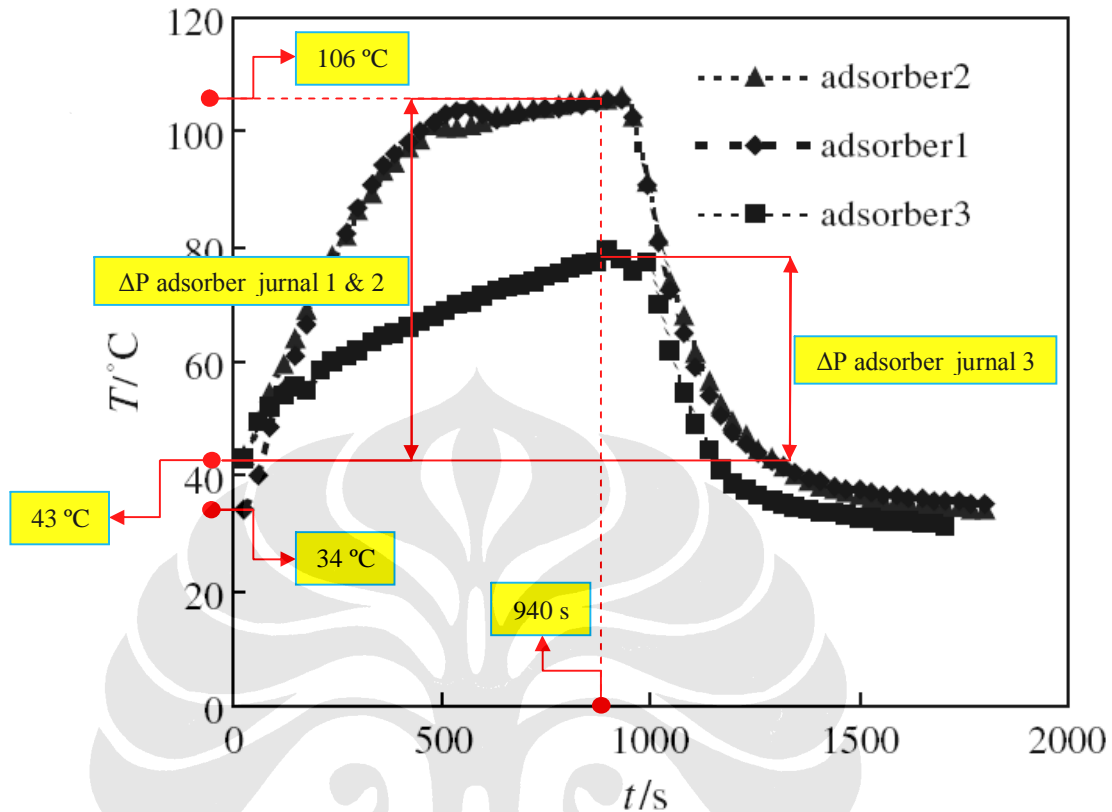
besarnya perpindahan panas menurun seiring dengan penurunan perbedaan temperatur antara adsorben-adsorbat dengan minyak goreng.

Temperatur adsorber pada saat proses pemanasan dimulai adalah 37,6 °C dan sampai pada akhir proses pemanasan-desorpsi, yaitu 120 menit setelah proses pemanasan dimulai, termometer di adsorber menunjukkan temperatur sebesar 70,5 °C. Oleh karena itu, besarnya peningkatan temperatur adsorber selama proses pemanasan berlangsung ( $\Delta T_{\text{ads1}}$ ) adalah 32,9. Dengan demikian, rata-rata laju peningkatan temperatur pada adsorber ini adalah

$$\frac{\Delta}{-} = \frac{-}{-} = \frac{32,9}{120} = 0,274 \text{ } ^\circ$$

Rata-rata laju peningkatan temperatur adsorber pada mesin pendingin adsorpsi ini lebih kecil jika dibandingkan dengan rata-rata laju peningkatan temperatur adsorber pada jurnal "*Study of the performance of activated carbon–metanol adsorption systems concerning heat and mass transfer*" oleh L.W. Wang, J.Y. Wu, R.Z. Wang \*, Y.X. Xu, S.G. Wang, X.R. Li.

Pada jurnal tersebut, peningkatan temperatur adsorber jurnal disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.4. Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara temperatur 3 jenis adsorber dengan waktu proses yaitu selama selang waktu 30 menit. Selama selang waktu tersebut, temperatur adsorber mengalami peningkatan dan penurunan akibat proses desorpsi dan adsorpsi.



Gambar 4.4. Temperatur rata-rata dari 3 adsorber pada jurnal [19]

. Dari Grafik diatas dapat dihitung besarnya laju peningkatan rata-rata temperatur pada adsorber 1 dan 2 per satuan waktunya pada saat proses pemanasan-desorpsi adalah sekitar

$$\frac{\Delta}{\text{—}} = \frac{\text{—}}{\text{—}} = \frac{(100 - 40)^\circ}{\frac{960}{60} \text{ /}} = 3,75^\circ$$

Sedangkan untuk adsorber 3 adalah sekitar

$$\frac{\Delta}{\text{—}} = \frac{\text{—}}{\text{—}} = \frac{80 - 40}{\frac{960}{60} \text{ /}} = 2,5^\circ$$

Dari hasil perhitungan rata-rata laju peningkatan temperatur per satuan waktu pada saat proses pemanasan-desorpsi pada adsorber jurnal dan adsorber mesin pendingin adsorpsi, maka dapat didapatkan kesimpulan bahwa “*heat transfer performance* pada adsorber yang digunakan pada jurnal lebih baik jika dibandingkan dengan *heat transfer performance* pada adsorber yang digunakan pada mesin pendingin adsorpsi”. Padahal hal tersebut terjadi pada kondisi dimana temperatur media pemanas yang digunakan pada adsorber jurnal lebih kecil jika dibandingkan dengan temperatur media pemanas yang digunakan pada mesin pendingin adsorpsi (temperatur media pemanas jurnal adalah 110 °C untuk adsorber 1, adsorber 2 tidak ada data, dan 77 °C -116 °C untuk adsorber 3 yang mana lebih kecil dibanding temperatur media pemanas mesin pendingin adsorpsi yaitu 130 °C).

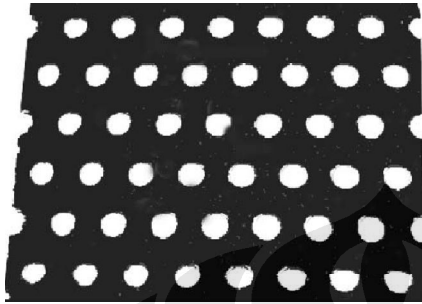
Rata-rata laju peningkatan temperatur per satuan waktunya menggambarkan *heat transfer performance* yang terjadi pada adsorber. Selain dipengaruhi oleh faktor temperatur media pemanas yang digunakan, hal tersebut juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain.

Jika dilihat dari segi struktur, adsorber jurnal (gambar 4.6) memang lebih baik dari pada adsorber mesin pendingin adsorpsi (gambar 4.7) khususnya dari segi jumlah *tube*, diameter *tube*, dan densitas adsorben. Berikut merupakan perbandingan antara adsorber jurnal dengan adsorber mesin pendingin adsorpsi.

Item yang dibandingkan	Adsorber jurnal 1	Adsorber jurnal 2	Adsorber jurnal 3	Adsorber mesin pendingin adsorpsi
Tipe karbon aktif	<i>Granular</i>	<i>Solidified</i> [Gambar 4.5 (a)]	<i>Solidified</i> [Gambar 4.5 (b)]	<i>Solidified</i>
Material <i>tube</i>	Tembaga	Baja	Baja	Tembaga
Material <i>fin</i>	Aluminium	Baja	Baja	Tembaga
Material <i>shell</i> adsorber	<i>Stainless steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Stainless steel</i>
Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	829,57	600,6	1633,14	314,16
Jumlah <i>tube</i>	100	75	90	19
Diameter <i>tube</i> (mm)	Tidak ada data	19	17	12,7

Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	360	600	600	450
-------------------------------	-----	-----	-----	-----

Tabel 4.2. Beberapa perbandingan adsorber jurnal dengan adsorber mesin pendingin adsorpsi

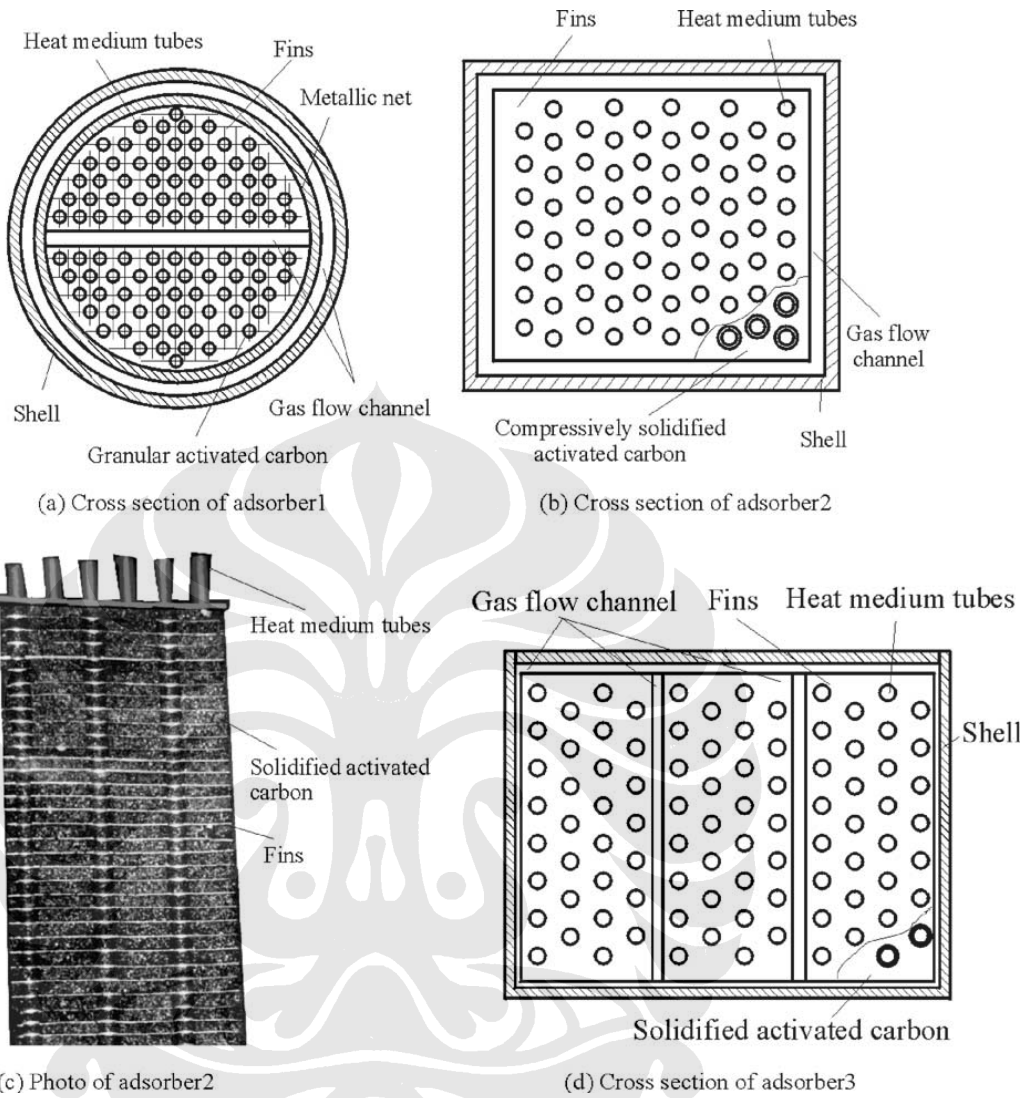


(a)

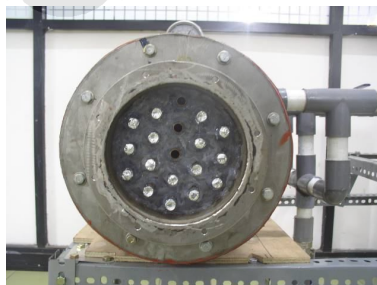


(b)

Gambar 4.5 (a) Penampang adsorben pada adsorber jurnal 2 ; (b) Penampang adsorben pada adsorber mesin pendingin adsorpsi

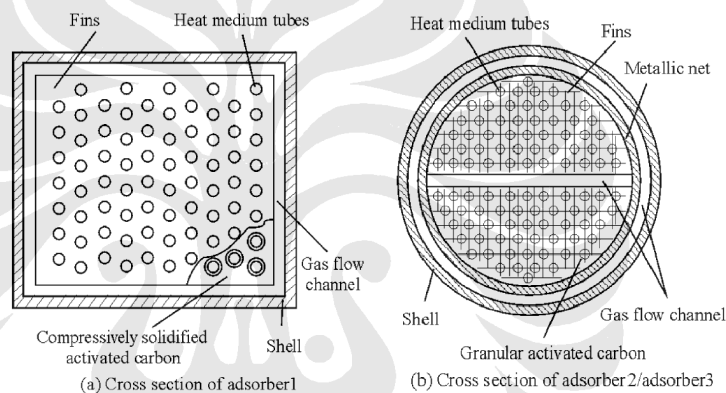


**Gambar 4.6. Penampang adsorber jurnal [20]**



**Gambar 4.7. Penampang adsorber mesin pendingin adsorpsi.**

Selain *heat transfer performance*, karakteristik *mass transfer performance* merupakan karakteristik yang menentukan performansi dari adsorber. Adapun *Mass transfer performance* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rancangan *gas flow channel* dan daya serap adsorben (kaitannya dengan kondisi *pores* yang dimiliki oleh adsorben, jenis adsorben (*granular* atau *solidified*), dll. Rancangan *gas flow channel* adsorber mesin pendingin memang tidak lebih baik jika dibandingkan dengan rancangan *gas flow channel* adsorber pada jurnal "Design, simulation and performance of a waste heat driven adsorption ice maker for fishing boat" oleh L.W. Wang, R.Z. Wang\*, J.Y. Wu, Y.X. Xu, S.G. Wang. Hal tersebut digambarkan pada gambar 4.8.



(c) cross section of adsorber used in adsorption refrigeration machine

**Gambar 4.8. perbandingan *gas flow channel* adsorber jurnal 1 dan *gas flow channel* adsorber jurnal 2 [21] dengan *gas flow channel* adsorber mesin pendingin adsorpsi.**

Pada gambar 4.8 (a) terlihat bahwa adsorber 1 memiliki *clearance* antara *shell* dengan karbon aktif yang lebih baik jika dibandingkan dengan *clearance* antara *shell* dengan karbon aktif pada mesin pendingin adsorpsi (gambar 4.8 (c)). *Clearance* tersebut merupakan *gas flow channel* adsorber. Akan tetapi jika dibandingkan dengan adsorber 2, maka kualitas *gas flow channel* yang dimiliki oleh adsorber 2 lebih baik

dari pada kualitas *gas flow channel* pada adsorber 1. Hal itu disebabkan karena adsorber 2 memiliki dua sistem *gas flow channel* yaitu sistem *gas flow channel* yang mengelilingi daerah tepi karbon aktif dan sistem *gas flow channel* yang membagi karbon aktif pada bagian tengah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa “ kualitas rancangan *gas flow channel* adsorber jurnal lebih baik daripada kualitas rancangan *gas flow channel* mesin pendingin adsorbsi”.

Selain faktor *gas flow channel*, kondisi karbon aktif juga sangat mempengaruhi *mass transfer* dari suatu adsorber. Kondisi dari adsorben pada adsorber mesin pendingin adsorbsi diuji dengan menenggelamkannya ke dalam air. Setelah karbon aktif ditenggelamkan selama beberapa saat, karbon aktif tersebut dibelah dan dilihat penampangnya. Dari analisa secara visual terhadap penampang karbon aktif (gambar 4.9) tersebut maka disimpulkan bahwa “proses adsorbsi pada adsorben mesin pendingin adsorbsi tidak maksimal karena proses tersebut hanya terjadi pada lapisan luar adsorben dan tidak sampai ke lapisan dalamnya”.

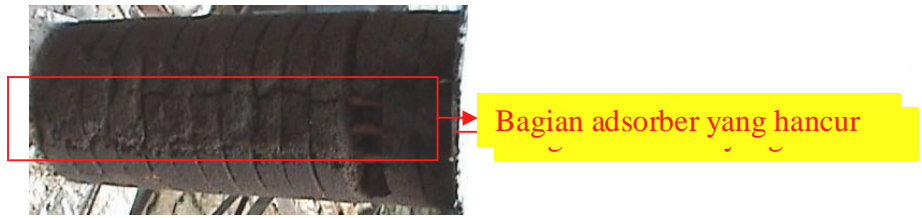


Daerah yang dilingkari merupakan daerah dimana penyerapan kurang maksimal (daerah dalam karbon aktif)

**Gambar 4.9. Analisa visual penyerapan karbon aktif .**

Selain analisa-analisa diatas, ditemukan pula kondisi adsorber bagian bawah yang hancur akibat terendam oleh adsorptive (metanol yang tidak mengalami proses adsorbsi). Metanol (*adsorbitive*) dalam fasa cair ini merendam bagian karbon aktif dan menyebabkan karbon aktif menjadi hancur seperti pada gambar 4.10.

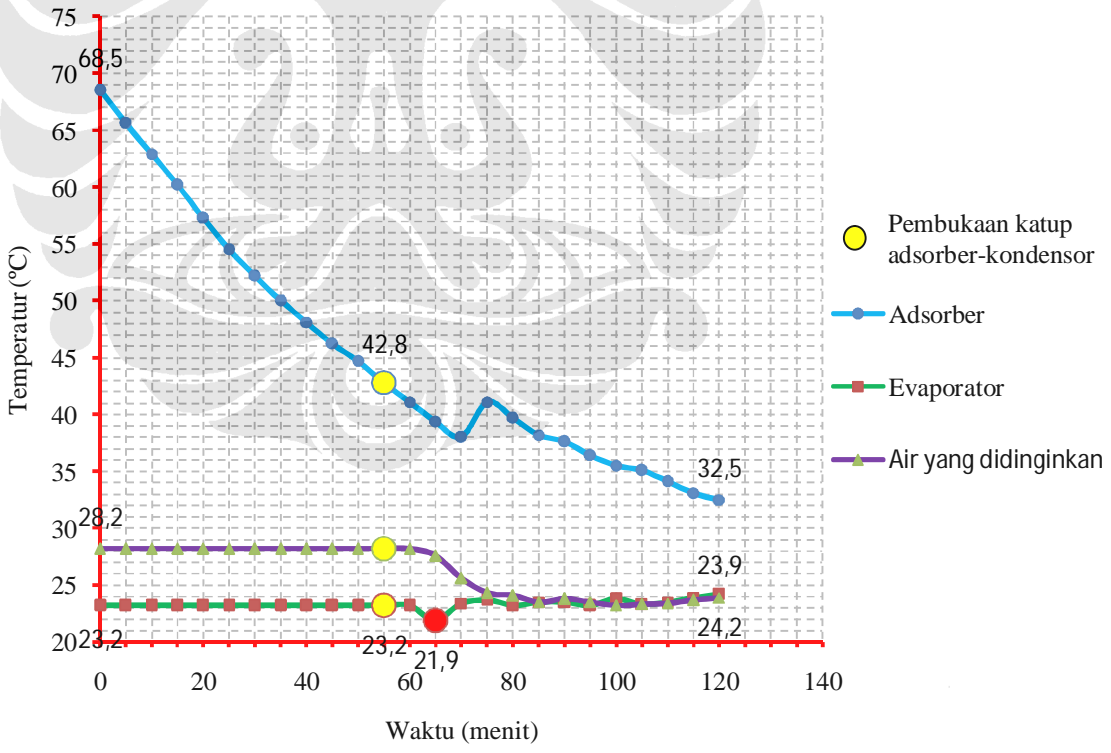




Gambar 4.10. Kondisi adsorber bagian bawah yang hancur akibat terendam metanol

Selain karena faktor kemampuan penyerapan karbon aktif yang buruk, timbulnya metanol (*adsorbitive*) dalam fasa cair pada adsorber dapat pula disebabkan karena metanol yang masuk dalam adsorber berada pada fasa liquid (belum mengalami saturasi). Hal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terlalu besar antara *evaporator* dengan adsorber pada saat pembukaan katup pada awal proses pendinginan-adsorpsi.

Grafik hubungan temperatur adsorber dan reservoir terhadap waktu selama proses pemanasan dan pemanasan-desorpsi



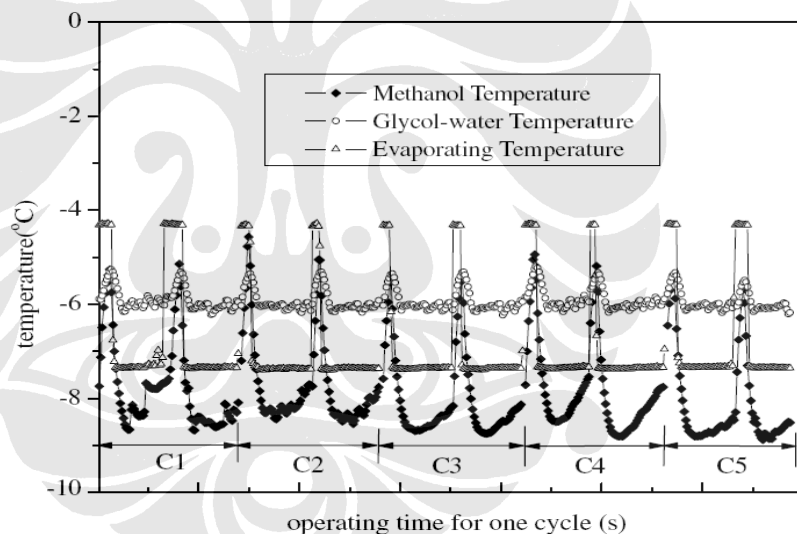
Gambar 4.11. Hubungan antara temperatur adsorber dan *evaporator* terhadap waktu selama proses pendinginan dan pendinginan-adsorpsi berlangsung



Gambar 4.11 menggambarkan temperatur pada adsorber dan *evaporator* pada saat proses pendinginan dan pendinginan-adsorpsi.

Dari grafik diatas didapatkan bahwa temperatur terendah metanol pada *evaporator* yang dicapai pada saat proses adsorpsi adalah 21,9 °C. Sedangkan penurunan temperatur maksimal air yang didinginkan hanya sebesar 5 °C yaitu dari  $T_{awal} = 28,2$  °C menjadi  $T_{akhir} = 23,2$  °C.  $T_{akhir}$  air yang didinginkan sangatlah buruk jika dibandingkan dengan  $T_{akhir}$  yang dihasilkan oleh jurnal “*Influence of intermittent heat source on adsorption ice maker using waste heat*” oleh D.C. Wang \*, J.Y. Wu.

Pada jurnal tersebut terdapat tiga parameter yang diukur pada adsorber yaitu temperatur metanol sebagai refrigeran, temperatur *glycol* sebagai media yang didinginkan dan temperatur evaporasi. Adapun data-data tersebut disajikan melalui grafik seperti pada gambar 4.12.



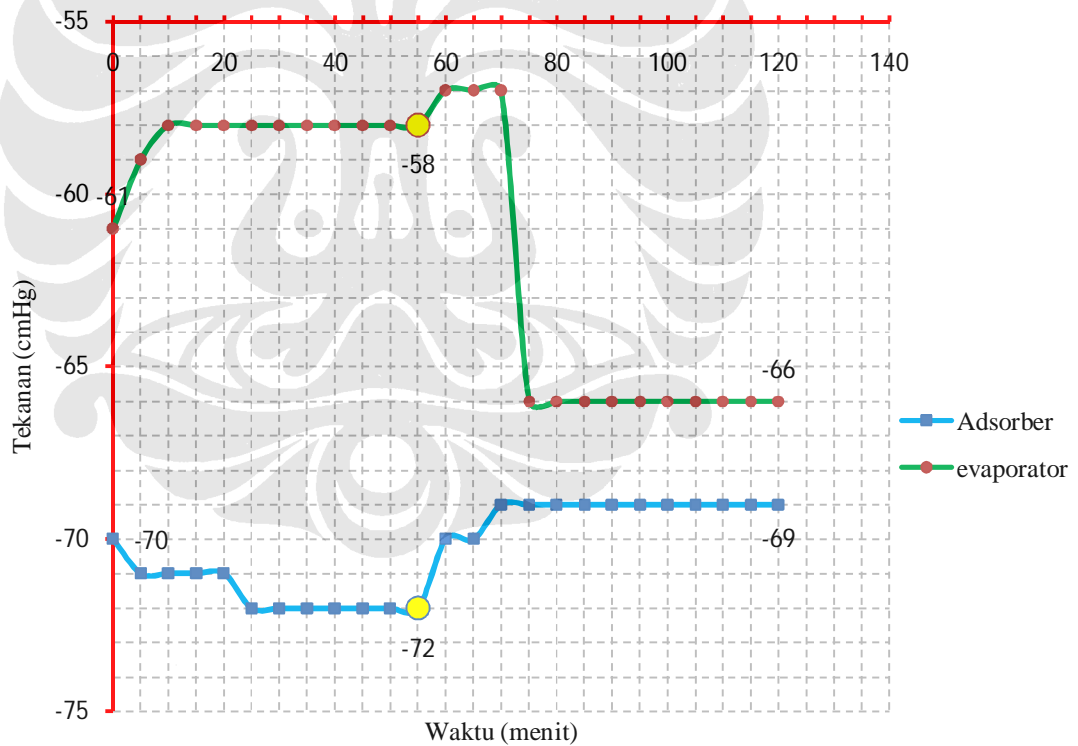
**Gambar 4.12. Hubungan temperatur metanol, temperatur *glycol* dan temperatur evaporasi terhadap waktu pada jurnal [22]**

Pada grafik tersebut didapatkan bahwa temperatur minimum yang dicapai oleh metanol adalah sebesar -5 °C sampai dengan -9 °C. temperatur tersebut berfluktuasi akibat pembukaan katup *evaporator* ke adsorber yang dilakukan secara bergantian antara *evaporator* ke adsorber 1 dan *evaporator* ke adsorber 2. Temperatur metanol pada saat -5 °C bukanlah temperatur metanol yang diisi kedalam sistem tersebut dan

bukan pula temperatur metanol sebelum proses adsorpsi berlangsung. Temperatur tersebut merupakan temperatur yang dihasilkan oleh pendinginan secara kontinu oleh mesin pehasil es dengan menggunakan 2 buah adsorber. Proses pendinginan yang continue tersebut akhirnya mencapai kesetimbangan pada temperatur yang fluktuasi antara  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dari hasil tersebut dapat dihasilkan bahwa “temperatur metanol pada *evaporator* jurnal pada saat adsorpsi sangat jauh lebih rendah dibandingkan dengan temperatur metanol pada *evaporator* mesin pendingin adsorpsi”.

Pada mesin pendingin adsorpsi, temperatur terendah metanol yang dicapai adalah  $21,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperatur tersebut sangat jauh dari target temperatur metanol untuk membekukan es. Hal tersebut terjadi karena tekanan kerja refrigerant metanol tidak dapat dicapai pada saat proses adsorpsi pada mesin pendingin adsorpsi ini.



**Gambar 4.13. Hubungan antara tekanan adsorber dan *evaporator* terhadap waktu selama proses pendinginan dan pendinginan-adsorpsi berlangsung**

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa tekanan terendah yang dicapai oleh *evaporator* pada saat proses pendinginan-adsorpsi adalah  $-66 \text{ cmHg gauge} = 10 \text{ cmHg absolut} = 100 \text{ mmHg absolut}$ . Berdasarkan table saturasi metanol (lampiran 2) besarnya temperatur saturasi pada tekanan  $100 \text{ mmHg absolut}$  adalah  $20,42 \text{ }^\circ\text{C}$ . Berdasarkan table tersebut pula dinyatakan bahwa untuk menurunkan temperatur saturasi metanol sampai ke titik  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  dibutuhkan tekanan vakum sebesar  $30,424 \text{ mmHg absolut} = -72,96 \text{ cmHg gauge}$ . Hal ini membuktikan bahwa “tekanan kerja metanol pada mesin pendingin adsorpsi untuk membekukan air tidak tercapai”.

Tekanan kerja metanol tidak tercapai dapat disebabkan beberapa faktor seperti kebocoran pada sistem, pompa vakum yang digunakan untuk mencapai tekanan awal tidak memadai, adsorber tidak bekerja dengan baik, jumlah metanol pada sistem berlebih (*refrigerant overcharge*).

Jika dibandingkan dengan tekanan adsorber jurnal pada saat adsorpsi (gambar 5.2) yaitu  $e^{7.2} \text{ Pa absolut} = 1339,4 \text{ Pa absolut} = 0,013394 \text{ bar absolut} = 1,0180 \text{ cmHg absolut} = 10,180 \text{ mmHg absolut}$  dengan perbedaan tekanan maksimal dengan *evaporator* sebesar  $1,6 \text{ kPa} = 0,016 \text{ bar} = 1,216 \text{ cmHg} = 12,16 \text{ mmHg}$ , maka didapatkan tekanan *evaporator* terbesar adalah  $22,34 \text{ mmHg absolut}$ . Dari table saturasi metanol (lampiran 2), didapatkan besarnya temperatur saturasi metanol jurnal adalah  $-4,80 \text{ }^\circ\text{C}$ .