

## RANCANG BANGUN ALAT PENGUJI KAPASITAS ADSORPSI PADA MESIN PENDINGIN ADSORPSI DENGAN MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF

Oloan Purba<sup>1</sup>, Tulus B. Sitorus<sup>2</sup>, Himsar Ambarita<sup>3</sup>, Farel H. Napitupulu<sup>4</sup>, Dian M. Nasution<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara  
Jalan Almamater Kampus USU Medan 20155  
E-mail: olopurba@gmail.com

### ABSTRAK

Akhir-akhir ini mesin pendingin siklus adsorpsi semakin banyak diteliti oleh para ahli karena disamping ekonomis juga ramah lingkungan dan menggunakan energi terbarukan yaitu energi surya. Agar proses adsorpsi dan desorpsi mesin pendingin adsorpsi dapat berjalan dengan baik perlu diketahui jumlah perbandingan yang ideal antara adsorben dengan refrigeran yang digunakan. Data tersebut dapat dicari menggunakan alat pengujian kapasitas adsorpsi. Alat pengujian kapasitas adsorpsi yang digunakan dilengkapi dengan lampu halogen 1000 W sebagai sumber panas. Adsorber pada alat pengujian ini terbuat dari bahan stainless steel yang bertujuan agar tahan terhadap korosi akibat dari variasi refrigeran yang digunakan. Karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben yang terbuat dari bahan dasar batok kelapa sebanyak 1 kg. Sedangkan variasi refrigeran yang digunakan ada 4 yaitu metanol, etanol, amonia dan musicool. Diperoleh refrigeran yang paling optimal pada proses adsorpsi-desorpsi adalah metanol. Kapasitas metanol yang dapat diadsorpsi dan didesorpsi oleh adsorben karbon aktif adalah sebanyak 275 mL.

*Kata kunci: Adsorpsi, desorpsi, adsorber, karbon aktif, refrigeran.*

### ABSTRACT

*Lately adsorption refrigeration cycle more and more scrutinized by experts as well as eco-friendly and economical use of renewable energy is solar energy. In order for the process of adsorption and desorption adsorption refrigeration cycle can run well to note that the ideal number of comparisons between the adsorbent with a refrigerant used. The data can be searched using the adsorption capacity tester. Adsorption capacity tester is used equipped with a 1000 W halogen lamp as a heat source. Adsorber on this tester is made of stainless steel which aims to resist corrosion due to the variation of refrigerant used. Activated carbon is used as adsorbent materials made from coconut shell base as much as 1 kg. While variations exist 4 refrigerant used is methanol, ethanol, ammonia and Musicool. Obtained the optimum refrigerant adsorption-desorption process is methanol. Capacity that can be adsorbed methanol and desorption by activated carbon adsorbent is 275 mL.*

*Keywords: Adsorption, desorption, adsorption, activated carbon, refrigerants.*

### 1. PENDAHULUAN

Mesin pendingin pada saat ini merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Mesin pendingin sangat luas penggunaannya seperti pada industri makanan, industri kimia dan farmasi, industri pengkondisian udara, dll. Tetapi mesin pendingin yang banyak digunakan saat ini memanfaatkan energi listrik yang cukup besar.

Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan di Laboratorium Teknik Pendingin Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara diperoleh radiasi untuk Kawasan Barat Indonesia (khususnya Medan) mencapai sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup> per hari<sup>[1]</sup>.

Melihat potensi energi surya di Kawasan Barat Indonesia khususnya Medan cocok dimanfaatkan energi surya untuk mesin pendingin siklus adsorpsi. Mesin ini digerakkan oleh tenaga matahari dan tidak menggunakan energi listrik atau energi mekanik sama sekali. Dengan karakteristik iklim cuaca kota Medan, sangat diperlukan pendinginan yang umumnya digunakan

untuk pengkondisian udara. Keunggulan utama siklus adsorpsi ini adalah temperatur regenerasi yang relatif rendah dan tidak memiliki bagian yang berputar karena memanfaatkan efek alamiah.

Namun berdasarkan studi literatur dan penelitian sebelumnya terdapat kelemahan dari siklus adsorpsi ini. Kelemahan tersebut adalah proses adsorpsi-desorpsi yang belum terjadi secara baik pada adsorber. Hal ini disebabkan salah satunya adalah belum diketahui berapa jumlah perbandingan yang optimum dari adsorben dan refrigeran agar proses adsorpsi dan desorpsi yang terjadi dapat berjalan dengan maksimal. Hal ini dapat ditanggulangi dengan melakukan penelitian di laboratorium.

Pada penelitian ini digunakan digunakan adsorben karbon aktif dan variasi refrijeran seperti metanol, etanol, amonia dan musicool. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan refrijeran yang paling baik diserap oleh adsorben karbon aktif tersebut.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Bagian-bagian dari Alat Uji Kapasitas Adsorpsi

#### 1. Adsorber

Adsorber adalah salah satu komponen alat uji kapasitas adsorpsi yang berfungsi untuk menyerap panas radiasi lampu halogen 1000 W. Adsorber juga berfungsi sebagai tempat terjadinya proses desorpsi dan proses adsorpsi. Proses desorpsi yaitu refrigeran keluar dari adsorben karena panas diberikan pada adsorber. Proses adsorpsi adalah proses pengikatan refrigeran oleh adsorben. Pada adsorber dilengkapi alat sebagai berikut.

1. Sumber panas dengan menggunakan lampu halogen 1000 W.
2. Isolator kayu, yang berfungsi untuk meminimalisasi panas yang hilang pada adsorber.

#### 2. Gelas Ukur

Gelas ukur adalah komponen kedua pada alat uji kapasitas adsorpsi. Gelas ukur ini berfungsi untuk pertukaran kalor dari dalam box styrofoam ke dalam gelas ukur dan sebaliknya. Pada gelas ukur juga terdapat skala volume untuk melihat kapasitas adsorpsi dan volume kapasitas desorpsi.

### 2.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah pengumpulan dari adsorbat di atas permukaan adsorben, sedang absorpsi adalah penyerapan dari adsorbat ke dalam adsorben dimana disebut dengan fenomena sorption. Materi atau partikel yang diadsorpsi disebut adsorbat, sedangkan bahan yang berfungsi sebagai pengadsorpsi disebut adsorben<sup>[2]</sup>.

### 2.3 Refrigeran

Refrigeran adalah zat yang mengalir dalam mesin pendingin (refrigerasi) atau mesin pengkondisian udara. Zat ini berfungsi untuk menyerap panas dari benda atau udara yang didinginkan dan membawanya kemudian membuangnya ke udara sekeliling di luar benda.

Untuk terjadinya suatu proses pendinginan diperlukan suatu bahan yang mudah dirubah bentuknya dari gas menjadi cair atau sebaliknya<sup>[3]</sup>

- Metanol

Metanol juga dikenal sebagai metil alkohol, *wood alcohol* atau spiritus.



Gambar 1 Metanol

Metanol merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer, metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan dari pada etanol). Metanol digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai bahan aditif bagi etanol industri.

Tabel 1 Sifat Metanol

Sifat Metanol	
Massa jenis	787 kg/m <sup>3</sup> , cair
Titik lebur	-97,7°C
Titik didih	64,5°C
Klasifikasi EU	<b>F,T</b>

- Etanol

Etanol disebut juga etil alkohol/alkohol murni/alkohol absolut atau *alkohol* saja yaitu sejenis cairan yang mudah menguap, mudah terbakar dan tak berwarna.



Gambar 2 Etanol

Etanol termasuk ke dalam alkohol rantai tunggal dengan rumus kimia C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH dan rumus empiris C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O. Etanol merupakan isomer konstitusional dari dimetil eter. Etanol sering disingkat menjadi EtOH, dengan "Et" merupakan singkatan dari gugus etil (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>). Sifat etanol dapat dilihat seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2 Sifat Etanol

Sifat Etanol	
Massa jenis	783 kg/m <sup>3</sup> , cair
Titik lebur	-114,2 °C
Titik didih	78,2 °C
Klasifikasi EU	<b>F</b> (Flammable): mudah terbakar
Panas Laten Penguapan ( <i>L<sub>e</sub></i> )	838,3 kJ/kg

- Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH<sub>3</sub>. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas (disebut bau amonia). Sifat amonia dapat dilihat seperti tabel di bawah ini.

Tabel 3 Sifat Amonia

Sifat Amonia	
Massa jenis	682 kg/m <sup>3</sup> , cair
Titik lebur	-77,7°C
Titik didih	-33,3 °C
Klasifikasi EU	Kautik, korosif
Panas Laten ( <i>L<sub>e</sub></i> )	1357 kJ/kg



Gambar 3 Amonia Cair

- Musicool

Refrigeran hidrokarbon merupakan refrigeran alternatif jangka panjang pengganti refrigeran CFC/HCFC.



Gambar 4 MC-134

Dua keunggulan penting yang dimilikinya adalah ramah lingkungan dan karakteristik termodinamika yang handal sehingga meningkatkan kinerja dan menghemat konsumsi energi sistem refrigerasi secara aman.

Tabel 4 Sifat Musicool-134

No	Parameter	MC-134
1.	Normal boiling point, °C	-33,98
2.	Temperatur kritis, °C	113,8
3.	Tekanan kritis, Psia	591,8
4.	Panas jenis cairan jenuh pada 37,8° C,kJ/kgK	2,717
5.	Panas jenis uap jenuh pada 37,8 ° C, kJ/ kgK	2,014
6.	Tekanan cairan jenuh pada 37,8 °C, Psia	139,4
7.	Kerapatan cairan jenuh pada 37,8°C (kg/m <sup>3</sup> )	500,6
8.	Kerapatan uap jenuh pada 37,8°C (kg/m <sup>3</sup> )	17,76

#### 2.4 Adsorben Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Ketika pemanasan berlangsung diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara di dalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Karbon aktif selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap).



Gambar 5 Adsorben Karbon Aktif

Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap karbon aktif tersebut dilakukan aktivasi dengan aktif faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi<sup>[4]</sup>.

### 3. METODOLOGI

#### 3.1 Bahan yang Digunakan

1. Adsorben Karbon Aktif

Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif sebanyak 1 kg. Adsorben karbon aktif ini terbuat dari cangkang kelapa.

2. Refrigeran

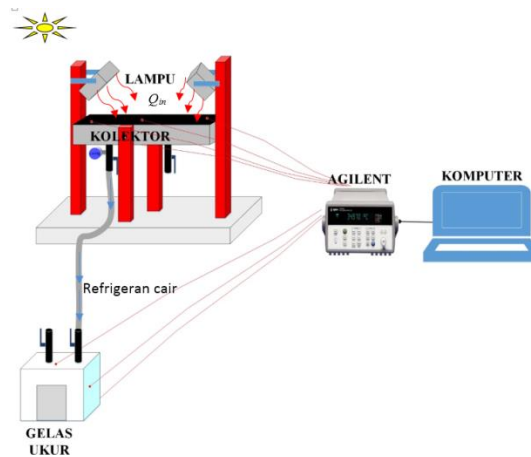
No	Tanggal	Pengujian	Temperatur rata-rata	Tekanan (Bar)	Volume refrigeran	Efisiensi Adsorber	Efisiensi Gelas Ukur
----	---------	-----------	----------------------	---------------	-------------------	--------------------	----------------------

Refrigeran yang digunakan pada pengujian ini adalah sebagai berikut ini.

- Metanol sebanyak 1 liter
- Etanol sebanyak 1 liter
- Amonia sebanyak 1 liter
- Musicool R-134 sebanyak 1 liter

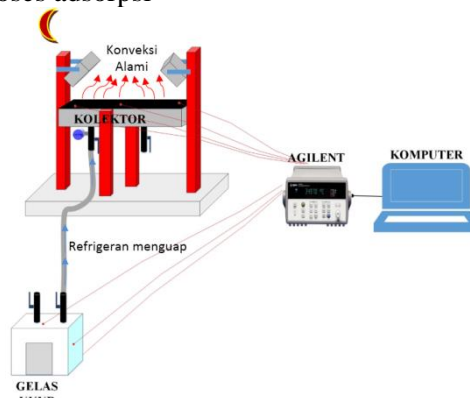
3.2 Set-Up Pengujian

Wadah yang berisi adsorben karbon aktif (adsorber) dipanaskan sehingga temperatur dan tekanan meningkat yang menyebabkan timbulnya uap desorpsi. Adsorbat dalam bentuk cair akan mengalir ke gelas ukur. Set-up pengujian kapasitas adsorpsi dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 6 Set-Up Eksperimental Proses Desorpsi

Kemudian sumber panas dimatikan sehingga terjadi konveksi alami pada alat uji kapasitas adsorpsi. Tekanan dan temperatur akan menurun yang menyebabkan timbulnya uap adsorpsi. Ini dinamakan proses adsorpsi



Gambar 7 Set-Up Eksperimental Proses Adsorpsi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data temperatur rata-rata, tekanan, kapasitas adsorpsi-desorpsi, efisiensi adsorber dan gelas ukur dapat dilihat seperti tabel berikut ini.

Edisi Cetak Jurnal Dinamis, September 2015 (ISSN: 0216-7492)

					Disera p (mL)	Kemba li (mL)	%	%
1	18 November 2013	Metanol	187,75	- 0,5333	275	275	29,12	25,20
	19 November 2013			- 0,7033				
2	25 November 2013	Etanol	187,85	- 0,5333	250	250	29,54	18,25
	26 November 2013			- 0,7066				
3	27 November 2013	Amonia	184,91	- 0,5333	200	200	28,68	22,28
	28 November 2013			- 0,7133				

Tabel 5 Hasil Pengujian Metanol, Etanol dan Amonia

**4.1 Analisis Pengujian Dan Pengolahan Data Terhadap Metanol**

(18-19 Nov 2013)

Pada bagian ini, yaitu menentukan kapasitas adsorpsi-desorpsi adsorben karbon aktif terhadap metanol.

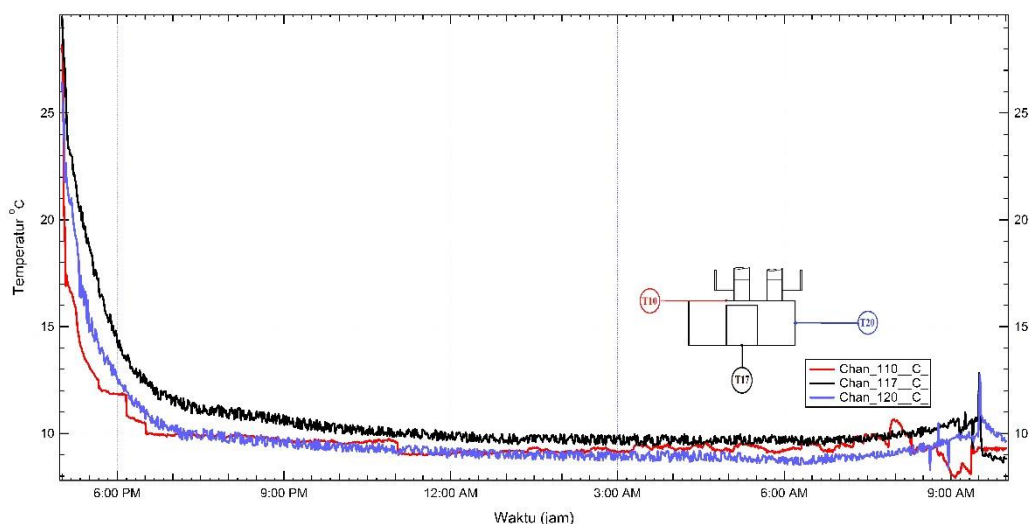
a. Pempvakuman

Tahap awal pengujian adalah pempvakuman. Pempvakuman dimulai pukul 10.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB. Tempertur maksimum pempvakuman adsorber adalah 197,08°C. temperatur awal pempvakuman adalah 28,21°C.

b. Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dimulai pada pukul 17.00 WIB sampai dengan pukul 10.00 WIB keesokan harinya.

Temperatur rata-rata pada gelas ukur saat proses adsorpsi adalah 9,56°C. Tekanan awal adsorpsi dan tekanan akhir adsorpsi secara berturut-turut -0,533 Bar dan -0,703 Bar. Kapasitas adsorpsi metanol adalah 275 mL.



Gambar 8 Grafik Temperatur vs Waktu Adsorpsi Metanol pada Gelas Ukur

c. Proses Desorpsi

Proses desorpsi dilakukan mulai pukul 10.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB dengan menghidupkan lampu halogen. Karena adsorben dipanaskan maka metanol akan keluar

menuju gelas ukur. Volume metanol yang masuk ke gelas ukur sama dengan volume adsorpsinya yaitu 275mL.

Efisiensi adsorber pada pengujian metanol dapat dihitung sebagai berikut ini.

$$\eta \% = \frac{q_{tot}}{q_s} \times 100\% = \frac{291,2 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \times 100\% = 0,2912 \times 100\% = 29,12\%$$

Maka, efisiensi kolektor pada pengujian metanol adalah 29,12%.

Efisiensi gelas ukur sebagai berikut.

$$Q_{in} = 291,284 \text{ W}$$

$$Q_o = Q_{konv} + Q_s + Q_L = 73,402 \text{ W}$$

Sehingga, efisiensi gelas ukur adalah

$$\eta_{GL} = \frac{Q_o}{Q_{in}} \times 100 \% = \frac{73,402}{291,284} \times 100\% = 25,199 \%$$

#### 4.2 Analisis Pengujian Dan Pengolahan Data Terhadap Etanol

(tanggal 25-26 Nov 2013)

##### a. Proses Pemvakuman

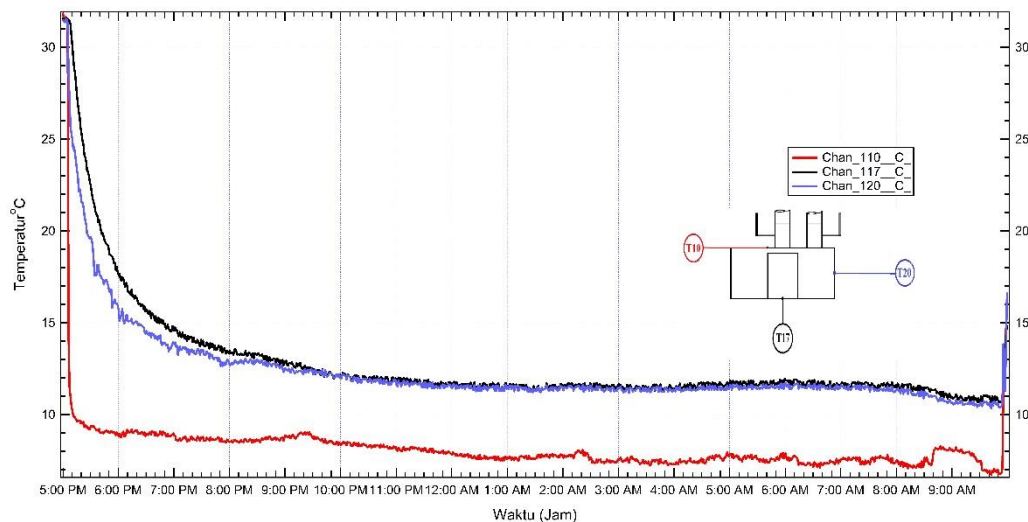
Proses pemvakuman etanol sama perlakuannya dengan pengujian metanol yaitu dipanaskan dengan lampu halogen dari pukul 10.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB. Masing-masing temperatur maksimum dan temperatur awal pengujian adalah 195°C dan 27,01°C.

##### b. Proses Adsorpsi

Tekanan awal proses adsorpsi adalah -0,533 Bar dan tekanan akhir adalah -0,706 Bar. Temperatur rata-rata gelas ukur pada proses adsorpsi adalah 10,40°C. Volume etanol yang teradsorpsi adsorben adalah 250 mL.

##### c. Proses desorpsi

Proses desorpsi dimulai pada pukul 10.00 WIB dengan menghidupkan lampu halogen 1000 W sampai dengan pukul 17.00 WIB. Volume etanol yang kembali ke gelas ukur sama dengan volume etanol yang terdesorpsi = 250 mL.



Gambar 9 Grafik Temperatur vs Waktu Adsorpsi Etanol pada Gelas Ukur

Efisiensi kolektor pada pengujian etanol dapat dihitung sebagai berikut ini.

$$\eta \% = \frac{q_{tot}}{q_s} \times 100\% = \frac{295,4 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \times 100\% = 0,2954 \times 100\% = 29,54\%$$

Maka, efisiensi kolektor pada pengujian etanol adalah 29,54%.

Efisiensi gelas ukur sebagai berikut.

$$Q_{in} = 291,284 \text{ W}$$

$$Q_o = Q_{konv} + Q_s + Q_L = 52,143 \text{ W}$$

Sehingga, efisiensi gelas ukur adalah

$$\eta_{GL} = \frac{Q_o}{Q_{in}} \times 100 \% = \frac{52,143}{291,284} \times 100 \% = 18,23 \%$$

**4.3 Analisis Pengujian Dan Pengolahan Data Terhadap Amonia**  
(tanggal 27-28 Nov 2013)

a. Proses Pemvakuman

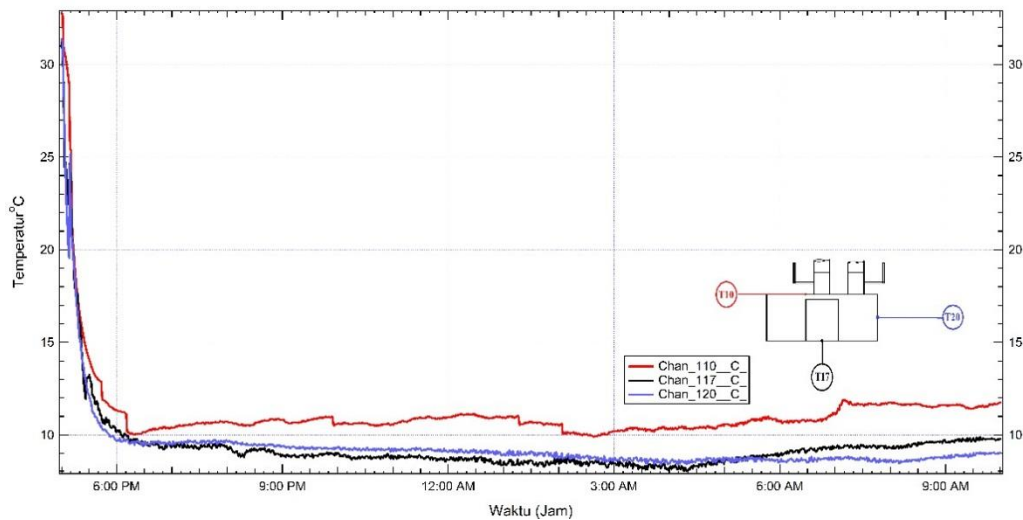
Proses pemvakuman pada pengujian Amonia sama perlakuannya dengan proses pemvakuman pengujian sebelumnya yaitu dipanaskan mulai pukul 10.00 WIB dan berakhir pada pukul 17.00 WIB. Temperatur maksimum pemvakuman adalah 199,81°C. Temperatur awal percobaan pada adsorber adalah 28,10°C.

b. Proses Adsorpsi

Tekanan awal proses adsorpsi adalah -0,533 Bar dan tekanan akhir adalah -0,713 Bar. Temperatur rata-rata gelas ukur pada proses adsorpsi adalah 9,60°C. Volume Amonia yang teradsorpsi adalah 200 mL.

c. Proses Desorpsi

Proses desorpsi dimulai pada pukul 10.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB dengan menghidupkan lampu halogen 1000 W. Volume refrigeran yang kembali ke dalam gelas ukur (desorpsi) sama dengan volume refrigeran yang teradsorpsi yaitu 200 mL.



Gambar 10 Grafik Temperatur vs Waktu Adsorpsi Amonia pada Gelas Ukur

Efisiensi kolektor pada pengujian amonia dapat dihitung sebagai berikut ini.

$$\eta \% = \frac{q_{tot}}{q_s} \times 100 \% = \frac{286,8 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \times 100 \% = 0,2868 \times 100 \% = 29,54 \%$$

Maka, efisiensi asorber pada pengujian amonia adalah 28,68%.

Efisiensi gelas ukur sebagai berikut.

$$Q_{in} = 291,284 \text{ W}$$

$$Q_o = Q_{konv} + Q_s + Q_L = 60,31 \text{ W}$$

Sehingga, efisiensi gelas ukur adalah

$$\eta_{GL} = \frac{Q_o}{Q_{in}} \times 100 \% = \frac{60,31}{291,284} \times 100 \% = 22,285 \%$$

**5. KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Adsorpsi pada pengujian masing-masing refrigeran berlangsung selama 17 jam (mulai jam 17.00 WIB sampai dengan pukul 10.00 WIB pada keesokan harinya).



Desorpsi pada pengujian masing-masing refrigeran berlangsung selama 7 jam (mulai pukul 10.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB).

2. Hasil/data dari proses adsorpsi gelas ukur diisolasi dengan styrofoam
  - a. Volume refrigeran metanol yang dapat diserap (adsorpsi) sama dengan volume refrigeran metanol yang keluar dari karbon aktif (proses desorpsi) yaitu sebesar 275 mL.
  - b. Volume refrigeran etanol yang dapat diserap (adsorpsi) sama dengan volume refrigeran etanol yang keluar dari karbon aktif (proses desorpsi) yaitu sebesar 250 mL.
  - c. Volume refrigeran amonia yang dapat diserap (adsorpsi) sama dengan volume refrigeran amonia yang keluar dari karbon aktif (proses desorpsi) yaitu sebesar 200 mL.
3. Musicool tidak dapat diuji dengan menggunakan alat penguji kapasitas adsorpsi. Hal ini karena titik didih musicool sangat rendah pada tekanan 1 atm. Dengan tekanan yang tinggi masuk ke dalam alat penguji, sehingga alat menjadi mengembang dan tidak berhasil diuji.
4. Dari hasil pengujian kapasitas adsorpsi dengan beberapa refrigeran diperoleh bahwa metanol merupakan refrigeran yang optimal digunakan untuk pasangan adsorben karbon aktif.
5. Efisiensi adsorber  
Efisiensi adsorber pada pengujian dengan gelas ukur diisolasi styrofoam adalah sebagai berikut ini.
  - Efisiensi adsorber pada pengujian Metanol sebesar: **29,12 %**
  - Efisiensi adsorber pada pengujian Etanol sebesar: **29,54 %**
  - Efisiensi adsorber pada pengujian Amonia sebesar: **28,68 %**
6. Efisiensi Gelas Ukur  
Efisiensi gelas ukur pada pengujian dengan kondisi diisolasi styrofoam adalah sebagai berikut ini.
  - Efisiensi gelas ukur pengujian Metanol sebesar **25,20 %**
  - Efisiensi gelas ukur pada pengujian Etanol sebesar **18,25 %**
  - Efisiensi gelas ukur pengujian Amonia sebesar **22,28 %**

## 5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pengelasan pada alat pengujian harus bagus. Sehingga tidak ada kobocoran.
2. Pengikat kasa nyamuk harus kuat. Sehingga karbon aktif tidak keluar dari katup.
3. Untuk proses adsorpsi yang lebih efektif, sebaiknya ditambahkan katup ekspansi untuk menurunkan tekanan.

Pada gelas ukur dipilih bahan yang memiliki konduktivitas tinggi dan diusakan permukaannya luas sehingga baik pertukaran panasnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Damanik, Masrin. 2011. Kajian Ekprimental Untuk Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi yang Digerakkan Energi Surya. USU
- [2] [www.id.wikipedia.org/wiki/](http://www.id.wikipedia.org/wiki/) accessed November, 20, 2013
- [3] Purba, Jhon. 2012. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CYLINDER. Volume 1. Unika Atma Jaya: Jakarta
- [4] L.W. Wang, dkk. 2003. Study of the Performance of actived carbon-Methanol adsorption system concerning heat and mass transfer. Journal of Applied Thermal Engineering. China