

SISTEM PENDINGIN ADSORPSI *DOUBLE BED* ADSORBER DENGAN LAJU ALIRAN PENDINGINAN PADA EVAPORATOR 1 KG/MIN PASANGAN KARBON AKTIF-METANOL SEBAGAI ADSORBEN-ADSORBAT

Pipin Azrin¹, Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

¹pipin_azrin@yahoo.com, ²awaludinmartin01@gmail.com

Abstract

This paper presents the adsorption cooling system of double bed adsorber with a working pairs activated carbon-methanol as adsorbent-adsorbate that has a cooling capacity of 5000 BTU/hr-. This study is conducted experimental approach to investigate flow rate of cooling to the evaporator of 1 kg/min. This study aimed to know the temperature of water comes out of from evaporator when the adsorption process. Cycle time was given to the process of adsorption of 35 minutes and desorption of 50 minutes. Retrieval of data of the water temperature comes out of from evaporator using a thermometer ST-2 that was performed every 5 minutes for pressure data retrieval from the pressure gauge. Process of adsorption cooling system of double bed adsorber through the process of adsorption (cooling, adsorption, and evaporation) and desorption (heating, desorption, and evaporation). In this study also aimed to generate COP (Coefficient of Performance) from the system. In this study resulted the lowest water temperature out of from evaporator of 26.2 °C, pressure of -60 cmHg with evaporator water inlet temperature of 29.2 °C at time of 5 minutes adsorption process adsorber 1. So the water Δt was 3 °C. COP generated by the system was 0.05214.

Keywords: Adsorption, Desorption, COP (Coefficient Of Performance), Activated Carbon, Methanol

1. Pendahuluan

Pendingin adsorpsi adalah teknologi ramah lingkungan di mana limbah panas dimanfaatkan untuk menggerakkan sistem pendingin. Namun, salah satu kekurangan pendingin adsorpsi adalah *Coefficient Of Performance* (COP) yang rendah (Dakkama, et al, 2015).

Sistem pendingin adsorpsi memiliki keuntungan terhadap ramah lingkungan dikarenakan memiliki nilai nol pada *Ozon Depletion Potential* (ODP) serta nilai nol pada *Global Warming Potential* (GWP) karena penggunaan refrigeran yang alami seperti amonia, air, dan metanol. Pasangan kerja adsorpsi untuk pendinginan meliputi pasangan kerja adsorpsi fisik, pasangan kerja adsorpsi kimia dan pasangan kerja senyawa adsorpsi. Pasangan kerja adsorpsi fisik yang khas terutama silika gel-air, zeolit-air, karbon aktif-amonia, karbon aktif-metanol. Selain itu, karbon aktif-R134a juga telah dianggap sebagai pasangan kerja adsorpsi fisik. Kemudian pasangan kerja adsorpsi kimia yang khas adalah CaCl_2 amonia yang memiliki kapasitas adsorpsi yang besar. Untuk pasangan senyawa adsorpsi salah satu contoh adalah campuran karbon aktif dan CaCl_2 (Chen, et al, 2005).

Penelitian Hassan (2013), dengan melakukan penelitian untuk pasangan karbon aktif/methanol untuk pembuatan es menggunakan sistem pendingin adsorpsi dengan temperatur evaporator -5 °C, temperatur kondensor 35 °C, temperatur regenerasi mulai dari 74,65 °C - 120 °C. Di mana tekanan di evaporator adalah 2,91 kPa dan tekanan

di kondensor 27,79 kPa. Hasil yang diperoleh adalah COP dari sistem ini adalah 0,616 dan dapat menghasilkan es sebesar 27 kg per siklus pada temperatur evaporator -5 °C dan temperatur air 25 °C.

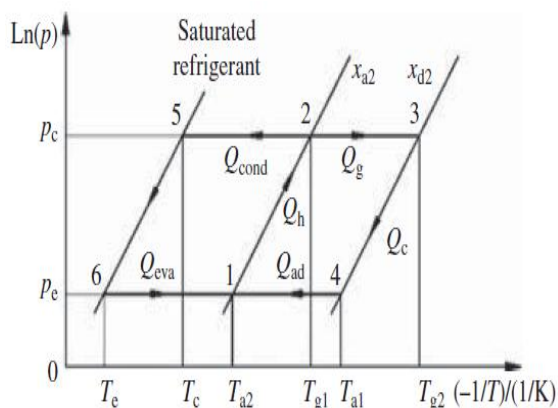
Berdasarkan penelitian Khalifa (2011), dengan melakukan penelitian *experimental study on two beds adsorption chiller with regeneration* dengan menghasilkan efek pendinginannya dapat tetap berlanjut. Temperatur evaporator 0 °C, temperatur kondensor 40 °C, temperatur air 25 °C, dan temperatur air panas adalah 70 °C - 100 °C, sehingga menghasilkan COP 0,403. Dalam penelitian tersebut sumber panas yang digunakan adalah *solar collector*.

Penelitian penulis tentang sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* siklusnya tidak sama dengan siklus *single bed adsorber*. Siklus untuk sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber*, ketika *adsorber 2* proses adsorpsi maka *adsorber 1* proses desorpsi, siklus ini sekaligus berlangsung. Sedangkan siklus sistem pendingin adsorpsi *single bed adsorber* ketika *adsorber* melakukan proses adsorpsi maka proses desorpsi terjadi setelah proses adsorpsi selesai. Jadi, waktu proses sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* lebih singkat dibandingkan *single bed adsorber*. Penelitian ini, sumber panas yang digunakan adalah elemen pemanas elektrik.

Dalam penelitian ini dengan laju aliran air pendinginan pada evaporator 1 kg/min bertujuan untuk mengetahui temperatur air yang keluar dari evaporator dengan waktu adsorpsi 50 menit dan waktu desorpsi 35 menit serta COP yang

dihasilkan. Proses siklus sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* ini merupakan proses yang harus melewati proses adsorpsi dan desorpsi. Dimana komponen penelitian sistem pendingin adsorpsi ini terdiri dari : evaporator, kondensor, 2 *adsorber*, dan *reservoir* metanol. Adapun proses yang harus dilewati sistem ini adalah adsorpsi *adsorber* 2 dan desorpsi *adsorber* 1 proses ini berlangsung bersamaan. Setelah proses ini selesai, maka proses sebaliknya berlangsung adsorpsi *adsorber* 1 dan desorpsi *adsorber* 2. Ini yang dinamakan proses *adsorption cooling system double bed adsorber*.

Berbicara sistem pendingin adsorpsi yang paling terpenting adalah memahami *cycle diagram clausius clapeyron* karna siklus ini merupakan siklus *basic adsorption refrigeration* dapat dilihat pada Gambar 1. Dari siklus ini diketahui tekanan dan temperatur pada sistem adsorpsi. Tekanan yang terpenting dalam siklus ini adalah tekanan kondensor dan tekanan evaporator karna dengan tekanan ini sistem dapat berjalan, Perlu diketahui kesetimbangan tekanan dalam sistem ini sangat perlu dijaga untuk menghasilkan temperatur yang diinginkan. *Cycle Diagram clausius clapeyron* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Cycle Diagram Clausius Clapeyron (Wang, et al, 2014)

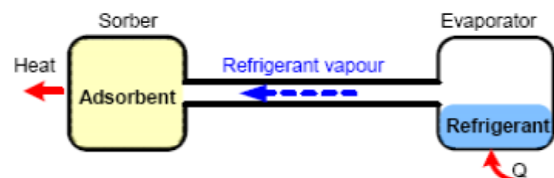
Dengan menggunakan langkah *Adsorption Cooling System (ACS)* dapat menghasilkan efek pendinginan (Sharafian, dan Bahrami 2014). siklus termodinamika *clausius clapeyron* terdiri dari empat proses, yaitu sebagai berikut (Wang, et al, 2014) :

- 1-2 : adsorben di dalam adsorber : *adsorber* dan adsorben, yang mana terjadi setelah adsorpsi dan uap jenuh, dipanaskan dan temperatur naik T_{a2} ke T_{g1} dan tekanan refrigeran di dalam *adsorber* adsorpsi naik dari P_e (tekanan evaporator) ke P_c (tekanan kondensor) selama proses. Perlu ditekankan bahwa P_e dan P_c ditentukan oleh temperatur evaporasi dan temperatur kondensasi. Secara

umum kita berasumsi bahwa desorpsi tidak terjadi sampai tekanan mencapai P_c , sehingga untuk proses ini volume tidak berubah, ini merupakan proses pemanasan isometrik. Karena massa dari gas refrigeran perpindahan massanya melalui *adsorber* dan micropori untuk adsorben relatif sangat kecil dengan massa refrigeran; dalam proses pemanasan konsumsi panas sensibel oleh gas refrigeran di adsorben *adsorber* umumnya diabaikan.

- 2-3: adsorben di dalam *adsorber* terdipanaskan sampai mencapai temperatur desorpsi maksimum temperatur T_{g2} . Pada waktu yang bersamaan, refrigeran yang teradsorpsi kemudian dilepaskan. Karena tekanan utamadi kontrol oleh tekanan kondensasi dalam tahap ini, proses ini sebagai proses isobarik dengan tekanan P_c . Proses ini diasumsikan bahwa gas refrigeran yang terkondensasi ke dalam kondensor dengan cepat ketika desorpsi,
- 3-4: Hal ini mirip dengan proses 1-2. Ketika adsorben di dalam bed akan terdesorpsi sepenuhnya, *adsorber* akan didinginkan dan temperatur turun dari T_{g2} ke T_{a1} serta tekanan refrigeran berkurang dari P_c ke P_e . Dalam proses ini katup yang terhubung ke evaporator dan adsorber ditutup, maka volume dapat dikatakan konstan, yaitu, proses dapat diperlakukan sebagai proses isometrik.
- 4-1: ketika adsorben didinginkan pada temperatur adsorpsi T_{a2} , katup antara evaporator dan *adsorber* akan terbuka. Adsorben akan menyerap zat pendingin di dalam evaporator, dan tekanan akan dikontrol oleh tekanan evaporasi. Sehingga proses dapat dianalisa dengan proses isobarik dengan tekanan P_e . Proses ini akan selesai saat adsorben dikembalikan ke state 1.

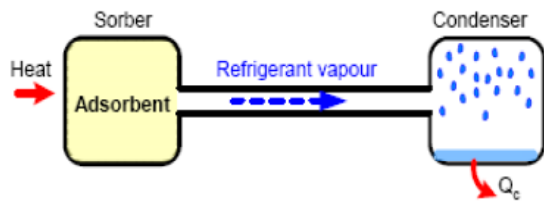
Proses adsorpsi, dimana kalor (Q) masuk ke evaporator (refrigeran) dan panas keluar melalui *adsorber* (adsorben). Dalam proses ini refrigeran masuk ke evaporator dalam bentuk uap hingga ke adsorber. Proses ini terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Proses Adsorpsi (Hadia, 2008)

Proses desorpsi, panas masuk ke *adsorber* (adsorben) dan panas keluar melalui kondensor (Q_c). Dalam proses ini, sebelum refrigeran masuk

ke kondensor masih dalam fase uap ketika sudah mencapai kondensor, refrigeran telah berubah fase menjadi cair. Proses ini dinyatakan dengan proses desorpsi dimana pelepasan molekul-molekul refrigeran yang terserap oleh adsorben ketika diberi kalor. Proses ini terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Proses Desorpsi
(Hadia, 2008)

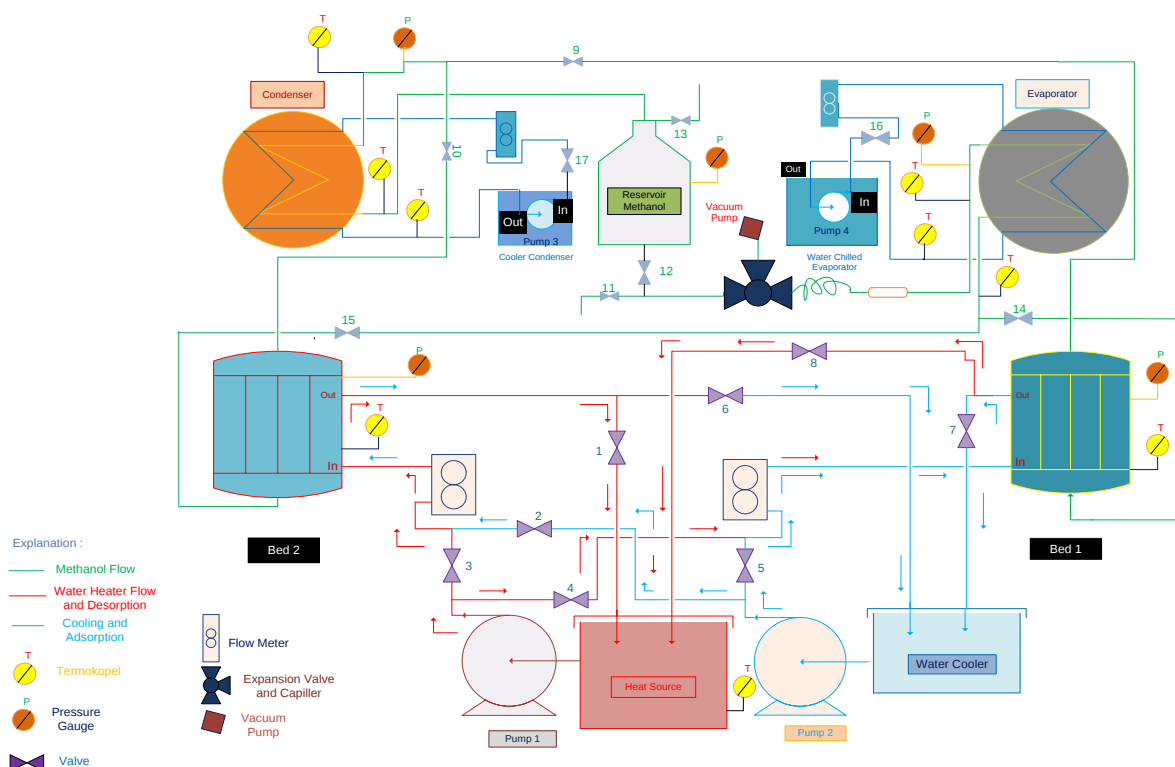
2. Metode

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen ini dilakukan pada sistem pendingin adsorpsi dengan *double bed adsorber* dengan karbon aktif-metanol sebagai adsorben dan adsorbat untuk mengetahui temperatur air yang keluar dari evaporator dengan laju aliran air evaporator 1 kg/min waktu adsorpsi 50 menit dan desorpsi 35 menit serta untuk mengetahui nilai COP yang dihasilkan. Dalam penelitian ini karbon aktif yang digunakan adalah tempurung kelapa dan metanol yang dipakai diproduksi oleh PT. BRATACO dengan kadar kemurnian 98 %.

Data yang diambil berupa data kuantitatif pada beberapa titik disetiap komponen yang terukur oleh alat ukur selama waktu pengujian. Jeda waktu pengambilan data dilakukan setiap 5 menit dengan mencatat ukuran awal yang terbaca dialat ukur sebelum memulai proses. Pengambilan data dilakukan dengan membaca ukuran tekanan pada *pressure gauge* disetiap komponen adsorber, evaporator, *reservoir*, dan kondensor. Setelah pembacaan tekanan disetiap komponen, *setting* laju aliran air pendingin evaporator 1 kg/min, dan laju aliran air pendingin kondensor 3.6 kg/min menggunakan *flow meter*. Untuk pembacaan temperatur, temperatur masuk dan temperatur keluar disetiap komponen. Temperatur yang dibaca temperatur *in* dan *out* metanol, temperatur *in* dan *out* air pendingin, dan temperatur air panas. Pembacaan temperatur menggunakan *thermometer digital ST-2*, *temperature range* -50 °C hingga 70 °C, *accuracy* ± 1 °C. Sedangkan pembacaan suhu airpanas menggunakan termokopel dengan pengaturan *temperature controller* dengan suhu 85 °C.

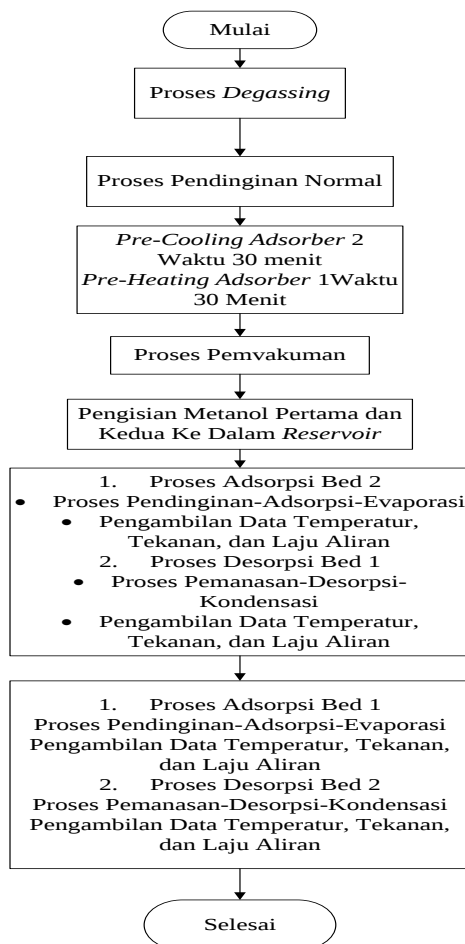
Pengambilan data dilakukan secara manual yaitu, melalui *thermometer* untuk pembacaan suhu dan pembacaan tekanan melalui *pressure gauge vacuum* pada evaporator, kondensor, *adsorber*, dan *reservoir*.

Skematik alat pengujian eksperimen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Skematik Alat Pengujian

Diagram alir pengujian dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Eksperimen

COP (Coefficient of Performance) adalah nilai yang menunjukkan performansi dari suatu mesin, dipakai dalam suatu sistem pendingin. Pada sistem pendingin adsorpsi dengan *double bed adsorber* dilakukan perhitungan terhadap nilai COP.

$$COP = \frac{Q_{\text{evap}}}{Q_{\text{waste heat}}} \text{ (Sharafian, dan Bahrami 2014).}$$

$$= \frac{Q_{\text{evap}}}{\text{Adsorption Time}} \left(h_{\text{sat, vapor @ } T_{\text{evap}}} - h_{\text{sat, liquid @ } T_{\text{cond}}} \right) \text{ (Sharafian, dan Bahrami 2014).}$$

$$Q_{\text{wh}} = \frac{m_{\text{adsorbent}} \left[(C_{p, \text{adsorben}} + C_{p, \text{liquid adsorbate}} + \frac{m_{\text{hed}}}{m_{\text{adsorbent}}} c_{\text{bed}}) \Delta T_{\text{meth}} \right]}{\Delta T_{\text{meth}}} \text{ (Sharafian, dan Bahrami 2014).}$$

$$\frac{\Delta h_{\text{ads}}}{x} / \Delta t \text{ (Sharafian, dan Bahrami 2014).}$$

Keterangan :

m_{adsorbat} = massa metanol yang terserap proses adsorpsi (kg)

m_{adsorben} = massa karbon aktif (kg)

C_p = kapasitas kalor spesifik pada tekanan konstan kJ/kg-K

m_{bad} = massa tabung adsorber (kg)

ΔT = perbedaan temperatur (°C)

Δt = Waktu variasi desorpsi (s)

Δh = perbedaan entalpi (kJ/kg)

X = kapasitas penyerapan (kg/kg)

H = entalpi kJ/kg

Q_{evap} = kalor yang dibutuhkan evaporator (kW)

Q_{wh} = kalor yang dibutuhkan proses desorpsi (kW)

COP = Coefficient of Performance

Dalam melakukan perhitungan untuk nilai entalpi dan c_p dengan menggunakan bantuan *software reprop (reference fluid thermodynamics and transport properties) version 8.0*.

3. Hasil

Adapun Pengujian yang dilakukan pertama adalah pengujian yang dilakukan dengan memberikan waktu desorpsi 35 menit untuk adsorber 1, adsorpsi 50 menit untuk adsorber 2 dengan m air pada evaporator 1 kg/min.

Adapun tekanan awal setelah dilakukan pemvakuman pada sistem untuk proses ini adalah sebagai berikut :

- Tekanan *adsorber 2* = - 68 cmHg
- Tekanan *adsorber 1* = - 70 cmHg
- Tekanan *reservoir* = - 69 cmHg
- Tekanan evaporator = - 68 cmHg
- Tekanan kondensor = - 72 cmHg

Tekanan dan temperatur rata-rata setelah metanol 2 liter pertama masuk ke dalam *reservoir* selama 20 menit hingga ke *adsorber 1* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Metanol In 2 Liter Sebelum Proses Adsorpsi dan Desorpsi

Waktu (menit)	Tekanan evap (cmHg)	Tekanan <i>adsorber 1</i> (cmHg)
20	-63	-65,6

Tekanan <i>reservoir</i> (cmHg)	Temp metanol in evaporator °C	Temp metanol out evaporator °C	Nilai ΔT metanol °C
-43,2	26,72	27,22	0,74

Setelah metanol in *reservoir* 2 liter pertama selesai, maka metanol 2 liter yang kedua masuk ke

dalam *reservoir* dan proses adsorpsi untuk *adsorber* 2 dan desorpsi untuk *adsorber* 1 berlangsung. Data pengujian tekanan dan temperatur rata-rata untuk proses adsorpsi *adsorber* 2 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Adsorpsi *Adsorber* 2

Waktu (menit)	Tek evap (cmHg)	Tek ads 2 (cmHg)	Temp air out evap °C
50	-60,091	-62,454	28,118

Tek res (cmHg)	m Air cooled ads (kg/min)	Temp metanol in evap °C	Temp metanol out evap °C	m Air cooled evap (kg/min)
-39	5	28,491	28,082	1

Temp air in evap °C	Nilai ΔT air °C
29,545	1,427

Ketika *adsorber* 2 melakukan proses adsorpsi maka *adsorber* 1 melakukan proses desorpsi, pelepasan molekul-molekul adsorben ketika diberi kalor. Data pengujian tekanan dan temperatur rata-rata selama proses desorpsi untuk *adsorber* 1 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Desorpsi *Adsorber* 1

Waktu (menit)	Tek kond (cmHg)	Tek ads 1 (cmHg)	Temp air out kond °C
35	-50,5	-47,75	29,875

m Air cooled kond (kg/min)	m Air panas ads (kg/min)	Temp metanol in kond °C
3,6	1	39,225

Temp metanol out kond °C	Tek res (cmHg)	Temp air in kond °C	Nilai ΔT air °C
31,7875	-42,25	29,7625	0,1125

Adapun eksperimen selanjutnya adalah kebalikan dari eksperimen sebelumnya. Pengujian dengan memberikan waktu desorpsi 35 menit untuk *adsorber* 2, adsorpsi untuk *adsorber* 1 dimana *flow rate* dan waktu adsorpsi tetap sama. Proses ini disebut dengan siklus *double bed adsorber adsorption cooling system*

Adapun tekanan awal setelah pemvakuman sebelum proses adsorpsi dan desorpsi berlangsung adalah sebagai berikut :

- Tekanan *reservoir* = -72 cmHg
- Tekanan evaporator = -68
- Tekanan *adsorber* 2 = -68 cmHg
- Tekanan *adsorber* 1 = -70 cmHg
- Tekanan kondensor = -75 cmHg

Tekanan dan temperatur rata-rata setelah metanol 2 liter pertama masuk ke dalam *reservoir* selama 20 menit hingga ke *adsorber* 2 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4: Tekanan dan Temperatur Rata-Rata In 2 Liter dari *Reservoir* Hingga *Adsorber* 2

Waktu (menit)	Tekanan evap (cmHg)	Tekanan <i>adsorber</i> 2 (cmHg)
20	-63,2	-65,2

Tekanan <i>reservoir</i> (cmHg)	Temp metanol in evaporator °C	Temp metanol out evaporator °C	Nilai ΔT metanol °C
-45,4	24,8	24,08	0,72

Setelah metanol 2 liter pertama di masukkan ke dalam *reservoir* hingga *adsorber* 1 selama 20 menit, maka proses metanol 2 liter selanjutnya dimasukkan kembali ke dalam *reservoir* pengujian adsorpsi dan desorpsi berlangsung.

Data pengujian tekanan dan temperatur rata-rata adsorpsi untuk *adsorber* 1 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5: Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Adsorpsi *Adsorber* 1

Waktu (menit)	Tek evap (cmHg)	Tek ads 1 (cmHg)	Temp air out evap °C
50	-57,363	-59,909	29,327

Tek res (cmHg)	m Air cooled ads (kg/min)	Temp metanol in evap °C	Temp metanol out evap °C	m Air cooled evap (kg/min)
-38,363	5	29,436	29,336	1

Temp air in evap °C	Nilai ΔT air °C
29,491	0,1636

Data pengujian tekanan dan temperatur rata-rata proses desorpsi *adsorber* 2 dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6: Tekanan dan Temperatur Rata-Rata Proses Desorpsi *Adsorber* 2

Waktu (menit)	Tek kond (cmHg)	Tek ads 2 (cmHg)	Temp air out kond °C
35	-45,25	-46,625	33,575

m Air cooled kond (kg/min)	m Air panas ads (kg/min)	Temp metanol in kond °C	
3,6	1	48,7375	
Temp metanol out kond °C	Tek res (cmHg)	Temp air in kond °C	Nilai ΔT air °C
37,2375	-42,75	32,25	1,325

Berdasarkan data tekanan dan temperatur dalam pengujian, maka dapat dilakukan perhitungan COP dengan menggunakan persamaan yang tertera di metode. Berikut perhitungan nilai COP dari eksperimen, dimana pengujian yang dilakukan adsorpsi *adsorber* 2 desorpsi *adsorber* 1 dan adsorpsi *adsorber* 1 desorpsi *adsorber* 2 dengan waktu adsorpsi 50 menit, m air evaporator 1 kg/min dengan waktu desorpsi 35 menit. Perhitungan nilai COP dapat terlihat di bawah ini.

$$COP = \frac{Q_{\text{evap}}}{Q_{\text{waste heat}}}$$

$$Q_{\text{evap}} = \frac{4 \text{ kg} (1067,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - (-68,793 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}))}{3000 \text{ s}} = 1,514791 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{wh}}$$

$$= \frac{12,954 \text{ kg} \left[\left(\frac{1,1304 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{7,48125 \text{ °C}} + \frac{2,6467 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{12,954 \text{ kg}} + \frac{100 \text{ kg}}{12,954 \text{ kg}} \cdot 0,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) - \left(\frac{-95,801 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0,247 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}} - \frac{1067,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{29,327 \text{ °C}} \right) \right]}{2100 \text{ s}}$$

$$= 29,05439 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{1,514791}{29,05439} = 0,05214$$

4. Pembahasan

Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa terjadinya kenaikan tekanan dari tekanan awal setelah pemvakuman, ini disebabkan karna adanya proses menempelnya molekul *adsorptive* terhadap permukaan adsorben (karbon aktif).

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa proses adsorpsi untuk *adsorber* 2 ΔT air di evaporator hanya 1,427 °C. Hal ini disebabkan terjadinya perpindahan kalor dari metanol ke air dengan adanya tekanan pada evaporator selama proses adsorpsi -60 cmHg hingga tekanan -62,454 pada *adsorber* 2.

Dari Tabel 3, dapat diketahui bahwa tekanan kondensor dan temperatur metanol meningkat. Hal ini disebabkan terjadinya proses yang dinamakan desorpsi, proses pelepasan molekul-molekul adsorbat dari mikropori karbon aktif dengan memberikan panas pada karbon aktif sehingga

tekanan dan temperatur menjadi meningkat dari tekanan dan temperatur semula.

Dari Tabel 5, proses adsorpsi *adsorber* 1 selama 50 menit temperatur rata-rata air yang keluar dari evaporator 29,327 °C dengan tekanan evaporator -57,363 cmHg, ΔT air 0,1636 °C. Hal ini disebabkan tekanan merupakan fungsi dari temperatur, sehingga apabila tekanan ditingkatkan untuk menjaga kapasitas penyerapan konstan, maka temperatur akan menurun.

Dari Tabel 6, nilai Δt air rata-rata pada proses ini 1,325 °C lebih tinggi dari proses sebelumnya disebabkan temperatur metanol in sewaktu desorpsi 48,7375 °C.

5. Simpulan

Dari penelitian sistem pendingin adsorpsi *double bed adsorber* kapasitas pendinginan 5000 BTU/h dengan karbon aktif-adsorben dan metanol-adsorbat dengan memberikan laju aliran air pada evaporator 1 kg/min waktu desorpsi 35 menit menghasilkan COP 0,05214. Temperatur rata-rata air yang keluar dari evaporator selama 50 menit proses adsorpsi, untuk adsorpsi *adsorber* 2 temperatur rata-rata air yang keluar dari evaporator 28,118 °C dengan temperatur air masuk evaporator 29,545 °C, dan untuk adsorpsi *adsorber* 1 temperatur rata-rata air yang keluar dari evaporator 29,327 °C dengan temperatur air masuk evaporator 29,491 °C.

Daftar Pustaka

- Chen, J, C, Wang, W, L, Wang, R, Z, dan Lu, Z, S. 2005. Performance Analysis of an Adsorption Refrigerator Using Activated Carbon in a Compound Adsorbent. *Science Direct*. China. pp (2005) : 747-752.
- Dakkama, J, H, Elsayed, A, Al-Dadah, K, R, Mahmoud, M, S, dan Youssef, P. 2015. Investigation of Cascading Adsorption Refrigeration System with Integrated Evaporator-Condenser Heat Exchanger Using Different Working Pairs. *The 7th International Conference on Applied Energy* : 1496-1501.
- Hadia, Mahdi, Faeza. 2008. "Theoretical and Experimental Study Performance of Two Bed Solar Adsorption Chiller with Regeneration". Thesis Master of Technology In Thermal Engineering from technical college Baghdad Iraq.
- Hassan, Z, H, Mohamad, A, A, Al-Ansary, A, H. 2012. Development of a Continuously Operating Solar Driven Adsorption Cooling System. *Applied Thermal Engineering* 48 : (2012) 332e34.
- Khalifa, N, Hadi, Abdul. 2011. Experimental Study on Two Beds Adsorption Chiller with

Regeneration. *Modern Aplplied Science*, Vol 5 :
ISSN 1913-1844.

- Sharafian, Amir, dan Bahrami, Majid. 2014.
Assesment of Adsorber Bed Designs in Waste-
Heat Driven Adsorption Cooling Systems for
Vehicle Air Conditioning and Refrigeration.
Renewable and Sustainable Energy Reviews.
Canada. pp : 440-451.
- Wang, Ruzhu, Wang Liwei, dan Wu, Jingyi. 2014.
Adsorption Refrigeration Technology Theory
and Application. Cina : John Willey dan Sons
Singapore Pte. Ltd.