RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN ADSORPSI DENGAN PASANGAN KARBON AKTIF-METANOL SEBAGAI ADSORBEN-ADSORBAT

Hariyono[1], Awaludin Martin[2]

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

sept_hariyono@yahoo.com[1], awaludinmartin@yahoo.com[2]

ABSTRACT

The air conditioning system is used during nowdays is vapor compression system that uses high energy and refrigerant that can damage the ozone layer and global warming increasing. Adsorption cooling system with activated carbon as adsorbent and methanol as adsorbate is expected to replace the vapor compression system that utilizes a high energy, using refrigerants that could potentially damage the ozone layer and the increase of global warming. This study aims to determine the value of COP adsorption cooling system was designed and fabricated. The method used in this research is the design. Method engineering is done for the design, manufacture, and testing of adsorption refrigeration using activated carbon-methanol pair as adsorbent-adsorbate. Based on test data obtained, the lowest temperature of the water coming out of the evaporator is 21.8 °C with the highest temperature change was 2.9 °C and the average water temperature change is 2.31 ^{o}C. COP values of adsorption cooling system was designed and fabricated at 0.0439.

Keywords : Adsorption, COP, Actiated Carbon, Methanol

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pada zaman sekarang ini, kehidupan manusia sudah tidak bisa terlepas dari pengkondisian udara. Menurut definisi pengkondisian udara adalah pengaturan simultan terhadap temperatur, kelembaban, aliran dan kebersihan udara di dalam suatu ruangan. Pengkondisian udara juga mencakup usaha pemanasan atau penghangatan ruangan. Pengkondisian udara dan refrigerasi yang digunakan di Indonesia masih merupakan sistem kompresi uap.

Pada saat ini terdapat 3 hal yang bertentangan dengan penggunaan pendingin sistem kompresi uap, yaitu :

1. Merusak Lapisan Ozon

Rowland dan Molina (1974) melakukan hipotesis bahwa *chloro fluorocarbons* (CFC) akan terurai di stratosfer, melepaskan atom klorin yang akan merusak ozon secara katalis. Dalam hipotesisnya menyampaikan dampak buruk CFC terhadap lapisan ozon mencetuskan babak baru dalam dunia pengkondisian udara. Pada tahun 1970-an, dilakukan berbagai penelitian yang dibiayai beberapa perusahaan penghasil refrigeran menghasilkan temuan yang mendukung hipotesis Molina dan Rowland. Diperkirakan terjadi perusakan lapisan ozon sekitar 3% per-dekade. Calm (2002) menyatakan bahwa lapisan ozon yang terdapat di daerah *stratosphere* berfungsi untuk menghalangi masuknya sinar ultraviolet-B ke permukaan bumi.

2. Pemanasan Global

Oreskes (2002) menyatakan mayoritas ilmuwan dunia meyakini bahwa pemanasan global yang terjadi belakangan ini diakibatkan oleh gas-gas rumah kaca yang dihasilkan oleh aktivitas manusia.

3. Konsumsi Energi

Kebutuhan energi pada mesin refrigerasi dan pengkondisian udara terhadap pasokan listrik nasional cukup tinggi. Di Shanghai, Saito (2002) mengemukakan bahwa pada beban puncak di musim panas, pengkondisian udara mengkonsumsi 1/3 suplai listrik. Suzuki,

et al (2005) memperkirakan bahwa beban listrik untuk mesin pengkondisian udara mengkonsumsi tidak kurang dari 1/5 suplai listrik di Jepang. Untuk belahan Amerika Utara, Todesco (2005) menyatakan bahwa kebutuhan listrik untuk mesin pengkondisian udara pada beban puncak mencapai 3,6 - 9,2 GW dengan kemampuan PT. PLN yang sekitar 39,5 GW (Seymour, et al, 2002). Sedangkan di Indonesia, Suwono (2005) menyebut sekitar 60% konsumsi listrik hotel di Bandung digunakan untuk memasok energi mesin pengkondisian udara.

Dengan demikian, terdapat tiga hal yang mempengaruhi perkembangan mesin refrigerasi dan pengkondisian udara saat ini, yaitu :

a. Refrigeran non-ODS.
b. Refrigeran non-GWP.
c. Sistem yang hemat energi.

Perlu diketahui bahwa efek GWP dan ODS pada zat refrigeran hanya terjadi bila zat tersebut terlepas ke atmosfer yang disebabkan kebocoran pada mesin refrigerasi ataupun penggantian dan *recycling refrigerant*. Untuk menjawab tiga kebutuhan terkait dengan perkembangan teknologi refrigerasi di atas, ilmuwan dan teknolog melakukan berbagai inovasi yang pada umumnya terkategorikan dalam tiga hal, yaitu:

a. Perbaikan prestasi dan karakteristik mesin refrigerasi yang telah eksis.
b. Penelitian guna menghasilkan refrigeran non-ODS dan non-GWP.
c. Pengembangan teknologi refrigerasi alternatif lainnya.

Untuk memenuhi ketiga hal tersebut, dikembangkanlah sistem refrigerasi dan pengkondisian udara secara adsorpsi. Sistem adsorpsi adalah sistem penyerapan secara fisika yang terdiri dari pasangan adsorben-adsorbat. Salah satu pasangan adsorben-adsorbat adalah karbon aktif-metanol.

Beberapa penelitian yang menggunakan pasangan karbon aktif-metanol sudah pernah di lakukan, baik dalam negeri maupun luar negeri. (Rekiyat, 2012) melakukan penelitiannya di Nigeria dengan membuat refrigerasi adsorpsi yang menghasilkan temperatur evaporasi 0^oC dan kondensasi 25^oC dengan menggunakan pemanas dari kolektor solar. (Wang, 2012) melakukan penelitian di China dengan membuat es adsorpsi yang menghasilkan temperatur evaporasi $-10,31^oC$ dengan menggunakan pemanas dari *heater*. Wang, et al (2002) melakukan penelitiannya di China dengan membuat es adsorpsi yang menghasilkan temperatur evaporasi $-10\ ^oC$ dan kondensasi 15^oC dengan menggunakan pemanas dari kolektor solar.

Penelitian dalam negeri yang dilakukan Taufan (2008) menghasilkan temperatur evaporasi terendah yaitu 14^oC dengan menggunakan metanol sebanyak 250 mL tanpa memperhitungkan dengan jumlah karbon aktif yang ada, sehingga peneliti beranggapan bahwa terjadi kekurangan metanol. Kemudian peneliti menyarankan untuk menambahkan jumlah metanol agar tidak terjadi kekurangan.

Kemudian Ginting (2008) melanjutkan penelitian yang dilakukan oleh Taufan (2008) menghasilkan temperatur evaporasi terendah yaitu $9,6^oC$. Peneliti menggunakan metanol sebanyak 1.000 mL juga tanpa melakukan perhitungan terhadap jumlah karbon aktif yang ada. Yudi (2008) melakukan penelitian mendapatkan temperaatur evaporasi terendah $21,9\ ^oC$. Saputra (2008) melakukan penelitian menggunakan karbon aktif yang berbahan dasar cangkang kelapa sawit dengan menghasilkan temperatur evaporasi $9,7^oC$.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan tidak mencapai temperatur yang diinginkannya. Peneliti-peneliti tersebut menganalisis beberapa hal yang menjadi penyebab tidak tercapainya temperatur yang diinginkan, yaitu sebagai berikut :

a. Adanya kebocoran pada adsorber yang dikarenakan pengelasan antara material yang tidak homogen.
b. Rendahnya *heat transfer perfomance* pada adsorber, dikarenakan jumlah *tube* pada adsorber tidak sebanding dengan luas penampang adsorben yang digunakan dan ukuran *tube* yang digunakan tidak optimal.
c. Tidak mengetahui kapasitas penyerapan karbon aktif sehingga tidak dapat diketahui jumlah metanol yang perlu disuplai ke dalam sistem sehingga

mengalami kelebihan atau kekurangan metanol.

d. Masuknya fluida panas (minyak goreng) ke dalam adsorber sehingga merusak karbon aktif pada saat desorpsi.

Penelitian yang akan dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut :

a. Pendingin adsorpsi yang akan dirancang dan dibuat berfungsi sebagai pengkondisian udara dengan temperatur evaporasi yang diharapkan 10 ^{o}C.
b. Fluida pemanas yang digunakan untuk desorpsi adalah air panas dengan pemanas dari *heater* yang dikontrol dengan *temperature controller*.
c. Jumlah adsorben (karbon aktif) dan adsorbat (metanol) dihitung berdasarkan kapasitas pendinginan yang dibutuhkan serta kapasitas penyerapan dari adsorben (karbon aktif).
d. Adsorber, evaporator dan kondensor yang dirancang menggunakan *helical coil* sebagai *heat exchanger* dengan aliran fluida *counter flow* yaitu air sebagai fluida pendingin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah maka perumusan masalah penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana proses perancangan dan pembuatan sistem pendingin adsorpsi dengan karbon aktif sebagai adsorben dan metanol sebagai adsorbat?
2. Bagaimana koefisien kinerja sistem pendingin adsorpsi dengan karbon aktif sebagai adsorben dan metanol sebagai adsorbat?

1.3 Batasan Masalah

Berhubung karena keterbatasan waktu, dana dan sarana pendukung, maka dalam perancangan dan pembuatan pendingin adsorpsi ini terdapat berbagai batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Karbon aktif yang digunakan merupakan karbon aktif yang terbuat dari batubara produksi Carbotech dari Jerman.
2. Metanol yang digunakan adalah metanol berkadar 98%.
3. Kalor yang disalurkan untuk memanaskan adsorben pada saat desorpsi adalah air panas dari *heater* dengan temperatur 90^{o}C dan untuk mendinginkan adsorben pada saat adsorpsi adalah air yang dalam temperatur lingkungan yaitu 27 ^{o}C.
4. Pengujian pendingin adsorpsi dilakukan dalam Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau dengan tekanan sistem adalah tekanan vakum yang mendekati -76 cmHg.

1.4 Tujuan

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membuat sistem pendingin adsorpsi dengan pasangan adsorben-adsorbat dari karbon aktif-metanol.
2. Mengetahui COP sistem pendingin adsorpsi dengan pasangan adsorben-adsorbat dari karbon aktif-metanol yang dirancang.

1.5. Manfaat

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, maka manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi masyarakat akan dapat mengetahui adanya pendingin yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi.
2. Bagi industri akan dapat mengetahui bentuk komponen baru dari pendingin yang tidak terdapat pada pendingin sistem kompresi uap yaitu adsorber dan cara kerjanya.
3. Bagi perguruan tinggi akan dapat mengetahui bentuk dan hasil perancangan sistem pendingin adsorpsi dengan pasangan adsorben-adsorbate dari karbon aktif-metanol serta COP.

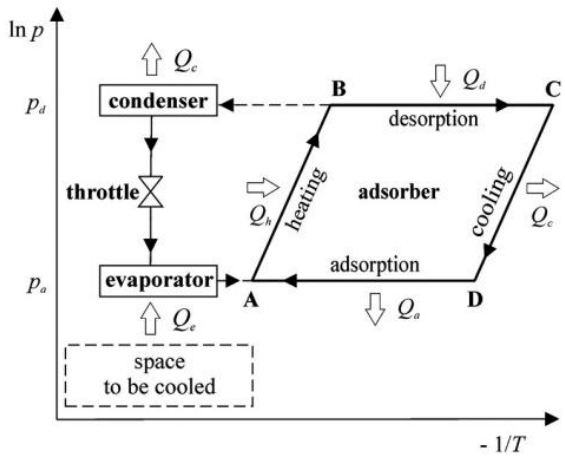
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Siklus Ideal Sistem Pendingin Adsorpsi

Adsorpi dan desorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara reversibel. Adsorpsi merupakan proses *exothermic* dimana adsorben (fluida) dan

adsorbat (padatan) melepaskan panas sehingga menyebabkan penurunan pergerakan molekul adsorbat yang mengakibatkan adsorbat tersebut menempel pada permukaan adsoben dan membentuk suatu lapisan tipis. Ketika panas diberikan kepada sistem tersebut maka pergerakan molekul adsorbat akan meningkat sehingga pada jumlah panas tertentu akan menghasilkan energi kinetik molekul adsorbat yang cukup untuk merusak gaya van der Waals antara adsorben dan adsorbat. Proses pelepasan adsorbat dari adsorben disebut sebagai proses desorpsi, dimana proses ini membutuhkan energi panas sehingga disebut proses *endothermic*.

Siklus mesin pendingin adsorpsi tidak membutuhkan energi mekanis, melainkan membutuhkan energi panas. Pada saat mesin pendingin beroperasi, beberapa proses yang terjadi pada adsorber yang melibatkan proses *endothermic* dan *exothermic*. Proses *endothermic* berlangsung selama proses pemanasan (peningkatan tekanan) dan proses pemanasan - desorpsi - kondensasi, sedangkan proses *exothermic* berlangsung selama proses pendinginan (penurunan tekanan) dan proses pendinginan - adsorpsi - evaporasi. Keempat proses tersebut membentuk suatu siklus yang digambarkan oleh diagram Clapeyron ideal seperti pada Gambar 1..

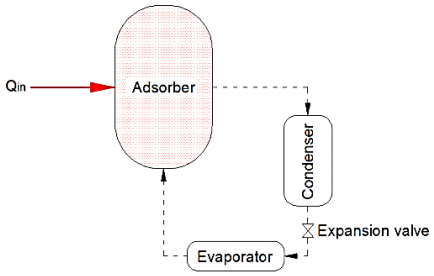


Gambar 1. Diagram Clapeyron Ideal (Wang, et al, 2009)

Keempat proses yang terjadi dapat di uraikan sebagai berikut ini :

1. Proses Pemanasan (pemberian tekanan)

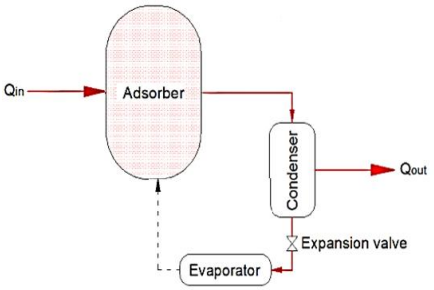
Proses pemanasan dimulai dari titik A ke B dimana adsorben berada pada temperatur rendah dan tekanan rendah P_{evap} (tekanan evaporator). Selama periode ini, tidak ada aliran metanol yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber menerima panas sehingga temperatur adsorber meningkat dan diikuti oleh peningkatan tekanan dari tekanan evaporasi menjadi tekanan kondensasi. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 2 (Ponsw , 2008)



Gambar 2. Proses Pemanasan (Ponsw, 2008)

2. Proses Pemanasan-Desorpsi-Kondensasi

Proses desorpsi berlangsung pada waktu panas diberikan dari titik A - B - C. Selama periode ini, adsorber terus dialiri panas sehingga adsorber terus mengalami peningkatan dan temperatur yang menyebabkan timbulnya uap desorpsi. Sementara itu, katup aliran ke kondensor dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk gas mengalir ke kondensor untuk mengalami proses kondensasi menjadi cair. Kalor laten pengembuanan adsorbat diserap oleh media pendinign pada kondensor. Siklus ini sama dengan siklus kondensasi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 3. (Ponsw , 2008)

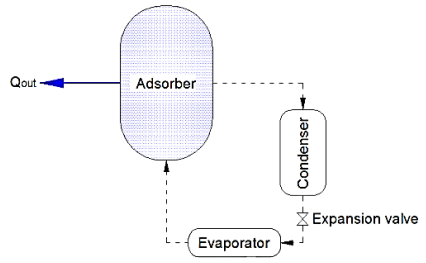


Gambar 3. Proses Pemanasan-Desorpsi-Kondensasi (Ponsw, 2008)

3. Proses Pendinginan (penurunan tekanan)

Proses pendinginan berlangsung dari titik C ke D. Selama periode ini, tidak ada

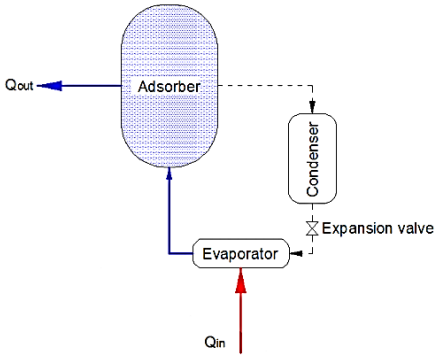
aliran metanol yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber melepaskan panas dengan cara didinginkan sehingga temperatur di adsorber turun dan diikuti oleh penurunan tekanan dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi, proses ini sama seperti proses ekspansi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 4. (Ponsw, 2008)



Gambar 4. Proses Pendinginan (Ponsw, 2008)

4. Proses Pendinginan-Adsorpsi-Evaporasi

Proses adsorpsi berlangsung dari titik C – D – A.. Adsorber terus melepaskan panas sehingga adsorber mengalami penurunan temperatur dan tekanan yang menyebabkan timbulnya uap adsorpsi. Selama periode ini, adsorber terus melepaskan panas sehingga adsorber terus mengalami penurunan temperatur dan tekanan yang menyebabkan timbulnya uap adsorpsi. Sementara itu, katup aliran dari evaporator ke adsorber dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk uap mengalir dari evaporator ke adsorber. Adsorbat dalam bentuk uap dihasilkan dari proses penyerapan kalor oleh adsorbat dari lingkungan sebesar kalor laten penguapan adsorbat tersebut. Proses ini berlangsung pada tekanan saturasi yang rendah sehingga penyerapan kalor berlangsung pada temperatur saturasi yang rendah pula. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 5. (Ponsw , 2008)



Gambar 5. Proses Pendinginan-Adsorpsi-Evaporasi (Ponsw, 2008)

2.2 Karateristik Karbon Aktif

Tabel 1. Sifat Karbon Aktif Fasa Gas dan Liquid (http://www.norit.com)

Carbon Type	Total Pore Volume mL/g	Mean Pore Radius in Angstroms	Surface Area m^2/g
Gas Phase			
Lignite Coal	0.9-1.0	29-32	600-675
Coconut Shell	0.5-0.6	10-11	1.000-1.100
Peat	0.6-0.7	11-12	1.000-1.275
Bituminous Coal	0.6-0.7	12-14	1.000-1.150
Liquid Phase			
Bituminous Coal	0.7-0.8	14-16	900-1.050
Lignite Coal	0.9-1.0	29-32	600-675
Peat	1.1-1.2	23-26	900-1050
Wood (Chemically Activated)	1.4-1.8	22-26	1.200-1.600

Tabel 2. Penyerapan Karbon Aktif Terhadap Metanol

Carbon Type	Total Pore Volume mL/g	Mean Pore Radius in Angstroms	Surface Area m^2/g
Gas Phase			
Lignite Coal	0.9-1.0	29-32	600-675
Coconut Shell	0.5-0.6	10-11	1.000-1.100
Peat	0.6-0.7	11-12	1.000-1.275
Bituminous Coal	0.6-0.7	12-14	1.000-1.150
Liquid Phase			
Bituminous Coal	0.7-0.8	14-16	900-1.050
Lignite Coal	0.9-1.0	29-32	600-675
Peat	1.1-1.2	23-26	900-1050
Wood (Chemically Activated)	1.4-1.8	22-26	1.200-1.600

2.3 Perancangan Komponen Pendingin Adsorpsi

Dalam penelitian ini, peneliti merancang tiga sistem yaitu evaporator, adsorber dan kondensor. Rumus-rumus yang digunakan dalam perancangan adalah sebagai berikut :

a. Evaporator

Pada awal merancang evaporator, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan kapasitas pendinginan yang diinginkan. Dengan mendapatkan kapasitas pendinginan yang diinginkan maka bisa menghitung massa adsorbat yang diperlukan yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$m_{ads} = \frac{Q_{evaporator}}{h_{sat.ads.vap@Tevap} - h_{sat.ads.liq@Tcond}} \quad (1)$$

Selanjutnya dengan diketahui massa adsorbat dan kapasitas penyerapan adsorben

maka bisa menghitung jumlah adsorben yang diperlukan dengan persamaan :

$$m_{adsorben} = \frac{m_{adsorbat}}{\Delta x} \quad (2)$$

Kemudian diasumsikan temperatur air masuk dan air keluar, maka bisa didapatkan sifat-sifat fisik air. Dengan sifat-sifat fisik air tersebut bisa didapatkan kecepatan aliran dengan persamaan :

$$m_w = \frac{Q_{evaporator}}{Cp_w.(T_i - T_o)} \quad (3)$$

Kemudian dapat dihitung beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) dengan aliran *counter flow* dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (4)$$

Selanjutnya untuk mengetahui koefisien perpindahan panas menyeluruh, perlu dicari sifat-sifat temperatur rata-rata dari fluida yang mendinginkan dan yang didinginkan untuk mendapatkan sifat termofisik. Temperatur rata-rata fluida dapat dicari dengan persamaan :

$$T_f = \frac{T_{fi} - T_{fo}}{2} \quad (5)$$

Sebelum menghitung koefisien perpindahan panas adsorbat dan air, kecepatan rata-rata masing-masing fluida dan bilangan Reynoldnya terlebih dahulu dihitung. Kecepatan rata-rata fluida dihitung dengan persamaan :

$$V_m = \frac{\dot{m}}{\rho \; x \; A} \quad (6)$$

Setelah itu dicari angka Reynolds dengan rumus berikut :

$$Re = \frac{V_m \; x \; D_h}{v} \quad (7)$$

Selanjutnya bilangan Nusselt dapat ditentukan berdasarkan jenis aliran fluidanya, yaitu dengan persamaan berikut :

1. Aliran Turbulen Berkembang Penuh dalam Tabung Licin

   $$Nu = 0{,}023(Re)^{0,8}(Pr)^n \quad (8)$$

   Keterangan :
   Nu_d = Bilangan Nusselt
   Re_d = Bilangan Reynold
   Pr = Bilangan Prandlt
   n = 0,4 untuk pemanasan; 0,3 untuk pendinginan
2. Aliran Laminar dalam Tabung

   $$Nu = 1{,}86(R_e Pr)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{d}{L}\right)^{\frac{1}{3}}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad (9)$$

   Keterangan :
   Nu_d = Bilangan Nusselt
   Re_d = Bilangan Reynold
   Pr = Bilangan Prandlt
   d = Diameter Tabung (m)
   L = Panjang Tabung (m)
   μ = kekentalan refrigeran (kg/ms)
   μ_w = kekentalan air (kg/ms)

Kemudian untuk menghitung koefisien perpindahan panas masing-masing fluida yang digunakan ialah menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$h = \frac{K}{D_h} Nu \quad (10)$$

Dengan diketahuinya koefisien perpindahan panas masing-masing fluida maka koefisien perpindahan panas menyeluruh pada *heat exchanger* dapat dihitung dengan mengasumsi tidak ada perpindahan panas konduksi dan faktor pengotoran :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (11)$$

Maka dimensinya dapat didapatkan dengan persamaan berikut :

$$A_s = \frac{Q_{adsorber}}{U.\Delta T_{lm}} \quad (12)$$

$$L = \frac{A_s}{\pi D} \quad (13)$$

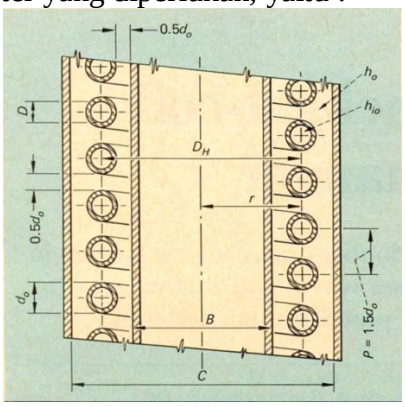
Dengan penggunaan lama, maka akan terjadi pengotoran pada *shell* dan *tube*, sehingga perlu dilakukan perhitungan kembali dengan memperhatikan faktor pengotoran dan perpindahan panas konduksinya. Persamaan berikut merupakan tahanan termal untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas menyeluruh dengan pertimbangkan faktor pengotoran dan perpindahan panas konduksinya.

$$R = \frac{1}{hi.Ai} + \frac{Rfi}{Ai} + \frac{\ln(Do/Di)}{2\pi KL} + \frac{Rfo}{Ao} + \frac{1}{ho.Ao} \quad (14)$$

Setelah diketahui tahanan termal maka dimensi adsorber dengan faktor pengotoran dapat dihitung dengan persamaan :

$$As = \frac{1}{\frac{1}{R.Ao}\Delta T_{lm}} \quad (15)$$

Panjang koil yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (14) setelah nilai As diketahui. Dalam merancang *heat exchanger helical coil*, ada beberapa parameter yang diperlukan, yaitu :



Gambar 6. Skema Pandangan *Helical Coil Heat Exchanger* (Patil, et al, 1982)

1) $N = \frac{L}{\sqrt{2\pi r^2 + p^2}}$ (16)

2) $V_a = \frac{\pi}{4}(C^2 - B^2)pN - \frac{\pi}{4}do^2L$ (17)

3) $H = Np + do$ (18)

b. Adsorber

Adsorber merupakan komponen utama dalam sistem pendingin adsorpsi yang didalamnya terdapat adsorben yang berfungsi untuk menyerap adsorbat yang telah menyerap kalor dari fluida yang didinginkan. Perancangan adsorber dapat dilakukan jika telah mengetahui kalor yang dibutuhkan. Kalor yang dibutuhkan adsorber dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{sensible,heating} = \frac{[(m_{ad}xCp_{ad}x\Delta T_{ad})}{\Delta t} \quad (19)$$

$$Q_{latent,heating} = \frac{[(m_{ad}\,x\Delta x) + (H_2 - H_1)}{\Delta t} \quad (20)$$

$$Q_{adsorber} = Q_{sensible,heating} + Q_{latent,heating} \quad (21)$$

Setelah diketahui $Q_{adsorber}$, maka perancangan selanjutnya hingga mendapatkan tinggi koil dapat mengikuti persamaan dari (3) sampai (18).

c. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasi uap metanol yang telah didesorpsi dari adsorber dengan cara melepaskan panas ke sekeliling. Perancangan kondensor dimulai dengan menentukan jenis kondensor yang akan dirancang, menentukan media pendingin yang digunakan, fluida yang didinginkan, mengasumsi diameter koil, menentukan sifat fisik media pendingin dan menghitung kalor yang diperlukan. Kalor yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{kond} = \dot{m}_{meth}.\left(h_{sat.vap@T_{reg}} - h_{sat.liq@T_{kond}}\right) \quad (22)$$

Setelah nilai Q_{kond} yang dibutuhkan telah didapatkan, maka perancangan selanjutnya hingga mendapatkan tinggi koil dapat mengikuti persamaan dari (3) sampai (18).

2.4 *Coefficient of Perfomance* (COP)

Koefisien prestasi adalah bentuk penilaian dari suatu mesin refrigerasi. Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan. Nilai koefisien prestasi yang semakin besar menunjukkan bahwa kerja mesin tersebut semakin baik. Koefisien prestasi yang tinggi akan memperkecil biaya operasional. Pendingin adsorpsi juga dapat mencari koefisien prestasi. Tetapi koefisien prestasi pendingin adsorpsi menggunakan persamaan berikut :

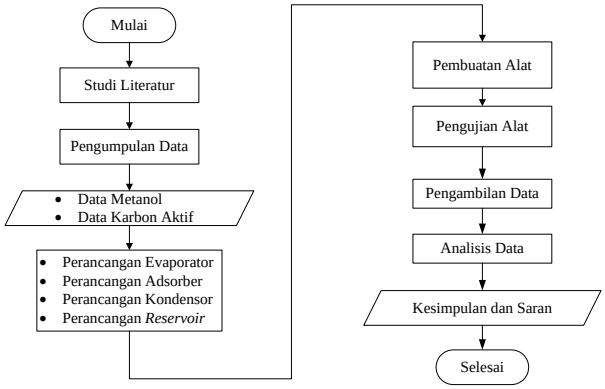
$$COP = \frac{Q_{evap}}{Q_{waste\ heat}} \quad (23)$$

$$Q_{evaporator} = \frac{\mathrm{m_{ads}\ x\ (h_{sat,meth\ vap} - h_{sat,meth\ liq})}}{\Delta t\ ads} \quad (24)$$

$$Q_{waste\ heat} = \frac{\mathrm{m_{ca}x}\left[\frac{\left(\mathrm{cp_{ca}} + \mathrm{cp_{liq\ ads}} + \frac{\mathrm{m_{bed}}}{\mathrm{m_{ca}}}\mathrm{cp_{bed}}\right)}{\Delta T} - \frac{\Delta h}{x}\right]}{\Delta t}$$

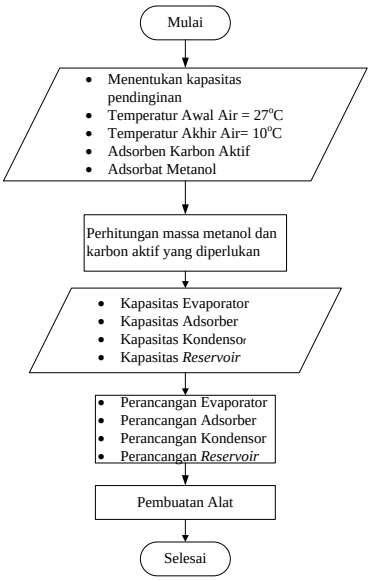
3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun. Metode rancang bangun dilakukan untuk perancangan, pembuatan, dan pengujian kinerja mesin pendingin adsorpsi pasangan karbon aktif-metanol sebagai adsorben-adsorbat. Adapun diagram alir penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



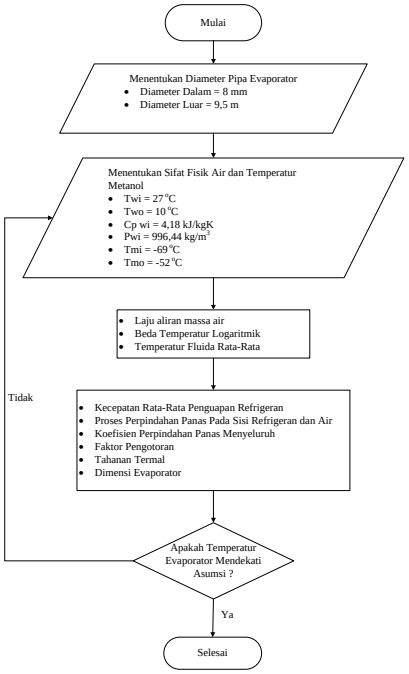
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir perancangan sistem pendingin adsorpsi dengan pasangan karbon aktif-metanol sebagai adsorben –adsorbat dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



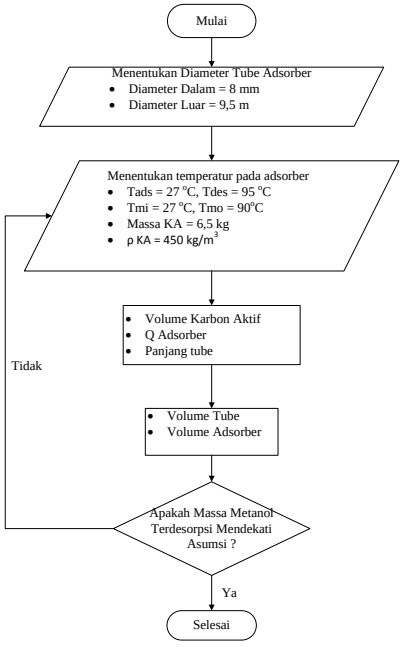
Gambar 8. Diagram Alir Perancangan

Berdasarkan kapasitas penyerapan, bisa mengetahui karbon aktif yang dibutuhkan. Diagram alir perancangan evaporator dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Perancangan Evaporator

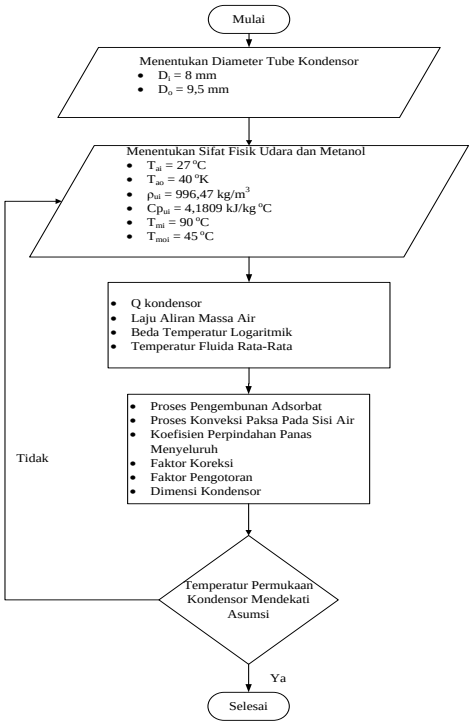
Setelah merancang evaporator, maka langkah selanjutnya adalah merancang adsorber. Diagram alir perancangan adsorber dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Perancangan Adsorber

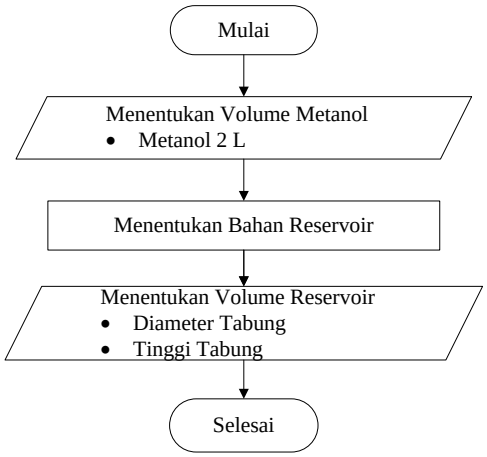
Setelah merancang adsorber, maka selanjutnya adalah merancang kondensor yang berfungsi sebagai tempat metanol melakukan kondensasi. Kondensor digunakan agar dapat mengkondensasi uap metanol yang terdesorpsi

dari adsorber menjadi metanol cair dan masuk ke *reservoir*. Diagram alir perancangan kondensor dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Alir Perancangan Kondensor

Diagram alir perancangan *reservoir* bisa dilihat pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Diagram Alir Perancangan Kondensor

Setelah perancangan dilakukan maka dalam penelitian ini bisa memasuki tahap pembuatan. Dalam tahap ini dilakukan pembuatan mesin pendingin adsorpsi yang terdiri dari pembuatan kerangka dudukan alat uji, pembuatan evaporator, pembuatan adsorber, pembuatan kondensor , *reservoir* serta komponen-komponen lainnya yang digunakan pada mesin pendingin adsorpsi.

Langkah pembuatan dimulai dengan membuat dudukan alat uji yang berfungsi untuk meletak alat uji. Dudukan alat uji dibuat dua tingkat dengan menggunakan besi siku berlubang dan tripleks dengan ketebalan 9 mm. Tingkat atas digunakan untuk meletak komponen pendingin adsorpsi dan tingkat bawah digunakan untuk meletak bak air dan pompa sentrifugal.

Pembuatan dudukan alat uji dimulai dengan melakukan pemotongan segitiga berlubang dan tripleks sesuai dengan ukuran yang dirancang. Kemudian segitiga berlubang dan tripleks disusun dan disambung dengan menggunakan baut berukuran 10 mm.

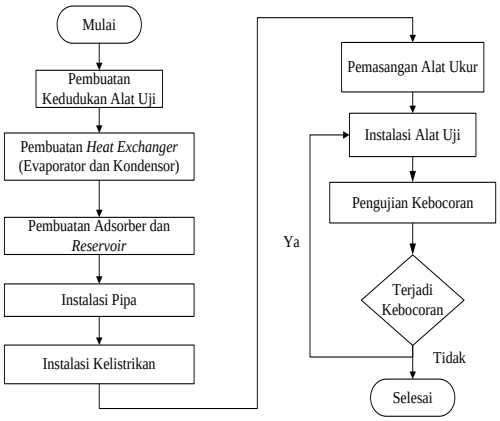
Setelah dudukan alat uji dibuat, langkah selanjutnya adalah membuat evaporator dan kondensor. Pembuatan evaporator dan kondensor dilakukan bersamaan karena bentuknya hampir sama dan menggunakan *tube helical coil*. Pembuatan evaporator dan kondensor dimulai dengan membuat *helical coil* dan selanjutnya melakukan pemotongan pipa sesuai ukuran yang dirancang. Setelah itu, koil dimasukkan kedalam pipa PVC yang berukuran 6 ini dan pipa PVC yang 4 inci di masukkan ke dalam *helical coil* yang buat. Setelah *helical coil* dimasukkan ke dalam pipa PVC 6 inci, maka ditutup dengan kap 6 inci. *Helical coil* digunakan untuk mengalirkan metanol dan pipa digunakan untuk mengalirkan air.

Setelah melakukan pembuatan kondensor dan evaporator, selanjutnya kita bisa membuat adsorber. Komponen adsorber terdiri dari koil dan tabung, tabung adsorber terbuat dari baja karbon. *Helical coil* pada adsorber dibuat dengan 3 ukuran yaitu 4 inci, 6 inci dan 8 inci. Tabung adsorber memiliki diameter dalam 30 cm dan tinggi 25 cm. Kemudian *helical coil* di masukkan ke dalam adsorber dan dalam adsorber di isi dengan karbon aktif. Pada tabung juga terdapat jarring yang berfungsi untuk menahan karbon aktif saat melakukan penvakuman.

Setelah adsorber dibuat, maka dibuat *reservoir* yang berfungsi sebagai tempat untuk

meletak metanol sebelum masuk ke evaporator dan sesudah keluar dari kondensor. *Reservoir* di buat dengan menggunakan baja karbon dengan diameter dalam 11 cm dan tinggi 22 cm.

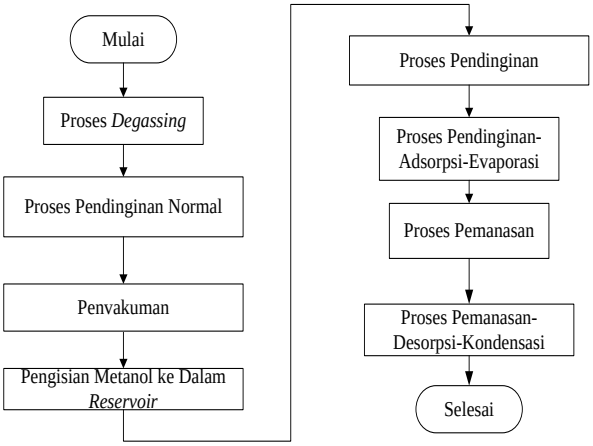
Tahap selanjutnya adalah instalasi pipa dan listrik serta pemasangan alat ukur yang berupa *pressure gauge* dan termokopel. *Pressure gauge* yang digunakan berupa *vacuum pressure gauge* dan termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K. Diagram alir pembuatan alat uji dapat dilihat pada Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Diagram Alir Pembuatan Alat Uji

Tahap terakhir dalam pembuatan alat uji adalah menguji kebocoran. Hal ini dilakukan untuk apakah ada kebocoran yang terjadi pada alat uji yang diinstalasi. Jika ada kebocoran yang terjadi, maka harus diperbaiki, karena dengan adanya kebocoran maka alat uji ini tidak dapat dilakukan penvakuman. Pemeriksaan kebocoran dilakukan dengan dua cara yaitu cara pertama dilakukan dengan memberikan udara bertekanan pada alat uji dan diberikan busa pada area yang bersambungan seperti area instalasi *pressure gauge*, termokopel dan *valve*. Setelah cara tersebut dilakukan, langkah selanjutnya adalah diuji dengan melakukan penvakuman dan ditahan dalam waktu berjam-jam. Jika tidak ada kenaikan tekanan maka tidak terjadi kebocoran pada alat uji tersebut.

Diagram alir pengujian alat dapat dilihat pada Gambar 14. Adapun prosedur pengujian kinerja mesin adalah sebagai berikut, yaitu :



Gambar 14. Diagram Alir Pengujian

Data yang diambil pada proses pengujian adalah tekanan dan temperatur. Temperatur yang diambil adalah temperatur masuk dan keluar metanol dari evaporator, temperatur masuk dan keluar metanol dari kondensor, temperatur masuk dan keluar air dari evaporator dan temperatur masuk dan keluar air dari kondensor. Data tekanan yang diambil berupa tekanan masuk dan keluar metanol dari evaporator dan kondensor.

Pengambilan data temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K dan direkam langsung ke dalam komputer dengan menggunakan data akusisi ADAM 4018+ dengan data per menit. Pengambilan data tekanan dilakukan secara manual dengan mencatat tekanan yang ditunjuk oleh *vacuum pressure gauge* setiap menit hingga proses selesai.

Data yang didapatkan berupa temperatur dan tekanan, data tersebut diolah ke dalam bentuk tabel dan grafik. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui parameter-parameter yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Setelah didapatkan parameter-parameter yang diinginkan, maka dilakukan analisis untuk mengetahui sebab-sebab yang berpengaruh pada data yang didapatkan.

4. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil

a.. Hasil Perancangan

Hasil perancangan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perancangan Komponen Sistem Pendingin Adsorpsi

No	Keterangan	Simbol	Komponen					
			Evaporator		Adsorber		Kondensor	
			Nilai	Satuan	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Kalor	Q	1.4706	kW	0.461	kW	2.090	kW
2	Laju Aliran Massa Air	ṁ	0.0207	kg/s	0.002	kg/s	0.038	kg/s
3	Laju Aliran Volume Air	v̇	2.077 x 10^{-5}	m^3/s	0.176 x 10^{-5}	m^3/s	3.86 x 10^{-5}	m^3/s
4	Temperatur Pendingin Masuk	T_{ci}	-69	°C	27	°C	27	°C
5	Temperatur Pendingin Keluar	T_{co}	-52	°C	90	°C	40.004	°C
6	Temperatur Pemanas Masuk	T_{hi}	27	°C	95	°C	90	°C
7	Temperatur Pemanas Keluar	T_{ho}	10.0624	°C	32.1023	°C	45	°C
8	LMTD	ΔT_{lm}	79.0312		5.0510		31.3218	
9	Temperatur Rata-Rata Metanol	T_{meth}	-60.5	°C	58.5	°C	67.5	°C
10	Temperatur Rata-Rata Air	T_{wat}	18.5312	°C	63.55116079	°C	33.5	°C
11	Kecepatan Rata-Rata Metanol	V_{meth}	55,059.7154	m/s	27.3205	m/s	25.9347	m/s
12	Kecepatan Rata-Rata Air	V_{wat}	0.0123	m/s	0.0355	m/s	0.0233	m/s
13	Bilangan Reynolds Metanol	Re_{meth}	30,564.0838		19,962.4455		25,969.8493	
14	Bilangan Reynolds Air	Re_{wat}	546.7422		630.1577991		1,436.6174	
15	Bilangan Nusselt Metanol	Nu_{meth}	96.7793		82.2673		110.8183	
16	Bilangan Nusselt Air	Nu_{wat}	8.3491		14.2010		11.2996	
17	Koef. Perpan Sisi Metanol	hi	100.8707		198.1819		283.8750	
18	Koef. Perpan Sisi Air	ho	523.5743		983.1280		738.6267	
19	Koef. Perpan Menyeluruh	U	71.9253		138.3126		165.0734	
20	Luas Selimut *Tube*	A_s	0.2587	m^2	0.6600	m^2	0.4043	m^2
21	Panjang *Tube*	L	10.2990	m	26.2732	m	16.0945	m
22	Jumlah Lilitan	N	27.000		17		41	m
23	Tinggi	H	0.385	m	0.214	m	0.584	m

Perancangan *reservoir* bisa dilakukan jika telah mengetahui volume metanol. Massa metanol yang berhasil dihitung adalah 1,6008 kg. Massa jenis metanol adalah 795 kg/m^3. Maka volume metanol dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_{metanol} = \frac{m_{metanol}}{\rho_{metanol}}$$

$$V_{metanol} = \frac{1{,}6008\ kg}{795\ kg/m^3}$$

$$V_{metanol} = 0{,}002014\ m^3 = 2\ Liter$$

Diameter tabung baja karbon yang didapatkan adalah 115 mm. Maka tinggi tabung yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_{tabung} = \frac{\pi}{4} d^2.h$$

$$0{,}002\ m^3 = \frac{3{,}14}{4}(0{,}115\ m)^2.h$$

$$0{,}002\ m^3 = 0{,}010382\ m^2.h$$

$$h = \frac{0{,}002\ m^3}{0{,}010382\ m^2}$$

$$h = 0{,}192648\ m^2$$

Untuk keamanan agar metanol tidak mengalir keluar, maka tinggi tabung dibuat 22 cm.

b. Hasil Pembuatan

1. Pembuatan Dudukan Alat Uji

Dudukan alat uji dibuat dua tingkat dengan tingkat atas berfungsi sebagai alat untuk meletakkan komponen-komponen utama pendingin adsorpsi yaitu evaporator, adsorber, kondensor dan reservoir. Tingkat bawah digunakan untuk meletakkan bak air dan pompa. Meja dibuat dengan ukuran 150 cm X 75 cm X 150 cm. Kerangka meja di buat dengan menggunakan besi siku berlubang dan alasnya berupa tripleks yang tebalnya 9 mm.

(a) (b)

Gambar 15. (a) Rangka Dudukan Alat Uji (b) Dasar Dudukan Alat Uji

2. Pembuatan Evaporator dan Kondensor

Proses pembuatan evaporator dan kondensor dilakukan bersama karena hanya terjadi perbedaan tinggi. Dalam pembuatan evaporator dan kondensor terdiri dari dua bahan yaitu *shell* dan *tube*. *Shell* menggunakan pipa PVC yang berukuran 4 inci dan 6 inci dan di kedua ujungnya ditutup dengan kap 6 inci. Sedangkan *tube* menggunakan koil tembaga yang berketebalan 0,61 mm. Koil tersebut dibentuk menjadi *helical coil* dengan diameter 125 mm. Pada evaporator, panjang yang dibutuhkan untuk dililit adalah 10,313 m dengan banyaknya lilitan adalah 27 dan ketingginya 0,385 m. Sedangkan pada kondensor, panjang yang dibutuhkan untuk dililit adalah 16,094 m dengan banyaknya lilitan adalah 41 dan ketinggiannya 0,584 m. Proses pembuatan *helical coil heat exchanger* ialah dengan cara melilitkan koil diluar pipa baja karbon yang berdiameter 125 mm. Evaporator dan kondensor yang sudah dibuat, dilapisi dengan busa dan kertas *aluminium foil*.

(a) (b) (c)

Gambar 16. (a) dan (b) *Tube* Kondensor dan (c) *Shell* Evaporator

3. Proses Pembuatan Adsorber dan *Reservoir*

Proses pembuatan tabung adsorber dan *reservoir* dilakukan bersama karena hanya terjadi perbedaan diameter dan tinggi. Dalam pembuatan adsorber juga terdiri dari dua bahan yaitu *shell* dan *tube*. *Shell* yang digunakan berupa pipa baja karbon yang berdiameter dalam 0,3 m dan di bawahnya di las langsung sedangkan atasnya menggunakan baut sebagai penutupnya. Sedangkan *tube* menggunakan koil tembaga yang berketebalan 0,61 mm. Koil tersebut dibentuk menjadi *helical coil* dengan diameter 125 mm, 165 mm dan 230 mm.. sedangkan reservoir hanya dibuat dari pipa baja karbon dengan diameter 115 mm dan tingginya 230 mm. Proses pembuatan *helical coil heat exchanger* ialah dengan cara melilitkan koil diluar pipa baja karbon yang berdiameter 125 mm. Adsorber yang sudah dibuat, dilapisi dengan busa dan kertas *aluminium foil*.

Gambar 11. Adsorber

C. Hasil Pengujian

Hasil pengujian di bagi menjadi dua yaitu hasil pengujian adsorpsi dan hasil pengujian desorpsi. Hasil pengujian yang tercatat yaitu temperatur dan tekanan yang masuk dan keluar dari evaporator dan kondensor.

c. Hasil Pengujian Adsorpsi

Data yang diambil selama proses adsorpsi adalah data temperatur metanol masuk dan keluar dari evaporator, temperatur air masuk dan keluar dari evaporator, tekanan metanol masuk dan keluar dari evaporator serta tekanan pada adsorber.

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Adsorpsi

No	Waktu (Menit)	Temperatur Metanol (°C)		Temperatur Air (°C)		Tekanan Metanol (cmHg)		Tekanan Adsorber	ΔT (°C) Air	ΔT (°C) Metanol
		In	Out	In	Out	In	Out			
1	0	22.5	10.3	24.1	23.2	-64	-65	-76	0.9	12.2
2	1	22.5	10	24.2	22.7	-61	-63	-74	1.5	12.5
3	2	23	10.4	24.2	22.4	-61	-63	-74	1.8	12.6
4	3	23	10.8	24.3	22.2	-61	-62	-73	2.1	12.2
5	4	23.1	11.1	24.2	22.1	-61	-62	-72	2.1	12
6	5	23.1	11.5	24.4	22.1	-61	-62	-72	2.3	11.6
7	6	23	11.9	24.4	22	-61	-62	-72	2.4	11.1
8	7	23.2	12.4	24.5	21.8	-61	-61	-71	2.7	10.8
9	8	23.1	13.5	24.7	21.8	-61	-61	-70	2.9	9.6
10	9	23.1	14	24.7	21.8	-61	-61	-70	2.9	9.1
11	10	23.1	14.4	24.8	22.1	-60	-60	-70	2.7	8.7
12	11	23.2	15.1	24.8	22.1	-60	-60	-69	2.7	8.1
13	12	23.2	16	25	22.5	-59	-60	-68	2.5	7.2
14	13	23.1	16.5	25.1	22.6	-59	-60	-68	2.5	6.6
15	14	23.2	16.7	25.2	22.5	-59	-59	-68	2.7	6.5
16	15	23.2	17.2	25.2	22.8	-59	-59	-68	2.4	6
17	16	23.1	18	25.4	23	-59	-59	-68	2.4	5.1
18	17	23.1	18.4	25.4	23.1	-59	-59	-66	2.3	4.7
19	18	23.1	18.7	25.7	23.4	-59	-59	-66	2.3	4.4
20	19	23.1	19.1	25.7	23.5	-59	-59	-66	2.2	4
21	20	23	19.4	25.7	23.5	-59	-59	-66	2.2	3.6
Rata-Rata		**23.05**	**14.54**	**24.84**	**22.53**	**-60.19**	**-60.71**	**-69.86**	**2.31**	**8.50**

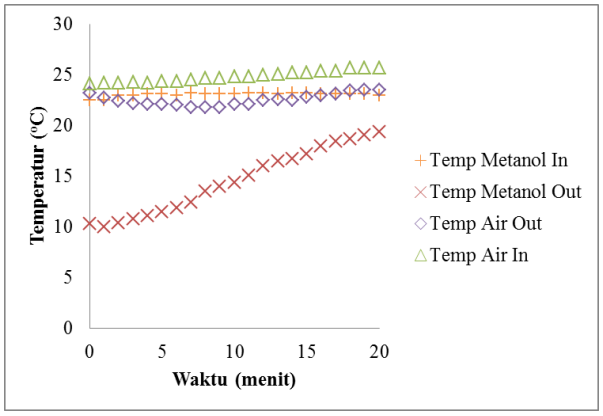
2. Hasil Pengujian Desorpsi

Data yang diambil selama proses desorpsi adalah data temperatur metanol masuk dan keluar dari kondensor, temperatur air masuk dan keluar dari kondensor, serta tekanan metanol masuk dan keluar dari kondensor.

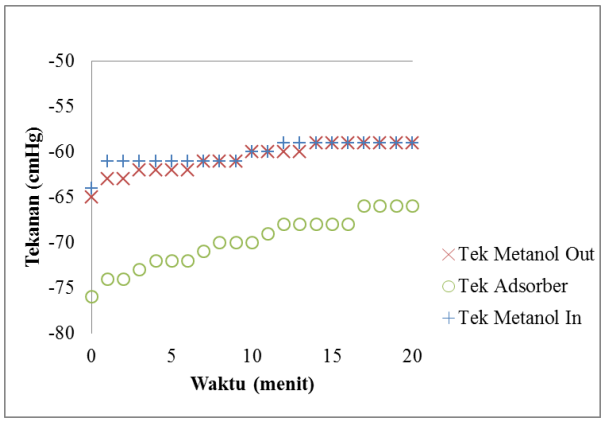
Tabel 3. Data Hasil Pengujian Desorpsi

No	Waktu (Menit)	Temperatur Metanol (°C)		Temperatur Air (°C)		Tekanan Metanol (cmHg)		ΔT (°C) Air	ΔT (°C) Metanol
		In	Out	In	Out	In	Out		
1	0	47.2	23.5	24	25.7	-41	-40	1.7	23.7
2	1	47.5	23.4	23.8	25	-41	-40	1.2	24.1
3	2	47.8	23.4	24	24.8	-40	-40	0.8	24.4
4	3	48.2	23.2	24	24.7	-40	-39	0.7	25
5	4	48.6	23.2	24	24.7	-39	-39	0.7	25.4
6	5	49.1	23.2	24	24.7	-38	-39	0.7	25.9
7	6	49.3	23.2	24	24.8	-38	-39	0.8	26.1
8	7	49.5	23.2	24	24.8	-37	-39	0.8	26.3
9	8	48	23.1	24	24.8	-36	-39	0.8	24.9
10	9	47.9	23.2	24	24.9	-36	-39	0.9	24.7
11	10	48	23.5	24	24.9	-36	-39	0.9	24.5
12	11	48.5	23.5	24	25	-36	-39	1	25
13	12	48.3	23.5	24	25.2	-36	-39	1.2	24.8
14	13	48.7	23.4	24	25.3	-36	-39	1.3	25.3
15	14	49.2	23.3	24	25.5	-36	-39	1.5	25.9
16	15	49.8	23.4	24	25.5	-36	-39	1.5	26.4
Rata-Rata		**48.475**	**23.325**	**23.9875**	**25.01875**	**-37.625**	**-39.1875**	**1.03125**	**25.15**

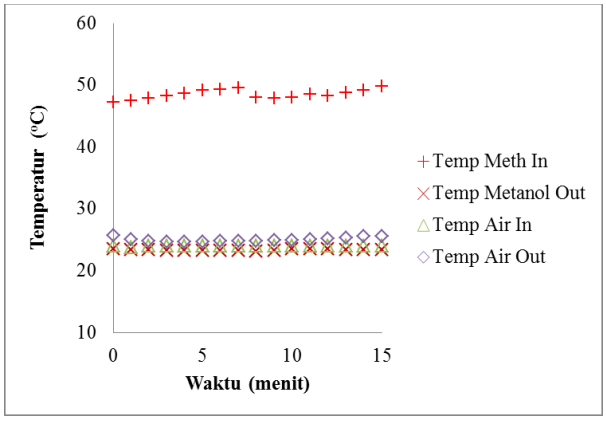
2. Pembahasan



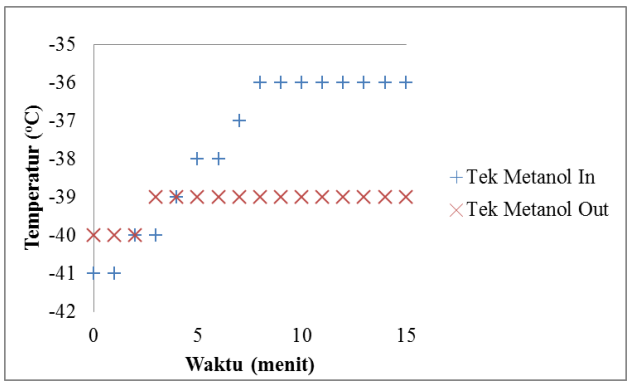
Gambar 12. Data Hasil Adsorpsi Temperatur Terhadap Waktu



Gambar 13. Data Hasil Adsorpsi Tekanan Terhadap Waktu



Gambar 14. Data Hasil Desorpsi Temperatur Terhadap Waktu



Gambar 15. Data Hasil Desorpsi Tekanan Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 12 yaitu grafik yang menunjukkan data hasil pengujian adsorpsi dengan waktu terhadap temperatur. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa temperatur metanol keluar lebih rendah dibandingkan dengan temperatur metanol masuk. Penyebab hal ini terjadi adalah pada saat melakukan penvakuman, tekanan di adsorber jauh lebih rendah dibandingkan dengan tekanan pada masuk evaporator yaitu tekanan adsorber mencapai -76 cmHg pada proses penvakuman sedangkan tekanan masuk evaporator mencapai 64 cmHg, sehingga metanol yang keluar dari evaporator akan menuju ke tekanan yang lebih rendah sehingga temperaturnya menjadi lebih rendah.

Berdasarkan Gambar 13 yaitu grafik yang menunjukkan data hasil pengujian adsorpsi dengan waktu terhadap tekanan. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa tekanan adsorber semakin meningkat beriringan dengan meningkatnya waktu. Hal ini dikarenakan semakin banyak metanol yang terserap ke dalam karbon aktif dengan meningkatnya waktu. Metanol tersebut telah menyerap kalor dari air kemudian terserap lagi ke dalam karbon aktif, maka tekanan di dalam adsorber meningkat karena adanya peningkatan tekanan pada karbon aktif.

Berdasarkan Gambar 14 menyatakan bahwa tekanan metanol masuk pada awalnya lebih rendah daripada tekanan metanol keluar, kemudian mengalami kenaikan hingga lebih tinggi dari metanol keluar. Hal ini disebabkan karena pada tekanan masuk metanol dipengaruhi oleh temperatur pada adsorber, karena adsorber terus dialiri air dengan

temperatur 90 ^{o}C. Sehingga tekanan masuk metanol pada kondensor mengalami kenaikan.

Berdasarkan Gambar 15 menyatakan bahwa tekanan metanol masuk ke kondensor lebih besar daripada tekanan metanol keluar dari kondensor. Hal ini disebabkan karena pada saat desorpsi , adsorber dialirkan air bertemperatur tinggi yaitu 90 ^{o}C, hal ini berguna untuk menguapkan metanol. Dengan memberikan temperatur yang tinggi, tekanan metanol sebelum masuk ke kondensor meningkat dengan peningkatan temperatur pada adsorber, karena dengan terkondensasi maka kalor pada metanol terserap oleh air sehingga tekanannya menurun.

Berdasarkan data-data temperatur dan tekanan yang didapatkan, maka dapat dilakukan perhitungan COP dengan menggunakan persamaan (23) dan dibutuhkan persamaan (24) untuk perhitungan $Q_{evaporator}$ serta persamaan (25) untuk $Q_{waste\ heat}$.

Maka,
$Q_{evaporator}$ = 1,534 kW
$Q_{waste\ heat}$ = 34,981 kW
COP = 0,0439

Berdasarkan Tabel 2 yaitu tabel yang berisikan data pengujian adsorpsi menyatakan bahwa temperatur air keluar dari evaporator terendah yang tercapai adalah 21,8 ^{o}C dengan perubahan temperatur air tertinggi adalah 2,9 ^{o}C. Berdasarkan data tersebut maka hasil pengujian membuktikan bahwa tidak tercapainya hasil seperti yang dirancang yaitu dengan temperatur air yang keluar dari evaporator 10 ^{o}C dan perubahan temperatur 17 ^{o}C. Hal ini disebabkan karena penvakuman sistem tidak dapat mencapai tekanan yang diinginkan yaitu 10 Pa sehingga metanol masuk pada evaporator tidak mencapai temperatur yang diinginkan yaitu -69 ^{o}C.

Berdasarkan Tabel 3 yaitu tabel yang berisikan data pengujian desorpsi menyatakan bahwa temperatur air keluar dari kondensor tertinggi yang tercapai adalah 25,7 ^{o}C dengan perubahan temperatur air tertinggi adalah 1,5 ^{o}C. Berdasarkan data tersebut maka hasil pengujian membuktikan bahwa tidak tercapainya hasil seperti yang dirancang yaitu temperatur air yang keluar dari kondensor 40 ^{o}C dan perubahan temperatur 13 ^{o}C.Hal ini disebabkan karena temperatur metanol yang keluar dari adsorber tidak sesuai dengan asumsi yaitu temperatur keluar metanol dari adsorber maksimal adalah 49,8 ^{o}C sedangkan yang diasumsikan adalah 90 ^{o}C.

5. Simpulan

Berdasarkan data uji yang didapatkan, maka dalam penelitian ini bisa disimpulkan sebagai berikut, yaitu :

1. Alat yang dibuat sesuai dengan hasil perancangan yang dilakukan.
2. Tekanan maksimum yang dapat dicapai penvakuman mempengaruhi hasil pengujian yang diinginkan. Karena dengan penvakuman yang hanya dapat mencapai tekanan 15.999 Pa, hasil pengujian mendapatkan air yang keluar dari evaporator terendah yang dicapai adalah 21,8 ^{o}C sedangkan yang dirancang tekanan penvakuman adalah 10 Pa dengan temperatur air keluar dari evaporator adalah 10 ^{o}C.
3. Lamanya waktu desorpsi mempengaruhi nilai COP dan temperatur air yang keluar dari kondensor. Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu desorpsi maka semakin tinggi temperatur metanol yang masuk ke kondensor. Sehingga menghasilkan temperatur air yang keluar dari kondensor semakin tinggi.
4. Nilai COP (*Coefficient of Perfomance*) yang dihasilkan dari sistem pendingin yang dirancang adalah 0,0439.

Berdasarkan hasil dan analisis yang dilakukan oleh penguji, maka terdapat beberapa saran untuk peneliti selanjutnya agar COP dari sistem dapat terus meningkat, yaitu :

1. Perlunya penambahan terhadap waktu desorpsi pada sistem pendingin adsorpsi.
2. Sebaiknya untuk perancangan dan pembuatan sistem pendingin adsorpsi selanjutnya dikurangi sambungan-sambungan karena sistem pendingin adsorpsi peka terhadap kebocoran.

Daftar Pustaka

1. Ambarita, Nishio. 2008. "Modifikasi Mesin Pendingin Adsorpsi pada Komponen Kondensor, Reservoir, Katup Ekspansi dan Evaporator". Skripsi Sarjana. Program Studi Sarjana Teknik Mesin UI.
2. Ariyono, Yudi. 2008. "Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi dengan Modifikasi pada Komponen Kondensor, Reservoir, Katup Ekspansi dan Evaporator". Skripsi Sarjana. Program Studi Sarjana Teknik Mesin UI.
3. Bansal, R.C. and Goyal, M. 2005. "*Actived Carbon Adsorption*". CRC Press. New York. p. 346.
4. Calm, J.M. 2002. *Options and Outlook for Chiller Refrigerants. International Journal of Refrigeration* 25 (2002) 705–715.
5. Farman, J.G., Gardiner, B.G., Sanklin, J.D., 1985. *Journal Nature 315. 207-210. Global Enviroment Outlook*. 2000. UNEP 2000 .
6. Martin, A. 2010. "Adsorpsi Isothermal Karbon Dioksida dan Metana pada Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Sub Bituminus Indonesia Untuk Pemurnian dan Penyimpanan Gas Alam." Disertasi Doktor. Program Studi Doktor Teknik Mesin UI.
7. Nasruddin, 2005. "*Dynamic Modeling and Simulation of a Two-Bed Silicagel-Water Adsorption Chiller*".Disertasi Doktor. Rwth Aachen. Jerman.
8. Nasution, M. I. B. 2010. "Pengembangan Perangkat Lunak untuk Simulasi Satu Unit Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi yang Digerakkan Energi Surya Dengan Luas Kolektor 1,5 m^2." Skripsi Sarjana. Program Studi Sarjana Teknik Mesin USU.
9. Oreskes, N. (ed.) 2002. *Plate Tectonics. An Insider's History of the Modem Theory of the Earth.*
10. Patil, et al. 1982. "*Designing a Helical Coil Heat Exchanger*".
11. Perry, R.H. and Green, D.W., 1984, Perry's Chemical Engineering Handbook, 6 ed, Mc Graw Hill Book Company, Inc, New York.
12. Ponsw, Michel. 2008. "*Principe of Adsorption Cycle for Refrigerator or Heat Pump*.
13. Rouquerol, Jean, et al. 1998. "Adsorption By Powders And Porous Solids". Elsevier.
14. Saputra, Boby Wahyu. 2008. "Desain Sistem dengan Dua Adsorber". Skripsi Sarjana. Program Studi Sarjana Teknik Mesin UI.
15. Suryawan, Bambang. 2004. "Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air". Disertasi Doktor. Program Studi Sarjana Teknik Mesin UI.
16. Suzuki, M. 1990. "Adsorption Engineering". Kodansha Ltd. Tokyo.
17. Wang, R.Z et al. 2003. "*Study of The Performance of Actived Carbon-Methanol Adsorption System Concerning Heat and Mass Transfer*." Journal of Applied Thermal Engineering. China.
18. Wang, L.W, et al. 2004b. *A New Type Adsorber for Adsorption Ice Maker On Fishing Boats. School of Mechanical Enginerring*. Institute of refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai.
19. Wang, L.W, R.Z. Wang, J.Y. Wu, Y.X. Xu, S.G. Wang. *Design, simulation and performance of a waste heat driven adsorption ice maker for fishing boat*. Energi, 2006, 31：244-259
20. Wang, L.W, et al. *A review on adsorption working pairs for refrigeration. Renewable and Sustainable Energi Reviews*, Vol 13, 2009, 518-534.
21. Wang, L.W, Z. Tamainot-Telto, R. Thorpe, R.E. Critoph, S.J. Metcalf, R.Z. Wang. *Study of thermal conductivity, permeability, and adsorption performance of consolidated composite activated carbon adsorbent for refrigeration.* Renewable Energi, 2011, 36: 2062-2066
22. Yang, R.T. 2003. "Adsorbents : Fundamentals and Applications. New Jersey : John Wiley and Sons.