

**MODIFIKASI DAN PENGUJIAN EVAPORATOR MESIN PENDINGIN SIKLUS
ADSORPSI YANG DIGERAKKAN ENERGI SURYA**

Jhon Sufriadi Purba, S.Pd.,MT

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Perairan
Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar
jhonsufriadi@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan akan sistem pendingin untuk berbagai macam kebutuhan konvensional pada daerah terpencil dirasakan semakin meningkat, sementara sistem pendingin yang sudah ada belum tentu bisa dipakai karena tidak semua daerah terpencil memiliki jaringan listrik. Untuk itu, dalam penelitian ini dipilih sistem pendingin adsorpsi dengan menggunakan pasangan karbon aktif dan metanol yang bahan – bahannya mudah didapat dan tidak menghasilkan polusi, sehingga menghasilkan sistem pendingin yang ramah lingkungan. Selain evaporator sebagai komponen utamanya, sistem pendingin adsorpsi membutuhkan refrigeran dan absorber. Evaporator adalah alat penukar kalor, dimana dua fluida yang mempunyai suhu yang berbeda, yang satu bersuhu tinggi dan yang satunya lagi bersuhu rendah, akan bertukar panas sehingga fluida yang menerima panas akan menguap. Adsorpsi adalah proses penyerapan suatu fasa tertentu (gas, cair) pada permukaan yang berupa padatan sehingga membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Keuntungan dari penggunaan mesin pendingin adsorpsi ini adalah sumber energi yang mudah didapat dan tidak adanya komponen yang bergerak. Mesin pendingin adsorpsi ini dioperasikan dengan menggunakan panas matahari sebagai sumber energi. Dengan pemanfaatan sumber energi tersebut dapat dihasilkan suhu evaporator dibawah 10 °C pada tingkat suhu pemanasan generator 70 °C – 90 °C.

Kata kunci : *Evaporator, adsorpsi, refrigeran, generator.*

1. PENDAHULUAN

Proses pendinginan merupakan suatu usaha untuk menurunkan suhu pada ruangan ataupun pada suatu material, dengan kata lain mendapatkan kondisi yang diinginkan oleh produk atau material, dalam hal ini temperatur yang rendah agar produk atau material dapat disimpan dalam waktu yang relatif lama, baik untuk konsumsi, produksi, maupun perdagangan [1]. Penyimpanan dan transportasi bahan pangan, proses pengolahan makanan dan minuman, pembuatan es (*ice making*) merupakan beberapa contoh kegiatan yang memerlukan proses pendinginan dan pembekuan. Proses pendinginan merupakan proses pengambilan kalor/panas suatu ruang atau benda untuk menurunkan suhunya dengan jalan memindahkan kalor yang terkandung dalam ruangan atau benda tersebut. Sehingga proses pendinginan merupakan rangkaian proses pindah panas. Proses pindah panas dapat terjadi secara konveksi, konduksi maupun radiasi [2].

System adsorpsi dalam penelitian ini yaitu dengan cara memberikan panas kepada generator/adsorber melalui radiasi lampu listrik. Pada saat adsorber menerima panas akan memaksa refrigerant yang

terkandung didalam karbon aktif akan keluar. Dalam hal ini belum diketahui temperature berapa adsorber sebaiknya divakumkan untuk dapat menyerap refrigerant dari evaporator.

Salah satu permasalahan yang ada pada pemasangan siklus adsorpsi adalah proses pemvakuman pada saat *assembling*. Belum ada literatur yang melaporkan pada temperatur berapa sebaiknya suatu mesin adsorpsi divakum sebelum diassembling.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan temperatur pemvakuman yang optimum pada sebuah mesin pendingin adsorpsi yang menggunakan karbon aktif sebagai *adsorbent* dan metanol dan etanol sebagai *adsorbate*.
2. Membangun persamaan penyerapan *adsorbate* oleh karbon aktif sebagai fungsi temperatur pemvakuman.

Dalam penelitian ini, penulis membatasi masalah pada :

1. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif dengan refrigerannya (*adsorbate*) adalah methanol
2. Luas adsorber yang berisi karbon aktif adalah 50 cm x 50 cm

3. Menggunakan radiasi lampu listrik untuk mengontrol temperature adsorber saat pemvakuman.
4. Massa karbon aktif adalah 8 kg, volume metanol 2 liter dan volume air adalah 2,5 liter
5. Proses perpindahan panas yang terjadi adalah secara alamiah
6. Batasan sudut kolektor adalah 0°

Teori

Koefisien konveksi alam h_i antara pelat-pelat miring yang dipanasi dari bawah telah dikorelasikan oleh hollands dan lain-lain untuk sudut miring lain antara 0° dan $70+0^\circ$ yang dinyatakan dalam bilangan Rayleigh (perbandingan gaya apung terhadap gaya viskos) dan sudut miring β^1 . Koefisien tersebut dapat dengan mudah dinyatakan dari sela z, antara pelat penyerap dan pemanas, dengan sudut miring sebagai parameter.

Koefisien radiasi dalam (ekivalen) h_{ri} . Penukaran panas radiasi antara penyerap dan penutup adalah :

$$q = \frac{\sigma A (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

dimana: T_1 = temperatur rata-rata adsorber
 T_2 = temperatur rata-rata lingkungan

ϵ_1 = emisivitas *black paint* (plat yang dicat hitam)

ϵ_2 = emisivitas *wood* (kotak isolasi kolektor)

$$U = \left[\frac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \right]^{-1} \left[\frac{\sigma (T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\left[\frac{\epsilon_p + 0,05N(1-\epsilon_p)}{\epsilon_p} \right] + \left[\frac{2N + f - 1}{\epsilon_g} \right]^{-N}} \right]$$

dimana:

N = jumlah lampu pemanas

F = $(1 - 0,04 h_o + 0,0005 h_o^2)(1 + 0,091N)$

C = $250[1 - 0,0044(\beta - 90^\circ)]$

Harga $h_o = 5,7 + 3,8 V W/m^2.K$

T_p = temperatur rata-rata adsorber

T_a = temperatur rata-rata lingkungan

ϵ_p = emisivitas *black paint* (plat yang dicat hitam)

ϵ_g = emisivitas *wood* (kotak isolasi kolektor)

Bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah, hingga tercapainya kesetimbangan termal.

Proses perpindahan panas ini berlangsung dalam 3 mekanisme, yaitu : konduksi, konveksi dan radiasi [2].

Persamaan untuk laju perpindahan kalor konduksi secara umum dinyatakan dengan bentuk persamaan diferensial di bawah ini:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx}$$

dimana :

$\frac{dT}{dx}$ = Laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x

Persamaan laju perpindahan kalor secara konveksi telah diajukan oleh Newton pada tahun 1701 yang berasal dari pengamatan fisika.

$$Q_c = h_c A (t_s - t_f)$$

dimana : h_c = koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

t_s = suhu permukaan ($^\circ C$)

t_f = suhu fluida ($^\circ C$)

Penukaran panas netto secara radiasi termal adalah:

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \text{ Watt}$$

dimana :

σ : konstanta Stefan-Boltsman,

$$5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4);$$

A: luas bidang, m^2 , dan temperatur adalah derajat Kelvin pangkat empat, K^4 .

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium teknik pendingin departemen teknik mesin universitas sumatera utara. Tahapan penelitian secara garis besar meliputi studi literatur, studi lapangan, perancangan dan pembuata.

Bagian-bagian dari Siklus Adsorpsi :

Adsorber/generator

Adsorber adalah komponen yang berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi panas. Adsorber juga berfungsi sebagai tempat terjadinya proses desorpsi dan adsorpsi. Pada saat proses desorpsi terjadi pemisahan refrigerant (methanol) dengan adsorber (karbon aktif) dan pada proses adsorpsi terjadi pengikatan kembali refrigeran oleh adsorber.

Adsorber yang pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu:

1. Pemanasan dengan menggunakan cahaya lampu untuk mengatur temperature adsorber.
2. Isolator, berfungsi meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari absorber menuju lingkungan

Kondensor

Kondensor adalah suatu alat untuk terjadinya kondensasi refrigeran uap dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor sebagai alat penukar kalor berguna untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari uap menjadi cair. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas kondensor adalah:

1. Luas muka perpindahan panasnya meliputi diameter pipa kondensor, panjang pipa kondensor dan karakteristik pipa kondensor
2. Aliran udara pendinginnya secara konveksi natural atau aliran paksa oleh *fan*
3. Perbedaan suhu antara refrigeran dengan udara luar
4. Sifat dan karakteristik refrigeran di dalam system[3]

Kondensor ditempatkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, agar dapat melepas keluar kepada zat yang mendinginkannya. Tekanan refrigeran yang meninggalkan kondensor harus cukup tinggi untuk mengatasi gesekan pada pipa dan tahanan dari alat ekspansi, sebaliknya jika tekanan di dalam kondensor sangat rendah dapat menyebabkan refrigeran tidak mampu mengalir melalui alat ekspansi[3].

Evaporator

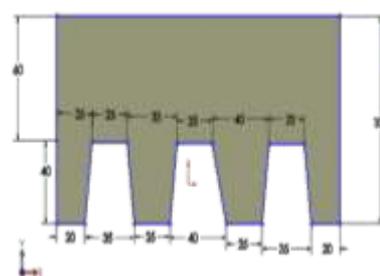
Salah satu komponen utama mesin pendingin adsorpsi yang akan dirancang adalah evaporator. Evaporator dibuat sesuai dengan kapasitas metanol yang mampu diserap oleh karbon aktif pada generator dengan dimensi $220 \times$

220×10 mm.



Gambar 1. Evaporator yang akan dirancang

Bahan yang digunakan adalah stainless steel dengan ketebalan 1 mm dan volume evaporator yang akan dibuat 2.5 liter, dengan volume tersebut akan mampu menampung metanol sebanyak 2 liter yang akan dipakai pada rancangan mesin pendingin adsorpsi.



Gambar 2. Dimensi evaporator

Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana satu atau lebih unsur-unsur pokok dari suatu larutan fluida akan lebih terkonsentrasi pada permukaan suatu padatan tertentu (*adsorbent*). Dengan cara ini, komponen-komponen dari suatu larutan, baik itu dari larutan gas ataupun cairan, bisa dipisahkan satu sama lain (Treybal, 1980) [6].

Bahan

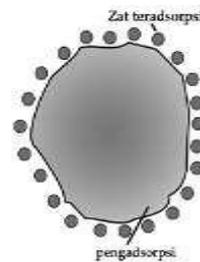
Adsorben

Kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada daerah tertentu di dalam partikel itu. Karena pori-pori adsorben biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalamnya menjadi beberapa kali lebih besar dari permukaan luar. Adsorben yang telah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi. Karbon aktif yang merupakan contoh dari adsorpsi, yang biasanya dibuat dengan cara membakar tempurung kelapa atau kayu dengan persediaan udara yang terbatas. Tiap partikel adsorben dikelilingi oleh molekul yang diserap karena terjadi interaksi tarik menarik [4].

Pada gambar 1 terlihat karbon aktif yang berbentuk butiran atau bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon misalnya batubara, kulit kelapa, dan sebagainya. Dengan pengolahan tertentu yaitu proses aktivasi seperti perlakuan dengan tekanan dan suhu tinggi, dapat diperoleh karbon aktif yang memiliki permukaan dalam yang luas.

Arang 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 didalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi.



Sumber : [5]

Gambar 3. Bentuk butiran karbon aktif

Arang selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap arang tersebut dilakukan aktivasi dengan bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, arang akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Arang yang demikian disebut sebagai arang aktif. [6]

Refrigerant

Untuk terjadinya suatu proses pendinginan diperlukan suatu bahan yang mudah dirubah bentuknya dari gas menjadi

cair atau sebaliknya untuk mengambil panas dari evaporator dan membuangnya di kondensor. Untuk keperluan suatu jenis pendinginan (misal untuk pendinginan udara atau pengawet beku) diperlukan refrigeran dengan karakteristik termodinamika yang tepat.

Adapun syarat-syarat untuk refrigerant adalah [7] :

1. Tidak dapat terbakar atau meledak bila tercampur dengan udara, pelumas dan sebagainya.
2. Tidak menyebabkan korosi terhadap bahan logam yang dipakai pada sistem mesin pendingin.
3. Mempunyai titik didih dan kondensasi yang rendah.
4. Perbedaan antara tekanan penguapan dan tekanan penguapan (kondensasi) harus sekecil mungkin.
5. Mempunyai panas laten penguapan yang besar, agar panas yang diserap evaporator yang sebesar-besarnya.
6. Konduktivitas thermal yang tinggi.

Sayangnya, tidak ada refrigeran yang memiliki semua karakteristik di atas, dan refrigeran yang biasa di pakai untuk sistem pendingin adsorpsi adalah amonia, air dan methanol [7].

Dalam penelitian ini bahan refrigeran yang digunakan adalah

methanol.

Metanol

Metanol ini dipilih karena memiliki kelebihan sebagai berikut :

1. Pada tekanan atmosfer metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap dibandingkan dengan air meskipun pada tekanan 1 atm.
2. Sangat efisien.
3. Tidak korosif terhadap besi atau baja.
4. Dapat digunakan sistem absorpsi dan kompresi.

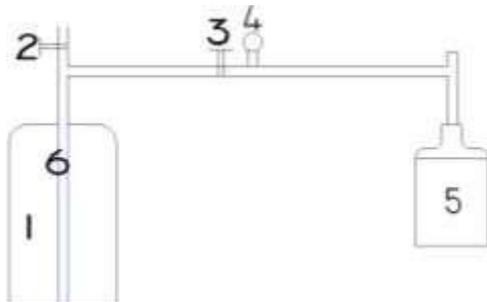
Secara fisik Metanol merupakan cairan bening, berbau seperti alkohol, dapat bercampur dengan air, *chloroform* dalam perbandingan berapapun, *hygroskopis*, mudah menguap dan mudah terbakar dengan api seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Metanol

Perancangan Alat Pengujian

Dalam penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan pengujian kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap metanol pada siklus adsorpsi. Dimensi utama alat penguji adsorpsi adalah :



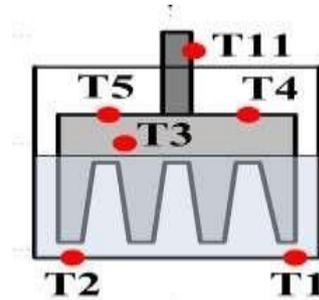
Gambar 3. Skema alat pengujian
Keterangan :

1. Tabung besi berisi karbon aktif
2. Katup
3. Katup
4. Manometer vakum
5. Gelas ukur berisi methanol
6. Pipa berpori

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan selama tiga hari yang dimulai tanggal 03 juni 2011- 06 juni 2011, untuk mendapatkan data perubahan temperatur yang akurat, maka sensor *thermocouple* pada evaporator dipasang 5 titik , yaitu T₁, T₂, T₃, T₄, dan T₅, dan T₁₁ dimana suhu pada fin atau dasar evaporator yaitu *channel* 102 atau T₂ Gambar 4.1 menunjukkan titik pengukuran

pada evaporator dandata yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran A.



Gambar 4. Letak sensor *thermocouple* pada evaporator

Keterangan gambar :

- T1 = Channel 101 = temperatur pada titik 1
- T2 = Channel 102 = Temperatur pada titik 2
- T3 = Channel 103 = Temperatur pada titik 3
- T4 = Channel 104 = Temperatur pada titik 4
- T5 = Channel 105 = Temperatur pada titik 5
- T11= Channel 111= Temperatur pada titik 11

Tekanan Evaporator

Tekanan pada manometer yang digunakan untuk mengukur tekanan pada evaporator diamati setiap 1 jam dan pengamatan dilakukan persiklus. Data tekanan pada evaporator proses desorpsi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data tekanan evaporator pada siang hari (desorpsi)

Waktu (WIB)	Tekanan h I cmHg	Tekanan h II cmHg	Tekanan h III cmHg
18:00:00	-57	-60	-60
19:00:00	-59	-62	-64
20:00:00	-62	-63	-67
21:00:00	-63	-65	-68
22:00:00	-64	-65	-68
23:00:00	-65	-67	-70
0:00:00	-67	-67	-70
1:00:00	-67	-68	-70
2:00:00	-67	-68	-70
3:00:00	-67	-68	-70
4:00:00	-67	-68	-70
5:00:00	-67	-72	-70
6:00:00	-67	-74	-70
6:30:00	-66	-74	-70

Dari gambar 5, Pada awal proses desorpsi berlangsung tekanan evaporator masih rendah, pada hari pertama pengujian desorpsi mulai berlangsung pada pukul 10.00 WIB, hal ini ditandai dengan kenaikan tekanan pada pukul 11.00 WIB tekanan menjadi -58 cmHg dan semakin lama tekanan semakin naik, hal ini dikarenakan metanol dari adsorben menguap kembali ke evaporator karena temperatur adsorben naik, metanol akan mencair di kondensor dan terkumpul kembali di evaporator. Pada hari kedua dan hari ketiga pengujian, tekanan awal desorpsi pukul 09.00 WIB adalah -64 cmHg dan naik secara teratur hingga mencapai -56 cmHg pada akhir proses desorpsi.

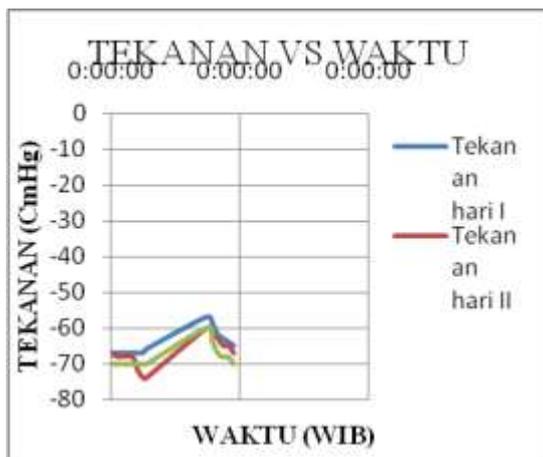
Tabel 2. Data tekanan evaporator pada malam hari (adsorpsi)

Waktu (WIB)	Tekanan hari I (cmHg)	Tekanan hari II (cmHg)	Tekanan hari III (cmHg)
09:00:00	-60	-64	-64
10:00:00	-60	-63	-64
11:00:00	-58	-61	-63
12:00:00	-58	-60	-62
13:00:00	-56	-59	-61
14:00:00	-55	-57	-60
15:00:00	-52	-56	-58
16:00:00	-50	-55	-58
17:00:00	-50	-56	-56



Gambar 5. Grafik tekanan vs waktu evaporator proses desorpsi

Dari Gambar 6. diketahui bahwa pada saat proses adsorpsi tekanan pada evaporator semakin turun. Tekanan evaporator pada hari pertama proses adsorpsi pukul 18.00 WIB adalah -57 cmHg, tekanan makin turun sampai -67 cmHg pada pukul 00.00 WIB, hal itu disebabkan metanol perlahan-lahan sudah menguap dari evaporator ke generator, tekanan tersebut dapat dipertahankan sampai pukul 06.00 WIB pagi hari.



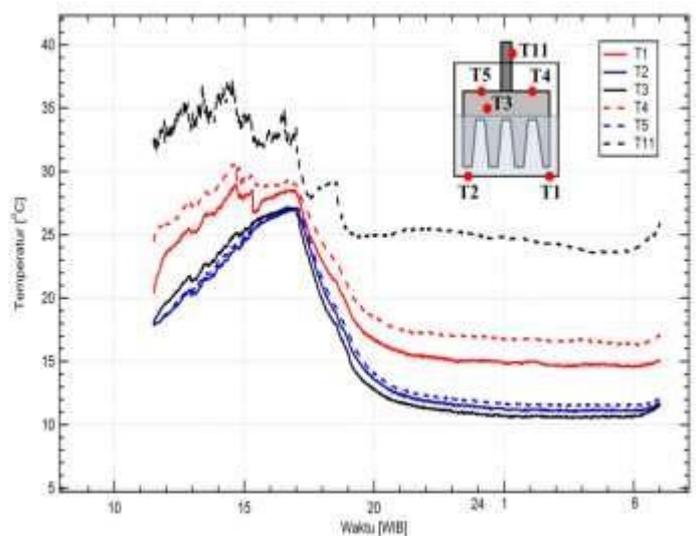
Gambar 6. Grafik tekanan vs waktu evaporator proses adsorpsi

Tekanan hari pertama, kedua dan hari ketiga pengujian tidak berbeda jauh. Rata – rata tekanan hari pertama -63 cmHg, lebih tinggi dibandingkan pada hari kedua dan ketiga, hal ini dikarenakan pada hari kedua dan hari ketiga dilakukan pemvakuman kembali. Data pengujian menunjukkan bahwa tekanan terendah terjadi pada pukul 06:00 WIB yaitu -

74cmHg pada hari kedua. Penurunan tekanan ini dikarenakan penurunan temperatur pada evaporator.

Pengujian Hari Pertama

Hubungan temperatur dengan waktu pada gambar 7. menunjukkan bahwa Temperatur di dalam evaporator pada hari pertama pengujian awalnya sekitar 30°C atau sedikit dibawah suhu maksimum udara lingkungan. Setelah pukul 17.00 WIB temperatur di dalam evaporator turun. Hal ini disebabkan dimulainya proses adsorpsi di generator, adsorpsi akan menyebabkan metanol menguap dari evaporator dan diserap oleh karbon aktif yang ada pada generator.



Gambar 7. Grafik temperatur vs waktu pad evaporator pada pengujian hari pertama

Temperatur evaporator ini turun sampai mencapai suhu sekitar 10 °C pada pukul 24.00 WIB. Pada saat ini temperatur ruangan masih tinggi sekitar 25 °C. Ada perbedaan sekitar 15 °C. Temperatur ini dapat dipertahankan selama 6 jam yaitu sampai pukul 06.00 WIB pagi hari. Adanya perbedaan temperatur pada ke lima titik termokopel yang dipasang pada evaporator dikarenakan pendinginan pada dinding evaporator tidak merata dan juga pengaruh kotak insulasi yang tidak terisolasi sempurna.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain yaitu:

1. Metanol di dalam evaporator tidak semuanya menguap, dan dari hasil pengamatan metanol pada saat pengujian berlangsung, dari 2 liter metanol yang digunakan hanya 1 liter yang menguap
2. Temperatur evaporator pada hari pertama pengujian, $T_{maks}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ pukul 14.00 WIB dan $T_{min}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pukul 02.00 WIB. Temperatur evaporator

pada hari kedua, $T_{maks}=33\text{ }^{\circ}\text{C}$ pukul 14.30 WIB dan $T_{min}=6,81\text{ }^{\circ}\text{C}$ pukul 06.00 WIB. Temperatur evaporator pada hari ketiga, $T_{maks}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ pukul 15.00 WIB dan $T_{min}=14\text{ }^{\circ}\text{C}$ pukul 23.00 WIB. Temperatur terendah evaporator diperoleh pada hari kedua pengujian sebesar 6,81°C.

3. Tingkat kevakuman yang kurang pada sistem, hal ini berkaitan dengan kemampuan pompa vakum dan adanya kebocoran pada sistem khususnya pada evaporator seperti pada sambungan ke kondensor, katup yang digunakan, lubang pengisian metanol dan pada pengelasan. Kevakuman yang kurang menyebabkan metanol tidak dapat menguap secara maksimal.

Saran

Untuk keberhasilan penelitian selanjutnya, maka penulis menyarankan:

1. Kevakuman sistem, dalam hal ini kebocoran pada sistem agar lebih diperhatikan karena proses adsorpsi hanya bisa terjadi jika evaporator dalam keadaan vakum.
2. Mengisolasi kotak insulasi dengan baik menggunakan bahan isolasi yang lebih baik.

3. Menggunakan karbon aktif yang lebih berkualitas yang dilengkapi dengan spesifikasi dan standardisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Li, H.B.Huang, and R.Z Wang,(2005).*Study on intermittent refrigeration phenomenon for solar solid adsorption refrigeration*, Journal of Applied Thermal Engineering p1614–1622
- [2] Incropera, Frank P, David P. Dewitt,(1985). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, second edition, John Wiley & Sons Inc., New York
- [3] Stoecker, Wilbert F. W Jones, Jerold, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, alih bahasa Ir. Supannanahara, Edisi Kedua PT. Erlangga, Jakarta,1996
- [4] Bayu Rudiyanto,(2008). *Kajian Eksergi pada Mesin Pendingin Adsorpsi Intermitten Menggunakan Pasangan Silicagel Metanol*, IPB Press, Bogor
- [5] Hinotani, K. 1983. “*Development of Solar ActuatedZeolite Refrigeration System*”. Solar World Congress, Vol.1, Pergamon Press, pp. 527-531.
- [6] Arismunandar, Wiranto,(1995). *TeknologiRekayasa Surya*, edisipertama, cetakanpertama, Penerbit PT. PradnyaParamitha, Jakarta
- [7] L.Wang, R.Z.Wang, R.G.Oliveira,(2007).*A review on Adsorption Working Pairs for Refrigerant, Renewable and Sustainable Energy Review*