

## KAJIAN EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA KOLEKTOR UNTUK MESIN PENDINGIN SIKLUS ADSORPSI YANG DIGERAKKAN ENERGI MATAHARI

Jhon Sufriadi Purba<sup>1\*</sup>, Khairul Suhada<sup>1</sup>, Darma Wijaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni

\*jhonsufriadi@gmail.com

### ABSTRAK

Perkembangan sistem refrigerasi sangat pesat seiring dengan majunya teknologi. Siklus refrigerasi adsorpsi saat ini sedang dikembangkan, terutama di negara-negara berkembang. Siklus pendinginan adsorpsi sangat ramah lingkungan. Salah satu komponen ini adalah mesin pendingin generator. Jenis generator yang digunakan adalah plat datar. Luas adsorber adalah 0,25 m<sup>2</sup> dengan ketebalan plat adalah 1 mm. Dalam adsorber diisi dengan karbon aktif sebanyak 8 kg. Suhu air akan menurun dengan penurunan suhu refrigeran dalam evaporator. Pada sore hari proses desorpsi terjadi pada adsorber yang menerima panas dari lampu dan refrigeran akan mengalir ke kondensor dan mencairkannya di evaporator, pada malam hari adsorber didinginkan oleh lingkungan luar sehingga proses adsorpsi, refrigeran akan menguap dari evaporator ke kondensor dan adsorber akan diserap. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah temperatur pemvakuman adsorber terhadap refrigerant (methanol/etanol) mendapatkan hasil yang paling banyak menyerap methanol terjadi pada temperatur thermostat pada 200<sup>0</sup>C dan menghasilkan temperatur adsorber 123,43<sup>0</sup>C serta mampu menyerap methanol sebanyak 6,25 ml/kg.

**Kata kunci:** Adsorpsi, desorpsi, generator, karbon aktif, refrigerasi

### ABSTRACT

*The rapid development of the refrigeration system, along with the rapid advancement of technology. Adsorption refrigeration cycle is currently being developed, especially in developing countries. Adsorption refrigeration cycle is very environmentally friendly. One component of this is the generator cooling machine. Type of generator used is a flat plate. The area of adsorber is 0.25 m<sup>2</sup> with a slab thickness is 1 mm. In this adsorber filled with activated carbon as much as 8 kg. The temperature of the water will decrease with decreasing temperature refrigerant in the evaporator. On the afternoon of the desorption process occurs adsorber receives heat from the lights and the refrigerant will flow into the condenser and melt in the evaporator, at night adsorber is cooled by the outside environment resulting in the adsorption process, the refrigerant will evaporate from the evaporator into the condenser and adsorber will be absorbed. The results of this study are vacuum adsorber temperature to obtain the absorption refrigerant refrigerant methanol at 200 <sup>0</sup>C and the temperature thermostat produces 123.43 <sup>0</sup>C adsorber temperature and methanol as refrigerant absorbs 6.25 ml/kg.*

**Keywords:** Adsorption, desorption, generator, activated carbon, refrigeration

## 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 dalam proses pendinginan yang terjadi 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  $0^{\circ}$

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  $0^{\circ}$  dan  $70+O^y$  yang dinyatakan dalam bilangan Rayleigh (perbandingan gaya apung terhadap gaya viskos) dan sudut miring  $\beta^1$ . 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 :

$$q = \frac{\sigma A(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

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

$\epsilon_1$  = emisivitas *black paint* (plat yang dicat hitam)

$\epsilon_2$  = emisivitas *wood* (kotak isolasi kolektor)

$$U_i = \left[ \frac{N}{\frac{C}{T_p} \left( \frac{T_p - T_a}{N+F} \right)^{0,33}} + \frac{1}{h_0} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\epsilon_p + 0,05N(1 - \epsilon_p)]^{-1} + \left[ \frac{2N + f - 1}{\epsilon_g} \right]^{-N}}$$

dimana:

N = jumlah lampu pemanas

F =  $(1 - 0,04 h_0 + 0,0005 h_0^2)(1 + 0,091N)$

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

Harga  $h_0 = 5,7 + 3,8 V W/m^2.K$

$T_p$  = temperatur rata-rata adsorber

$T_a$  = temperatur rata-rata lingkungan

$\epsilon_p$  = emisivitas *black paint* (plat yang dicat hitam)

$\epsilon_g$  = 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 [3].

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 ( $W/m^2.C$ )

$t_s$  = suhu permukaan ( $^0C$ )

$t_f$  = suhu fluida ( $^0C$ )

Penukaran panas netto secara radiasi termal adalah:

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

dimana :

$\sigma$  : konstanta Stefan-Boltsman,  
 $5,67 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4)$ ;

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

## METODOLOGI PENELITIAN

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 adsorber 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.

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.

### Evaporator

Evaporator dalam sistem refrigerasi adalah alat penukar kalor yang memegang peranan penting di dalam siklus refrigerasi, yaitu mendinginkan media sekitarnya. Tujuan sistem refrigerasi adalah untuk membebaskan panas dari fluida seperti udara, air atau beberapa benda yang lain.

Evaporator diletakkan dibagian unit pendingin dari lemari pendingin dan akan bersentuhan langsung dengan media yang akan didinginkan, yaitu air. Cairan metanol akan menguap pada saat temperatur adsorben naik atau pada saat pemanasan adsorben. Metanol akan mencair dikondensor dan cairannya akan terkumpul kembali di evaporator, dan malam hari temperatur adsorben akan turun perlahan – lahan dan akan menyerap metanol. Akibatnya metanol akan menguap dan menyerap kalor dari sekitarnya sehingga temperatur akan turun.

Kapasitas mesin pendingin pada umumnya ditentukan tiga hal, yaitu; jumlah refrigeran yang diuapkan tiap jam, temperatur penguapan refrigeran didalam evaporator, jenis refrigeran yang digunakan[5].

### 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) [5].

Adapun syarat-syarat untuk refrigerant adalah [5] :

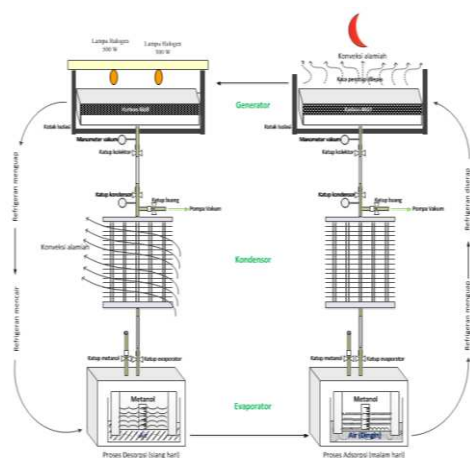
1. Tidak dapat terbakar atau meledak bila tercampur dengan udara, pelumas dan sebagainya.
2. Tidak menyebabkan korosi terhadap bahan logam yang dipakai pada sistem mesin pendingin.
3. Mempunyai titik didih dan kondensasi yang rendah.
4. Perbedaan antara tekanan penguapan dan tekanan kondensasi ( kondensasi ) 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.

Dalam penelitian ini bahan refrigeran yang digunakan adalah methanol.

### Set-Up Pengujian

Skema mesin pendingin siklus adsorpsi ini dengan jelas menggambarkan proses yang terjadi di dalam mesin pendingin tersebut seperti yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema mesin pendingin siklus adsorpsi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data tekanan, temperatur dan volume methanol secara ringkas dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pemvakuman Adsorber Terhadap Metanol

Hari / Tanggal	Temp Termostat	Temp Ads Max	Tekanan		Volume Etanol		Temp Air
			Adsorber	Kon & Eva	Diserap (ml/kg)	Kembali (ml/kg)	
Senin/ 05-08-2019	100 °C	80,27 °C	-40 CmHg	-36 CmHg			
Selasa/ 06-08-2019			-62 CmHg	-62 CmHg	1,25	1,25	23,17 °C
Kamis/ 08-08-2019	120 °C	89,55 °C	-40 CmHg	-36 CmHg			
Jumat/ 09-08-2019			-62 CmHg	-62 CmHg	2.5	2.5	22,84 °C
Kamis/ 15-08-2019	140 °C	95,82 °C	-40 CmHg	-36 CmHg			
Jumat/ 16-08-2019			-62 CmHg	-62 CmHg	2.5	2.5	21,55 °C
Jumat/ 16-08-2019	160 °C	103,82 °C	-40 CmHg	-36 CmHg			
Sabtu/ 17-08-2019			-62 CmHg	-62 CmHg	3.75	3.75	16,34 °C
Senin/ 19-08-2019	180 °C	119,64 °C	-40 CmHg	-36 CmHg			
Selasa/ 20-08-2019			-62 CmHg	-62 CmHg	3.75	3.75	15,09 °C
Selasa/ 20-08-2019	200 °C	123,43 °C	-38 CmHg	-34 CmHg			
Rabu/ 21-08-2019			-62 CmHg	-62 CmHg	6.25	6.25	9,02 °C

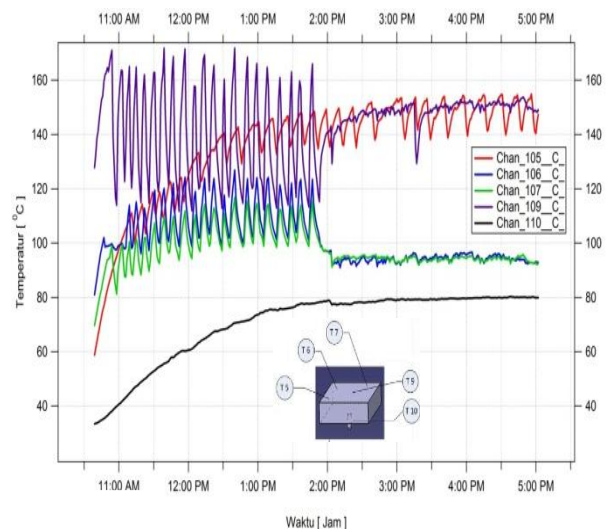
### A. Analisis Pengujian dan Pengolahan Data terhadap Metanol

#### 1. Pemvakuman Adsorber dengan Temperatur Pemvakuman 100°C

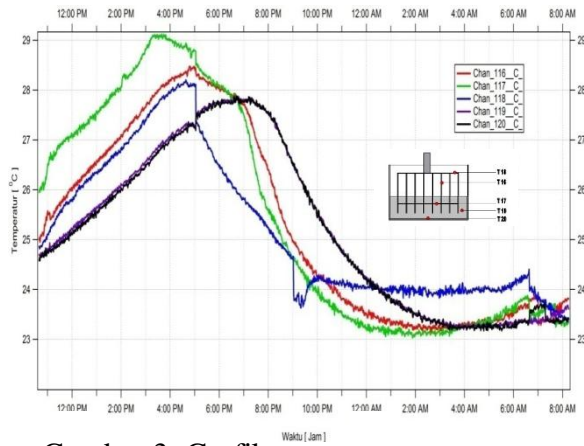
Pada bagian ini yaitu menentukan penyerapan adsorber terhadap methanol dengan hasil sbb :

- Pengujian pada Proses Desorbsi  
 Pengujian ini dilaksanakan pada tanggal 05 Agustus 2019 dimulai pada pukul 10.32 s/d 17.02 Wib. yang menghasilkan temperatur adsorber maximum yaitu 80,27 °C pada pukul 16.39 Wib kemudian dilakukan pemvakuman setiap jam selama 15 menit. Menghasilkan tekanan Adsorber -40 CmHg, tekanan kondensor & Evaporator -36 CmHg. Pengujian ini terlihat pada gambar 4.1
- Pengujian pada saat Proses Adsorbsi  
 Pengujian dilakukan pada tanggal : 05 Agustus 2019 pada pukul 18.00-24.00, dan pada tanggal 06 Agustus 2019 pada pukul 00.00-08.00 dihasilkan suhu air minimum yaitu 23,17 °C terjadi pada pukul 04.47 serta methanol yang terserap sebanyak 0,1 liter setelah adsorber dipanaskan maka methanol yang diserap

tersebut akan kembali sebanyak 0,1 liter. Pengujian ini terlihat pada gambar 2



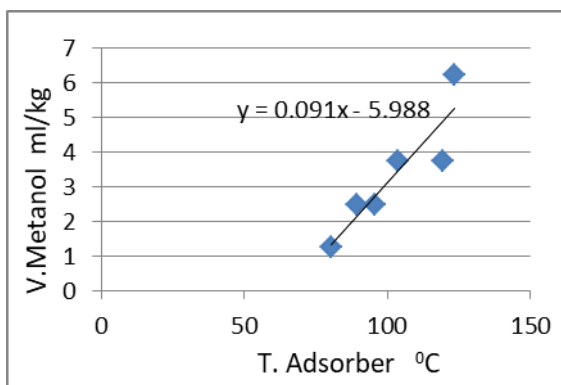
Gambar 2. Grafik temperatur adsorber vs waktu untuk temperatur pemvakuman 100°C dengan refrigerant (methanol)



Gambar 3. Grafik temperatur evaporator vs waktu untuk temperatur pemvakuman 100<sup>0</sup>C dengan refrigerant (methanol)

Tabel 2. Data pengujian temperatur Adsorber terhadap Metanol yang terserap

No	Temp Adsorber °C	Volume Metanol (ml/kg)
1	80.27	1.25
2	89.55	2.5
3	95.82	2.5
4	103.82	3.75
5	119.64	3.75
6	123.43	6.25



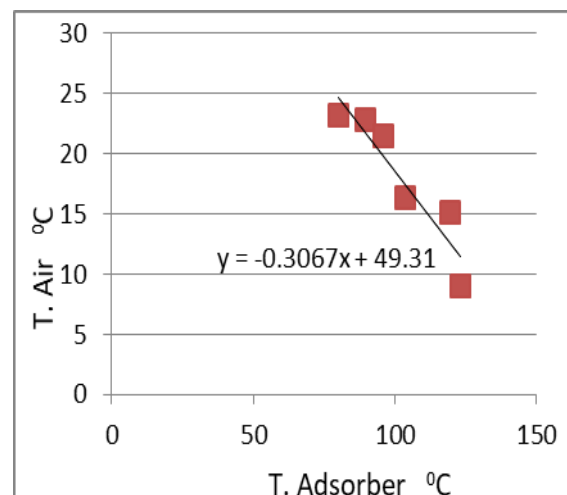
Gambar 4 : Temperatur Adsorber Vs Metanol

Hasil pengujian temperature adsorber terhadap refrigerant methanol

yang terserap dan menghasilkan penyerapan kalor media yang didinginkan, dapat dilihat pada tabel 3 dan persamaan temperature adsorber terhadap temperature air dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel 3. Data Pengujian Temperatur Adsorber vs Temperatur Air Refrigeran : Metanol

No	Temp Adsorber °C	Temp. Air °C
1	80.27	23.17
2	89.55	22.84
3	95.82	21.55
4	103.82	16.34
5	119.64	15.09
6	123.43	9.02

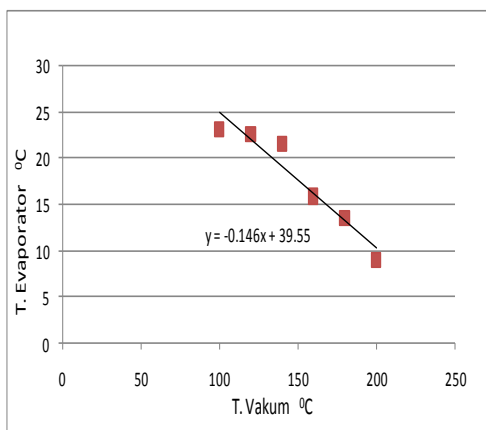


Gambar 5 : Temperatur Adsorber Vs Temperatur Air Refrigeran (Metanol)

Hubungan antara temperature pemvakuman dengan temperature evaporator yang dihasilkan pada saat pengujian terlihat pada tabel 4 untuk refrigerant methanol dan persamaan temperature pemvakuman terhadap temperature evaporator dapat dilihat pada gambar 6.

Tabel 4. Hubungan Antara Temperatur Pemvakuman Vs Temperatur Evaporator pada Refrigeran (Metanol)

No	Temp. Vakum °C	Temp. Evaporator °C
1	100	23.03
2	120	22.51
3	140	21.51
4	160	15.83
5	180	13.53
6	200	9.04



Gambar 6. Temperatur Pemvakuman Vs Temperatur Evaporator Refrigeran (Metanol)

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa data yang dilakukan dapat disimpulkan:

1. Temperatur Pemvakuman Adsorber terhadap Refrigeran (Metanol) mendapatkan Temperatur maximum ialah : 123,43 °C pada thermostat dengan temperatur 200 °C dapat menyerap methanol sebanyak 6,25 ml/kg serta menghasilkan temperature air 9,02 °C. Sementara temperatur pemvakuman Adsorber terhadap refrigeran (Etanol) mendapatkan temperatur maximum ialah : 123,16 °C pada thermostat dengan temperatur 200 °C dapat menyerap etanol sebanyak 6,25 ml/kg serta menghasilkan temperature air 11,69 °C.

2. Fluida yang diserap karbon aktif secara matematis dapat dirumuskan  $m = 0,091T - 5,988$  dalam satuan ml/kg untuk refrigerant methanol  $m = 0,088T - 5,825$  dalam satuan ml/kg untuk refrigerant etanol.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bayu Rudiyanto, (2012). *Kajian Eksergi pada Mesin Pendingin Adsorpsi Intermitten Menggunakan Pasangan Silicagel Metanol*, IPB Press, Bogor
- [2] Beckman A. William. (2014). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York
- [3] Djati Nursuhud (2014), *Mesin Konversi Energi*, edisi pertama, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- [4] N.M. Khattab, (2016). *A novel solar-power adsorption refrigeration module*, Journal of solar Energy department, National Research Center, Tahrir Street, Cairo, Egypt
- [5] Barita, Esron Rudiyanto Silaban, Zainuddin, Eswanto ,2018, Pengaruh Kinerja Kompresor Pada Mesin Pendingin Dengan Penggunaan Variasi Bahan Refrigeran, Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM, Vol. 4 No. 1, hal : 48 - 55
- [6] Yunus A. Cengel, (2014). *Heat Transfer A Practical Approach*, third Edition, Mc Graw-Hill, Book Company, Inc, Singapore
- [7] Eswanto, and J.R.Siahaan, 2018, Analysis of castel type biomass combustion chamber using candlenut shell fuel for patchouli oil purifying, Journal of Mechanical Engineering and Sciences Volume 12, Issue 2, pp. 3656-3670