

**PROSES ADSORPSI DALAM PENDINGIN ADSORPSI  
METANOL - KARBON AKTIF TENAGA SURYA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Mesin



Disusun Oleh :

**Antonius Anen**

**NIM : 995214055**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2006**

**ADSORPTION PROCESS IN SOLAR POWERED  
METHANOL - CARBON ACTIVE ADSORPTION  
COOLER**

**FINAL PROJECT**

Presented as Partial Fulfillment of the Requirements  
to Obtain the Sarjana Teknik Degree  
In Mechanical Engineering



By

**Antonius Anen**

**Student Number : 995214055**

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
ENGINEERING FAKULTY  
SANATA DHARMA UNIVERSITY  
YOGYAKARTA  
2006**

# **TUGAS AKHIR**

## **PROSES ADSORPSI DALAM PENDINGIN ADSORPSI METANOL - KARBON AKTIF TENAGA SURYA**

Disusun Oleh :

**Antonius Anen**

**NIM : 995214055**

Telah disetujui oleh :

Pembimbing



(Ir. FA Rusdi Sambada, M.T.)

Tanggal : 21 Maret 2006

**PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PROSES ADSORPSI DALAM PENDINGIN ADSORPSI  
METANOL - KARBON AKTIF TENAGA SURYA**

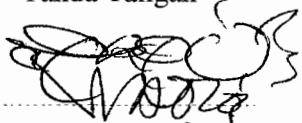
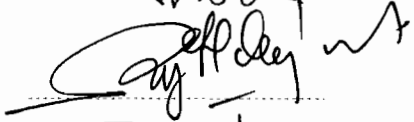
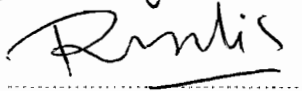
Dipersiapkan dan ditulis oleh :

**Antonius Anen**

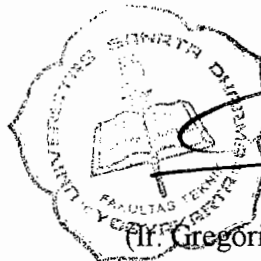
**NIM : 995214055**


Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji  
pada tanggal 21 Maret 2006  
dan dinyatakan memenuhi syarat

**Susunan Panitia Penguji :**

	Nama Lengkap	Tanda Tangan
Ketua :	Ir. PK Purwadi, M.T.	
Sekretaris :	Yosef Agung Cahyanta, S.T., M.T.	
Anggota :	Ir. FA Rusdi Sambada, M.T.	

Yogyakarta, 21 Maret 2006  
Fakultas Teknik  
Universitas Sanata Dharma  
Yogyakarta  
Dekan



  
(Ir. Gregorius Heliarko SJ, S.S., B.ST., M.A., M.Sc.)

TUGAS AKHIR INI AKU PERSEMBAHKAN  
UNTUK TUHAN YESUS KRISTUS, BUNDA MARIA, ALM.  
PAPA, MAMA, ABANGKU, ALM. FONG KO, SIAN CE,  
PHIN CE, LANG CE, MOI CE, CUN KO, HAU CO,  
ALM. AHA DAN NI MADE MERAYANTI  
YANG SANGAT AKU CINTAI

*Study as if you were to live forever  
Live as if you were to die tomorrow  
(mahatma Gandhi)*

## **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya tulis ini tidak memuat karya atau bagian karya orang lain , kecuali yang telah disebutkan dalam daftar pustaka, sebagaimana layaknya karya ilmiah.

Yogyakarta, 21 maret 2006

Penulis

Antonius Anen

## INTISARI

Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang dapat diperbaharui, hal ini berbeda dengan bahan bakar minyak dan gas bumi yang suatu saat nanti akan habis, disamping itu energi surya bisa didapatkan secara cuma-cuma dan tidak merusak lingkungan. Prospek pemanfaatan energi surya cukup menjanjikan terutama di negara-negara berkembang yang umumnya terletak di daerah tropis dengan energi surya yang melimpah seperti Indonesia. Salah satu pemanfaatannya adalah untuk pendingin adsorpsi energi surya. Pada sistem pendingin adsorpsi dibutuhkan komponen berupa kolektor surya, bahan refrigeran dan adsorber. Dalam penelitian ini metanol sebagai refrigeran dan karbon aktif sebagai adsorber.

Penelitian ini dilakukan untuk menjajagi kemungkinan penggunaan metanol dan karbon aktif yang dijual dipasar lokal khususnya Yogyakarta untuk dipakai pada pendingin adsorpsi energi surya dan menghitung koefisien unjuk kerja (COP) yang dihasilkan serta membandingkan hasil penelitian ini dengan dengan hasil penelitian yang sudah ada.

Kesimpulannya adalah metanol dan karbon aktif yang dijual di pasar lokal khususnya Yogyakarta kalau digunakan sebagai pendingin adsorpsi energi surya masih tidak baik karena COP yang dihasilkan rendah yaitu berkisar antara 0.0566-0.0721. Untuk penelitian yang lain menghasilkan COP berkisar antara 0.05-0.3, hal ini dimungkinkan karena keterbatasan alat, tingkat kevakuman kurang dan standard kualitas bahan yang kurang baik.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kasih atas berkat karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Judul Tugas Akhir adalah **Proses Adsorpsi Dalam Pendingin Adsorpsi Metanol-Karbon Aktif Tenaga Surya**. Tugas Akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Ir. FA Rusdi Sambada, M.T.**, selaku dosen pembimbing dan dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. **Romo Ir. Gregorius Heliarko SJ, S.S., B.ST., M.A., M.Sc.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
3. **Bapak Yosep Agung Cahyanta S.T., M.T.**, selaku Kaprodi Teknik Mesin dan dosen penguji.
4. **Bapak Budi setyahandana, S.T., M.T.**, selaku Kajur Teknik Mesin.
5. **Bapak Ir. PK Purwadi, M.T.** selaku dosen penguji
6. **Seluruh staf pengajar Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta**, yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis.



7. Bapak dan Ibu staf sekretariat Fakultas Teknik, terima kasih atas dukungan dan kerjasamanya.
8. Mas Roni, Mas Martono yang telah membantu pelaksanaan penelitian dilaboratorium.
9. **Alm. PAPA dan MAMA** tercinta yang telah memberikan dukungan dan doanya.
10. **Alm. Fong ko, Sian ce, phin ce, Lang ce, Moi ce, Cun ko, Hau ko dan Alm. Aha** tercinta yang telah memberikan dukungan moril dan khususnya Lang ce terima kasih banyak telah membiayai selama penulis menjalani studi di bangku kuliah.
11. **Ni Made Merayanti** tercinta yang selalu menemani dan memberi dukungan sampai Tugas Akhir ini selesai.
12. Teman-teman Teknik Mesin angkatan '99.
13. Robert, Priyo dan Jimmy yang telah nungguin saat ujian pendadaran.
14. Semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat meberikan manfaat dan berguna bagi semua pihak.

Yogyakarta, 21 maret 2006

Penulis

Antonius Anen



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL (INGGRIS).....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	v
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA.....	vi
HALAMAN INTISARI.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
II.1 Teknologi Pendingin Energi Surya.....	5
II.2 Koefisien Unjuk Kerja (COP).....	12

BAB III METODE PENELITIAN.....	16
III.1 Bahan Penelitian.....	16
III.2 Peralatan Penelitian .....	17
III.3 Pelaksanaan Penelitian .....	19
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	24
IV.1 Hasil Penelitian.....	24
IV.2 Pengolahan Data.....	34
IV.3 Pembahasan .....	46
BAB V PENUTUP.....	62
V.1 Kesimpulan.....	62
V.2 Saran .....	62
DAFTAR PUSTAKA .....	63

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Keuntungan dan kerugian penggunaan sistem pendingin adsorpsi .....	10
Tabel 4.1. Data peneliti 1 .....	25
Tabel 4.2. Data peneliti 2 .....	26
Tabel 4.3. Data peneliti 3 .....	27
Tabel 4.4. Data peneliti 4 .....	28
Tabel 4.5. Data peneliti 5 .....	29
Tabel 4.6. Data peneliti 6 .....	30
Tabel 4.7. Data peneliti 7 .....	31
Tabel 4.8. Data peneliti 8 .....	32
Tabel 4.9. Data peneliti 9 .....	34
Tabel 4.10. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	37
Tabel 4.11. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	37
Tabel 4.12. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	37
Tabel 4.13. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	38
Tabel 4.14. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	38
Tabel 4.15. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	38
Tabel 4.16. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	9
Tabel 4.17. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	39
Tabel 4.18. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	39
Tabel 4.19. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	40

Tabel 4.20. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	40
Tabel 4.21. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	40
Tabel 4.22. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	41
Tabel 4.23. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	41
Tabel 4.24. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	41
Tabel 4.25. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	42
Tabel 4.26. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	42
Tabel 4.27. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	42
Tabel 4.28. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	43
Tabel 4.29. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	43
Tabel 4.30. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	43
Tabel 4.31. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	44
Tabel 4.32. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	44
Tabel 4.33. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	44
Tabel 4.34. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.....	45
Tabel 4.35. Hasil perhitungan COP tiap waktu.....	45
Tabel 4.36. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu.....	45

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Alur pendingin surya .....	5
Gambar 2.2.a. Proses pemanasan kolektor pada pendingin adsorpsi surya .....	7
Gambar 2.2.b. Proses desorpsi pada pendingin adsorpsi surya.....	7
Gambar 2.2.c. Proses pendinginan kolektor pada pendingin adsorpsi surya .....	8
Gambar 2.2.d. Proses adsorpsi pada pendingin adsorpsi surya.....	8
Gambar 2.3. Siklus termodinamik adsorpsi .....	10
Gambar 3.1. Skema alat .....	17
Gambar 3.2. Flowchart penelitian.....	23
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, V = 50 ml .....	46
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, V = 100 ml. ....	46
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, V = 125 ml .....	47
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, V = 125 ml .....	47
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, V = 125 ml .....	48
Gambar 4.6. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, 200 ml .....	48

Gambar 4.7. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, $V = 200$ ml .....	49
Gambar 4.8. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, 200 ml .....	49
Gambar 4.9. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, $V = 125$ ml .....	50
Gambar .10. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif. ....	51
Gambar .11. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif. ....	51
Gambar .12. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif. ....	52
Gambar .13. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif. ....	52
Gambar 4.14. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.....	53
Gambar 4.15. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.....	53
Gambar 4.16. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.....	54
Gambar 4.17. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.....	54

Gambar 4.18. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.....	55
Gambar 4.19. Grafik hubungan antara tekanan dengan waktu pada data penelitian I.....	56
Gambar 4.20. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	57
Gambar 4.21. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	57
Gambar 4.22. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	58
Gambar 4.23. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	58
Gambar 4.24. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	59
Gambar 4.25. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	59
Gambar 4.26. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	60
Gambar 4.27. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	60
Gambar 4.28. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.....	61



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Dewasa ini pemanfaatan energi surya cukup menjanjikan terutama dinegara-negara berkembang yang umumnya terletak di daerah tropis dengan energi surya yang melimpah. Salah satu pemanfaatan adalah sebagai sumber energi penggerak sistem pendingin tenaga surya. Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang dapat diperbaharui, hal ini berbeda dengan bahan bakar minyak dan gas bumi yang suatu saat nanti akan habis, disamping itu energi surya bisa didapatkan secara cuma-cuma dan tidak merusak lingkungan.

Dinegara yang sedang berkembang seperti di Indonesia, khususnya di daerah pedesaan, kebutuhan akan sistem pendingin untuk pengawetan atau penyimpanan bahan makanan, hasil panen, hasil perikanan, vaksin imunisasi dan keperluan lainnya yang dirasakan semakin meningkat. Sementara sistem pendinginan konvensional yang ada belum tentu bisa dipakai karena tidak semua desa memiliki jaringan listrik sehingga pendinginan tenaga surya sederhana yang dapat bekerja tanpa adanya jaringan listrik merupakan alternatif pemecahan permasalahan kebutuhan sistem pendingin di daerah pedesaan tersebut.

Salah satu teknik pemanfaatan energi surya untuk sistem pendinginan adalah sistem kompresi uap yang digerakkan oleh tenaga listrik yang dihasilkan sel surya. Tetapi investasi sel surya terlalu mahal untuk masyarakat di pedesaan, disamping itu dibutuhkan teknologi tinggi untuk membuat dan merawat peralatan

sel surya yang bagi negara-negara berkembang merupakan masalah tersendiri. Desain pendingin surya untuk negara-negara berkembang haruslah sederhana dan mudah perawatannya dengan kata lain harus dapat dibuat dan diperbaiki industri lokal. Teknik pemanfaatan yang lain adalah adsorpsi, sistem ini digerakkan oleh energi termal temperatur rendah yang mudah didapatkan dengan sebuah kolektor surya. Teknologi kolektor surya jauh lebih sederhana dibandingkan dengan teknologi sel surya dan umumnya dapat dibuat dan diperbaiki di industri lokal. Selain kolektor sebagai salah satu komponen utamanya sistem pendingin adsorpsi membutuhkan bahan refrigeran dan adsorber. Dalam sistem pendingin adsorpsi sering digunakan paduan bahan silika gel-air, zeolit-air dan karbon aktif-metanol.

Dalam beberapa tahun terakhir penggunaan metanol sebagai refrigeran dan karbon aktif sebagai adsorber berhasil dikembangkan untuk membuat pendingin adsorpsi surya sederhana dengan biaya yang tidak mahal tetapi dapat menghasilkan pendinginan tanpa polusi. Selain tidak mahal, metanol dan karbon aktif merupakan bahan refrigeran dan adsorber yang ramah lingkungan.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Salah satu faktor penentu unjuk kerja suatu sistem pendingin adsorpsi surya adalah sifat refrigeran (metanol) dan adsorbernya (karbon aktif). Sifat karbon aktif ditentukan oleh komposisi kimia, ukuran, konduktivitas termal dan sebagainya. Sifat-sifat karbon aktif tersebut umumnya tergantung dari kualitas bahan baku dan proses pembuatannya di pabrik. Umumnya karbon aktif yang banyak beredar di pasaran seperti yang beredar di Yogyakarta tidak mempunyai

data spesifikasi ini. Sifat-sifat adsorber akan menentukan kapasitas pendinginan yang dapat dihasilkan dan menentukan unjuk kerja sistem pendingin secara keseluruhan. Selain kurangnya data spesifikasi karbon aktif yang beredar di pasaran lokal, tulisan mengenai unjuk kerja sistem pendinginan adsorpsi yang menggunakan karbon aktif yang banyak beredar dipasaran lokal pun belum banyak ditemui.

### **I.3 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini akan diuji sistem pendingin adsorpsi dengan menggunakan metanol-karbon aktif yang banyak dijual dipasar lokal khususnya di Yogyakarta dan pada penelitian ini hanya proses adsorpsinya yang akan diteliti. Sifat-sifat metanol-karbon aktif tidak akan diteliti secara khusus tetapi akan dilihat pada unjuk kerjanya. Semakin baik sifat metanol-karbon aktif maka semakin sedikit yang diperlukan dan semakin kecil ukuran sistem pendingin untuk kapasitas pendinginan tertentu.

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Menjajagi kemungkinan penggunaan karbon aktif yang dijual dipasar lokal khususnya di Yogyakarta untuk dipakai pada sistem pendingin adsorpsi energi surya dan menghitung koefisien unjuk kerja (COP) yang dihasilkan.
- b. Membandingkan hasil yang didapat dari penelitian dengan hasil penelitian yang sudah ada.

### **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah agar pembaca mengetahui manfaat yang didapat dari penelitian proses adsorpsi pada sistem pendingin adsorpsi metanol-karbon aktif yang dapat digunakan sebagai pengganti energi listrik. Makalah ini dapat merubah cara pandang pembaca bahwa energi surya yang ada bermanfaat untuk membuat prototipe (dikembangkan).

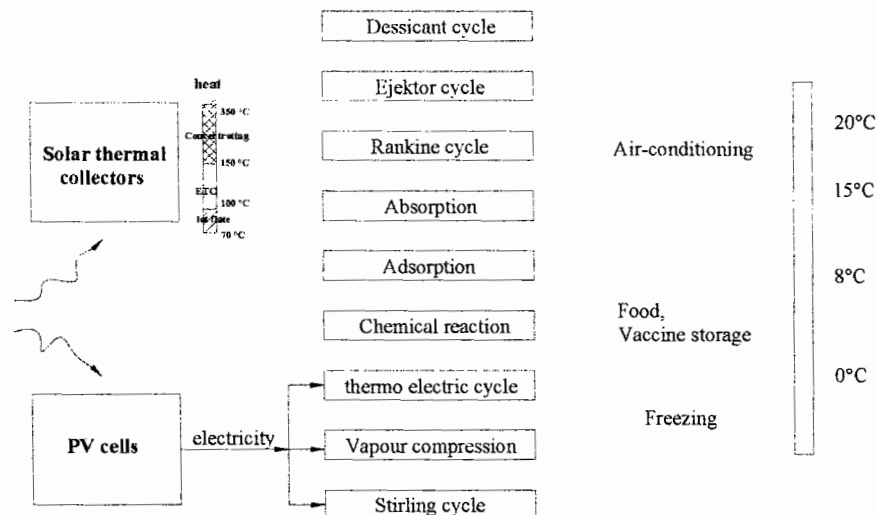
Penulisan makalah ini diharapkan dapat menyumbangkan pengetahuan kepada pembaca bagaimana proses adsorpsi pada sistem pendingin adsorpsi metanol-karbon aktif dapat digunakan sebagai sistem pendingin penyimpanan atau pengawetan bahan makanan, obat-obatan dan keperluan lainnya.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### II.1 Teknologi Pendingin Energi Surya

Dalam penggunaannya untuk menghasilkan efek pendinginan, energi surya dapat dimanfaatkan dengan mengambil panasnya dengan bantuan kolektor termal atau mengubah energinya menjadi energi listrik dengan bantuan sel surya. Dalam penerapannya, penggunaan panas energi surya untuk pendinginan digunakan beberapa cara antaranya untuk proses adsorpsi. Sedangkan yang telah diubah menjadi energi listrik dapat digunakan secara lebih luas. Pada proses adsorpsi untuk metanol-karbon aktif hanya memungkinkan untuk pendinginan sampai dengan suhu  $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan hanya memungkinkan untuk pendinginan bahan makanan.

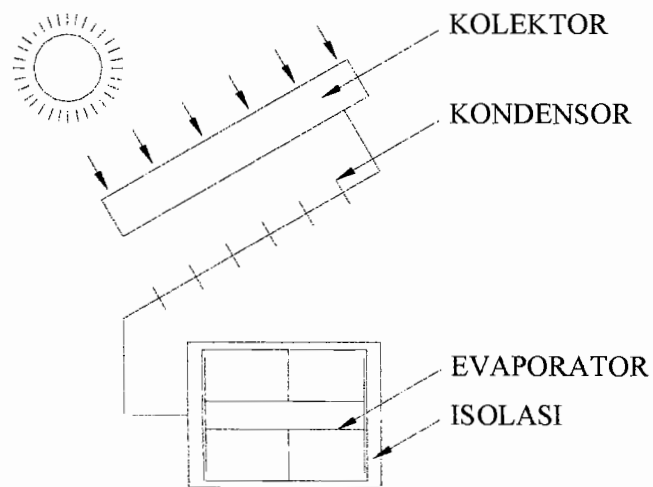


Gambar 2.1. Alur pendingin surya

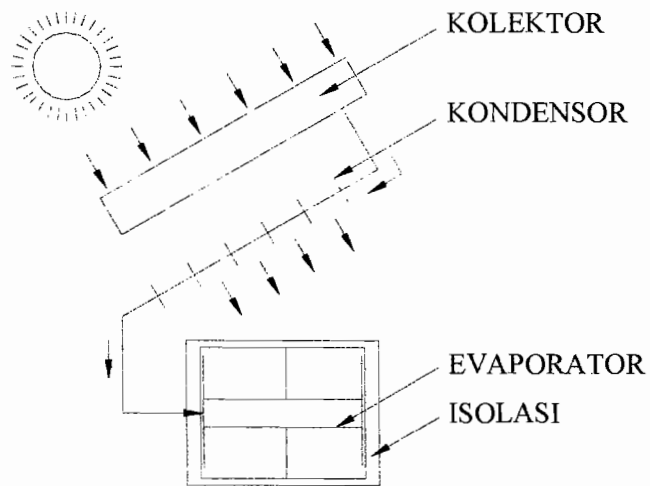
Adsorpsi sendiri terjadi karena adanya gaya tarik atom didalam zat penyerap, dalam hal ini karbon aktif. Dengan membuat vakum sistem, refrigeran (metanol) mampu mendidih pada suhu rendah dan menghasilkan uap. Dengan kondisi zat penyerap yang berongga memungkinkan uap air mengisi rongga-rongga tersebut sampai jenuh.

Agar proses tetap berlangsung kondisi zat penyerap harus tetap dijaga supaya dalam keadaan porus (berpori). Cara untuk menjaga keadaan itu dengan menguapkan uap metanol dengan jalan memanaskannya dengan bantuan kolektor surya. Metanol ini dapat digunakan kembali untuk proses selanjutnya sehingga memungkinkan proses itu berlangsung terus-menerus.

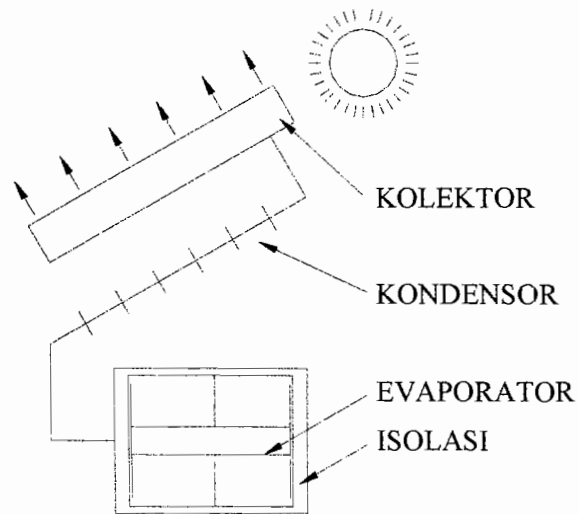
Siklus pendinginan adsorpsi terdiri dari proses adsorpsi (penyerapan) refrigeran (metanol) kedalam adsorber (karbon aktif) daya penyerapan sampai 25% (kg metanol/kg karbon aktif) dan proses pelepasan refrigeran dari adsorber (proses desorpsi). Gambar 2.2.a. sampai 2.2.d. memperlihatkan sistem pendingin adsorpsi surya, yang terdiri dari sebuah kolektor surya, sebuah kondensor dan sebuah evaporator yang diletakkan dalam kotak pendingin berisolasi. Karbon aktif diletakkan didalam kolektor dan metanol pada mulanya ada didalam evaporator. Sepanjang pagi sampai menjelang sore energi surya memanasi kolektor sehingga kolektor menjadi panas sekitar 100-200 °C (Gambar 2.2.a), metanol yang sebelumnya terserap dalam karbon aktif juga menjadi panas sehingga menguap dan dilepaskan oleh karbon aktif, uap metanol mengembun dikondensor dan masuk dalam evaporator (Gambar 2.2.b).



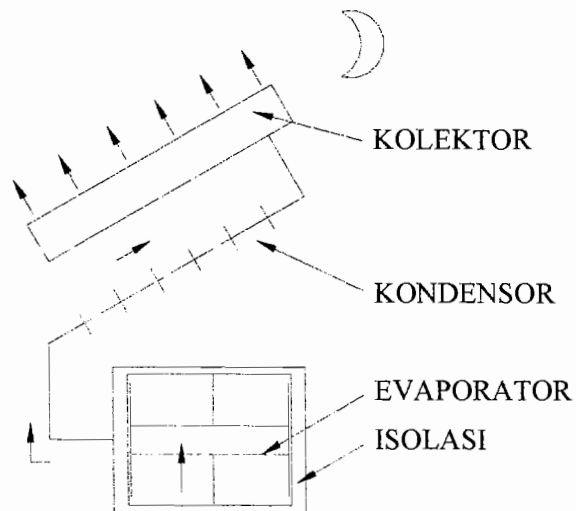
Gambar 2.2.a. Proses pemanasan kolektor pada pendingin adsorpsi surya



Gambar 2.2.b. Proses desorpsi pada pendingin adsorpsi surya



Gambar 2.2.c. Proses pendinginan kolektor pada pendingin adsorpsi surya



Gambar 2.2.d. Proses adsorpsi pada pendingin adsorpsi surya

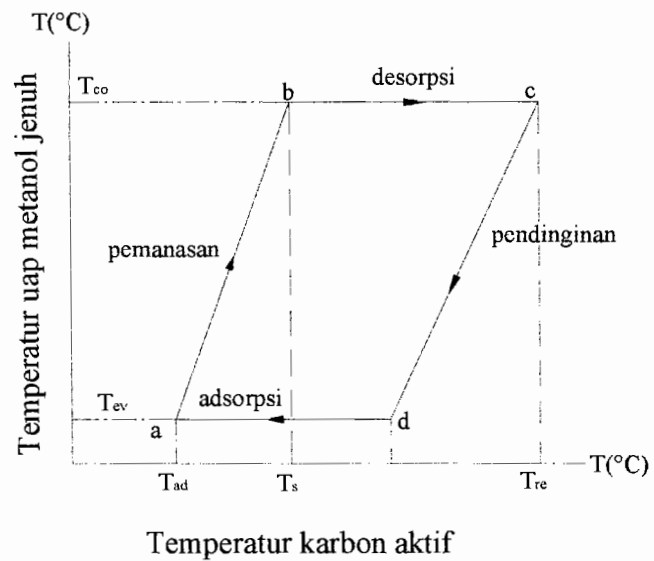
Pada malam hari temperatur kolektor turun sampai ke temperatur sekitar (Gambar 2.2.c) dan karbon aktif menyerap uap metanol dari evaporator. Metanol dalam evaporator menguap dan menyerap panas dari beban pendinginan (bahan



makanan, vaksin dan sebagainya) dalam kotak pendingin (Gambar2.2.d). Karena adsorpsi adalah proses pelepasan panas maka kolektor dapat didinginkan secara efisien pada malam hari. Dari penjelasan di atas, proses pendinginan berlangsung secara intermitten (hanya pada malam hari ) agar sistem dapat menghasilkan efek pendinginan secara kontinu maka dipakai dua buah kolektor, jika yang satu melaksanakan proses adsorpsi maka yang satu lagi melaksanakan proses desorpsi.

Siklus termodinamik pendinginan adsorpsi dapat dijelaskan menggunakan Gambar 2.3. Pada akhir adsorpsi (titik a) karbon aktif bertemperatur  $T_{ad}$ , dan tekanannya sama dengan tekanan uap metanol dalam evaporator ( $P_{ev}$ ). Energi termal surya memanasi kolektor sehingga temperatur karbon aktif dan tekanan uap metanol naik, ketika tekanan mencapai  $P_{co}$  (titik b) temperatur karbon aktif mencapai  $T_s$  pada kondisi ini proses desorpsi dan penguapan mulai terjadi. Desorpsi berlangsung sampai temperatur karbon aktif mencapai maksimum  $T_{re}$  (titik c),  $T_{re}$  bergantung dari banyaknya energi termal surya yang diterima kolektor selama pemanasan.

Pada saat surya mulai tenggelam temperatur kolektor turun dan tekanan uap metanol juga turun menjadi  $P_{ev}$  (titik d), penguapan refrigeran pun mulai terjadi. Proses pendinginan ini terjadi sampai temperatur karbon aktif mencapai  $T_{ad}$  (titik a).



Gambar 2.3. Siklus termodinamik adsorpsi

Adapun keuntungan dan kerugian penggunaan sistem pendinginan adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Keuntungan dan kerugian penggunaan sistem pendingin adsorpsi

Keuntungan	Kerugian
1. Perawatan murah.	1. Dibutuhkan energi panas yang lebih besar.
2. Tidak perlu menggunakan alat mekanik.	2. Kapasitas pendinginan tidak besar.
3. COPnya yang dihasilkan tidak terlalu rendah berkisar 0.3.	3. Konduktifitas termal yang rendah menyebabkan proses pemanasan lama .
4. Cukup menggunakan kolektor surya.	4. Sulit dicapai tekanan yang rendah.
5. Dapat bekerja pada temperatur rendah.	5. Sangat dipengaruhi pada temperatur lingkungan.

Beberapa penelitian tentang pendinginan adsorpsi dengan energi surya yang pernah dilakukan diantara oleh Hinotani (1983) mendapatkan bahwa harga COP sistem pendinginan adsorpsi surya akan mendekati konstan pada temperatur pemanasan 160 °C atau lebih. Grenier (1083) melakukan eksperimen sistem pendingin adsorpsi surya dan mendapatkan harga COP sebesar 0.12. Pons (1986) meneliti pendingin adsorpsi surya tetapi COPnya hanya 0.1. Zhu Zepei (1987) melakukan pengetesan pada sistem pendingin adsorpsi surya dengan menggunakan kolektor plat datar dan kondensor berpendingin udara mendapatkan COP yang rendah sebesar 0.054 modifikasi yang dilakukan dengan memvakumkan sistem dan penggunaan reflektor datar tidak banyak menaikkan harga COP. Kreussler (1999) melakukan penelitian dan hasilnya adalah dengan pemanasan 150 °C didapatkan energi pendinginan sebesar 250 kJ per kilogram adsorbent. Sebuah penyimpanan dengan volume 125 lt dapat didinginkan menggunakan kolektor seluas 3 m<sup>3</sup>. Ramos (2003) mendapatkan COP sebesar 0.25 dengan menggunakan kolektor parabola terpisah dari sistem pendingin sehingga setiap kali diperlukan proses pemvakuman. Sistem yang dipakai Ramos tidak menggunakan kondensor, Ramos juga mendapatkan kapasitas adsorpsi adsorbent mencapai optimal dengan pemanasan tabung adsorbent sebesar 250 °C. Penelitian-penelitian tersebut menggunakan zeolit sebagai adsorbentnya yang diproduksi di Jerman, Slonaft-Czech dan Perancis.

## II.2 Koefisien Unjuk Kerja (COP)

Koefisien unjuk kerja dari sebuah pendingin adsorpsi metanol-karbon aktif dapat dihitung dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Volume metanol,  $V_m$  ( $m^3$ ) dihitung dengan persamaan:

$$V_m = \pi r^2 t_m \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

$\pi$  : 3.14

$r$  : jari-jari lingkaran alas botol evaporator = 0.03258 m

$t_m$  : ketinggian metanol dalam tabung (m)

2. Massa jenis metanol,  $\rho_m$  ( $kg/m^3$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho = 937.911 - 0.058267T - 0.001495T^2 \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

$T_m$  : temperatur metanol pada saat divakum ( $^{\circ}K$ )

3. Massa metanol,  $M_m$  (kg) dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_m = V_m \times \rho \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

$V_m$  : volume metanol ( $m^3$ )

$\rho$  : massa jenis metanol

4. Panas spesifik metanol,  $C_{p_m}$  ( $kJ/kg$   $^{\circ}C$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_{p_m} = 3.9924 - 0.0158T + 0.0000364T^2 \dots \dots \dots (4)$$

dengan:

$T_m$  : temperatur metanol pada saat divakum ( $^{\circ}K$ )

5. Panas laten metanol,  $L$  (kJ/kg) dapat dihitung dengan persamaan:

$$L = 1038.1395 + 2.4329T - 0.006665T^2 \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

$T_m$  : temperatur metanol pada saat divakum ( $^{\circ}K$ )

6. Jumlah metanol yang teradsorpsi saat ini,  $dM_{mi}$  (kg) dihitung dengan

persamaan:

$$dM_{mi} = M_{m1} - M_{m2} \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

$M_{m1}$  : massa metanol sebelumnya (kg)

$M_{m2}$  : massa metanol saat ini (kg)

7. Kandungan metanol dalam karbon aktif,  $X$  (%) dihitung dengan

persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 53)

$$X_i = (X_{i-1} \times M_{ka} / 100 + dM_{mi}) / M_{ka} \times 100 \dots\dots\dots (7)$$

dengan:

$X_i$  : kandungan metanol dalam karbon aktif saat ini (%)

$X_{i-1}$  : kandungan metanol dalam karbon aktif pada pengukuran sebelumnya (%)

$M_{ka}$  : massa karbon aktif (kg)

$dM_{mi}$  : jumlah metanol teradsorpsi saat ini (kg)

8. Perubahan kandungan metanol dalam karbon aktif,  $dX$  (%): selisih kandungan metanol dalam karbon aktif saat ini dengan pengukuran sebelumnya dihitung dengan persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 54)

$$dX = X_i - X_{i-1} \dots \dots \dots (8)$$

9. Panas sensibel botol karbon aktif dan karbon aktif,  $Q_{t,ka}$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan:

$$Q_{t,ka} = (M_t \times C_{p_t} + M_{ka} \times C_{p_{ka}}) \times (T_{ka,i} - T_{ka,i-1}) / \Delta t \dots \dots \dots (9)$$

dengan:

$M_t$  : massa botol karbon aktif (kg),  $M_t = 0.45103$  kg

$C_{p_t}$  : panas spesifik botol karbon aktif (kJ/kg °C),  $C_{p_t} = 0.84$  kJ/kg °C

$M_{ka}$  : massa karbon aktif (kg)

$C_{p_{ka}}$  : panas spesifik karbon aktif (kJ/kg °C),  $C_{p_{ka}} = 0.70$  kJ/kg °C

$T_{ka,i}$  : temperatur karbon aktif saat ini (°C)

$T_{ka,i-1}$  : temperatur karbon aktif pada pengukuran sebelumnya (°C)

$\Delta t$  : lama waktu pengukuran sebelum sampai saat ini (jam)

10. Panas sensibel metanol yang berada dalam karbon aktif,  $Q_m$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 55)

$$Q_m = (M_{ka} \times X_m \times C_{p_m}) \times (T_{ka,i} - T_{ka,i-1}) / \Delta t \dots \dots \dots (10)$$

dengan:

$M_{ka}$  : massa karbon aktif (kg)

$X_m$  : kandungan metanol dalam karbon aktif rata-rata (%)

$$= (X_i + X_{i-1}) / 2$$

$C_{p_m}$  : panas spesifik metanol (kJ/kg °C)

$T_{ka,i}$  : temperatur karbon aktif saat ini (°C)

$T_{ka,i-1}$  : temperatur karbon aktif pada pengukuran sebelumnya ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta t$  : lama waktu pengukuran sebelum sampai saat ini (jam)

11. Panas untuk adsorpsi metanol,  $Q_{ad}$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 56)

$$Q_{ad} = dM_{mi} \times \Delta H / \Delta t \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

$dM_{mi}$  : jumlah metanol yang teradsorpsi (kg)

$\Delta H$  : panas laten adsorpsi (kJ/kg), untuk metanol-karbon aktif,

$$\Delta H = 1500 \text{ kJ/kg}$$

$\Delta t$  : lama waktu pengukuran sebelum sampai saat ini (jam)

12. Panas berguna,  $Q_c$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 58)

$$Q_c = Q_{t,ka} + Q_m + Q_{ad} \dots\dots\dots (12)$$

13. Total energi pendinginan,  $Q_L$  (kj) dihitung dengan persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 59)

$$Q_L = M_{m,RE} \times L \dots\dots\dots (13)$$

dengan:

$M_{m,RE}$  : massa metanol yang teradsorpsi (kg)

$L$  : panas laten metanol (kJ/kg)

14. Unjuk kerja siklus,  $COP_c$  dihitung dengan persamaan:

(Zepei Zhu, 1987, hal : 60)

$$COP_c = Q_L / Q_c \dots\dots\dots (14)$$

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **III.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian pendingin adsorpsi adalah metanol sebagai refrigeran dan karbon aktif sebagai adsorbennya.

Adapun variabel yang divariasikan adalah sebagai berikut:

1. Volume metanol di evaporator 50 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5283 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 100 °C.
2. Volume metanol di evaporator 100 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5337 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 100 °C.
3. Volume metanol di evaporator 125 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5164 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 100 °C.
4. Volume metanol di evaporator 125 ml, massa karbon aktif ditabung 0.52278 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 150 °C.
5. Volume metanol di evaporator 125 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5121 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 200 °C.
6. Volume metanol di evaporator 200 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5128 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 150 °C.
7. Volume metanol di evaporator 200 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5166 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 200 °C.
8. Volume metanol di evaporator 200 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5215 kg dan temperatur pemanasan karbon aktif 250 °C.

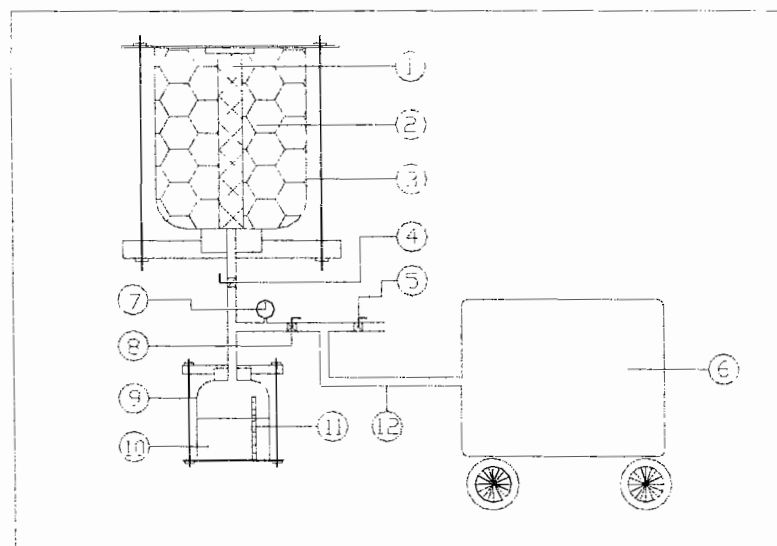


9. Volume metanol di evaporator 125 ml, massa karbon aktif ditabung 0.5198 kg, temperatur pemanasan karbon aktif 150 °C dan pembukaan katub 1 setelah 15 menit.

### III.2 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan adalah:

1. Rakitan alat pendingin yang terdiri dari pompa vakum, botol karbon aktif, botol evaporator, katub jenis bola, selang penghubung dan manometer.
2. Oven untuk mengeringkan karbon aktif.
3. Termometer digital untuk mengukur temperatur metanol dan karbon aktif.
4. *Stopwatch* untuk mengukur waktu penelitian.
5. Siller untuk mengatasi kalau terjadi kebocoran.
6. Timbang digital untuk menimbang massa karbon aktif.
7. Gelas ukur untuk mengukur volume metanol.



Gambar 3.1. Skema alat

Keterangan skema alat:

1. Pipa berlubang (saluran uap metanol)
2. Botol karbon aktif atau botol 1
3. Karbon aktif
4. Katup 1
5. Katup 3
6. Pompa vakum
7. Manometer
8. Katup 2
9. Botol evaporator atau botol 2
10. Metanol
11. Skala ketinggian metanol
12. Selang atau pipa penghubung

Fungsi dari peralatan yang digunakan adalah:

1. Pipa berlubang (saluran uap metanol) adalah pipa didalam karbon aktif yang mempunyai banyak lubang, melalui lubang-lubang ini uap metanol dari evaporator diserap karbon aktif.
2. Botol karbon aktif atau botol 1 berbentuk silinder dan terbuat dari kaca agar prosesnya terlihat.
3. Karbon aktif sebagai adsorber.
4. Katub 1 adalah katub jenis bola, dibuka pada saat proses pemvakuman dan proses pendinginan (adsorpsi).

5. Katub 3 adalah katub jenis bola dibuka pada saat akhir proses penelitian untuk memasukan udara luar.
6. Pompa vakum dengan jenis rotari berfungsi untuk memvakumkan seluruh sistem pendinginan.
7. Manometer, digunakan untuk mengukur tekanan dan kevakuman sistem pendinginan.
8. Katub 2 adalah katub jenis bola, dibuka pada saat proses pemvakuman (pada awal penelitian) setelah sistem mencapai kevakuman yang maksimal, katub 2 ditutup dan pompa vakum dimatikan.
9. Botol evaporator atau botol 2 terbuat dari botol kaca sehingga proses pendidihan dan pendinginan metanol dapat terlihat.
10. Metanol sebagai refrigeran.
11. Skala ketinggian metanol digunakan untuk melihat perubahan, ketinggian metanol dalam evaporator sehingga massa metanol yang teradsorpsi dapat diketahui dengan membaca perubahan ketinggian metanol di botol evaporator. Karena total massa metanol dalam alat diketahui maka jumlah massa air yang terserap (teradsorpsi) dapat dihitung.
12. Selang atau pipa untuk menghubungkan pompa vakum dengan alat.

### **III.3 Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian dilaksanakan melalui tiga tahapan yaitu:

1. Tahapan pertama adalah tahap persiapan, meliputi persiapan penulis dengan membaca literatur tentang pendingin adsorpsi dan pengumpulan

data yang mendukung penelitian, mencari bahan-bahan yang diperlukan untuk membuat alat percobaan dan merangkainya sampai alat itu tidak mengalami kebocoran.

2. Tahapan kedua adalah pengambilan data. Sebelum pengambilan data dimulai, lakukan pengecekan kebocoran pada alat sampai tidak ada kebocoran lagi. Jika tidak ada kebocoran lagi pengambilan data dilakukan setiap 10 menit. Data yang diambil digunakan untuk menganalisa COP dari karbon aktif.
3. Tahap ketiga adalah tahap pembahasan data. Dari data-data yang sudah dianalisa kemudian diolah menjadi kesimpulan dan penutup.

Pada penelitian ini langkah-langkah yang harus dilakukan adalah:

1. Karbon aktif dipanaskan dalam oven dengan temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam kemudian didinginkan.
2. Mengisi karbon aktif pada botol 1 dengan massa 0.5283 kg dan mengisi metanol pada botol 2 dengan volume 50 ml lalu pasang alat penelitian
3. Katup 1 dan katub 2 dalam posisi membuka lalu ukur temperatur awal metanol-karbon aktif dan tekanan awalnya.
4. Pompa vakum kita hidupkan sampai kevakuman maksimum dan cek tekanan yang dihasilkan vakum sampai tekanan tidak turun lagi.
5. Ukur tekanan dan temperatur metanol-karbon aktif setelah itu tutup katub 1, lalu catat lamanya waktu divakum.

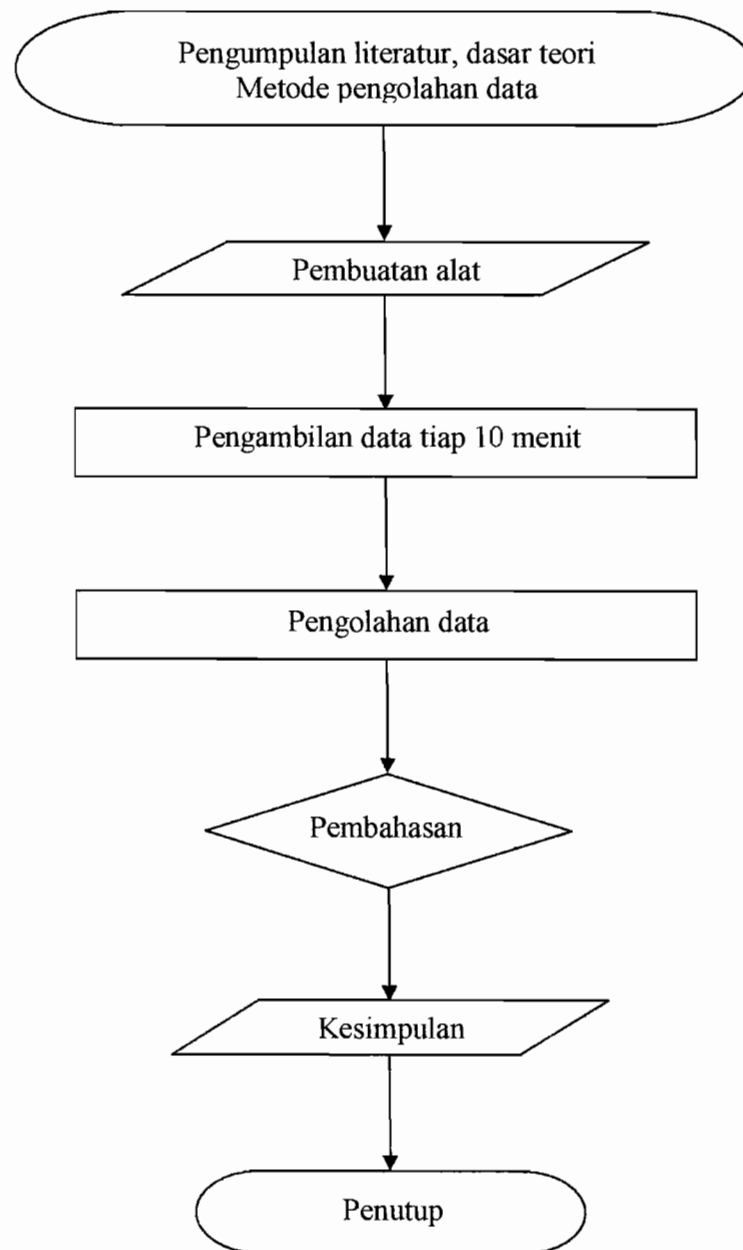
6. Setelah beberapa saat kita tutup katup 2, pompa vakum kita matikan setelah itu ukur tekanan dan temperatur metanol-karbon aktif lalu catat waktunya.
7. Perhatikan tekanan yang dihasilkan pompa vakum tunggu sampai tekanan stabil ukur temperatur metanol-karbon aktif, tekanan dan ketinggian metanol.
8. Katub 1 kita buka, ukur temperatur metanol-karbon aktif, tekanan dan ketinggian metanol setiap 10 menit sampai mendapatkan 5 data.
9. Setelah pengambilan data selesai, lepas alat penelitian lalu timbang massa karbon aktif dan ukur volume metanol.
10. Masukkan karbon aktif kedalam oven lalu panasi dengan temperatur tertentu selama 60 menit sesudah itu timbang massa karbon aktif.
11. Ulangi percobaan diatas dengan volume metanol yang berbeda dan pemanasan karbon aktif yang berbeda sampai beberapa variasi.

Adapun variabel yang diukur pada langkah-langkah penelitian yaitu:

1. Temperatur metanol,  $T_m$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).
2. Temperatur karbon aktif,  $T_{ka}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).
3. Tekanan,  $P$  (bar).
4. Waktu,  $\Delta t$  (menit).
5. ketinggian metanol,  $t_m$  (mm)

Pembahasan akan lebih mudah dilakukan dengan membuat perhitungan dan grafik-grafik berikut:

1. Perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif.
2. Perhitungan COP tiap waktu.
3. Perhitungan COP dari waktu ke waktu.
4. Grafik hubungan COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif.
5. Grafik hubungan COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.
6. Grafik hubungan tekanan dengan waktu.
7. Grafik hubungan temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.



Gambar 3.2. Flowchart penelitian

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Hasil Penelitian

Setelah melakukan serangkaian penelitian dengan melakukan variasi volume metanol, dan pemanasan karbon aktif maka diperoleh data-data sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada hari Senin tanggal 26 September 2005

Data penelitian	: 1
Volume awal metanol	: 50 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.5283 kg
Temperatur awal metanol	: 28.5 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 31.3 °C
Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 100 °C
Volume akhir metanol	: 28 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.5347 kg
Temperatur metanol pada saat divakum	: -2.1 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 31 °C
Tekanan saat divakum	: -0.94 bar
Lamanya waktu divakum	: 14.30' menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: -1.1 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 31 °C





Tekanan sesudah divakum : -0.93 bar  
 Lamanya waktu sesudah divakum : 1.30' menit

Tabel 4.1. Data penelitian 1

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{karbon aktif}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	2.2	31.0	-0.91	13
10	8.5	32.7	-0.91	12
20	12.1	35.1	-0.90	12
30	13.8	37.1	-0.90	12
40	15.7	37.3	-0.89	11
50	16.4	37.8	-0.88	11

2. Penelitian dilakukan pada hari Jumat tanggal 30 September 2005

Data penelitian : 2  
 Volume awal metanol : 100 ml  
 Massa awal karbon aktif : 0.5337 kg  
 Temperatur awal metanol : 28.3  $^{\circ}\text{C}$   
 Temperatur awal karbon aktif : 33.1  $^{\circ}\text{C}$   
 Tekanan awal : 0 bar  
 Temperatur pemanasan karbon aktif : 100  $^{\circ}\text{C}$   
 Volume akhir metanol : 73 ml  
 Berat akhir karbon aktif : 0.544 kg  
 Temperatur metanol pada saat divakum : -3.5  $^{\circ}\text{C}$   
 Temperatur karbon aktif saat divakum : 33.6  $^{\circ}\text{C}$   
 Tekanan saat divakum : -0.92 bar  
 Lamanya waktu divakum : 16 menit

Temperatur metanol sesudah divakum : -3.3 °C  
 Temperatur karbon aktif sesudah divakum : 33.6 °C  
 Tekanan sesudah divakum : -0.91 bar  
 Lamanya waktu sesudah divakum : 1.20' menit

Tabel 4.2. data penelitian 2

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	-0.3	34.2	-0.91	26.0
10	6.7	37.2	-0.91	25.0
20	10.5	39.5	-0.90	24.5
30	13.0	40.4	-0.90	24.0
40	14.5	40.7	-0.895	23.0
50	15.9	40.9	-0.89	22.5

### 3. Penelitian dilakukan pada hari Sabtu tanggal 1 oktober 2005

Data penelitian : 3  
 Volume awal metanol : 125 ml  
 Massa awal karbon aktif : 0.5164 kg  
 Temperatur awal metanol : 27.4 °C  
 Temperatur awal karbon aktif : 31.2 °C  
 Tekanan awal : 0 bar  
 Temperatur pemanasan karbon aktif : 100 °C  
 Volume akhir metanol : 92 ml  
 Berat akhir karbon aktif : 0.5276 kg  
 Temperatur metanol pada saat divakum : -2.5 °C  
 Temperatur karbon aktif saat divakum : 30.3 °C

Tekanan saat divakum	: -0.94 bar
Lamanya waktu divakum	: 16 menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: -2.7 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 30.4 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.94 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1.08' menit

Tabel 4.3. data penelitian 3

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	-2.0	30.4	-0.930	32.0
10	4.3	32.0	-0.920	31.5
20	7.9	35.4	-0.910	31.0
30	10.0	37.8	-0.905	30.5
40	11.8	39.4	-0.900	30.0
50	13.1	40.2	-0.900	29.5

## 4. Penelitian dilakukan pada hari Senin tanggal 10 Oktober 2005

Data penelitian	: 4
Volume awal metanol	: 125 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.52278 kg
Temperatur awal metanol	: 28.5 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 31.3 °C
Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 150 °C
Volume akhir metanol	: 98 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.5289 kg

Temperatur metanol pada saat divakum	: -2.9 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 29.4 °C
Tekanan saat divakum	: -0.93 bar
Lamanya waktu divakum	: 16.16' menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: -2.9 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 29.4 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.92 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1.44' menit

Tabel 4.4. data penelitian 4

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	0.5	29.4	-0.91	33.0
10	6.3	30.7	-0.91	32.5
20	11.0	34.3	-0.90	32.0
30	14.1	36.0	-0.89	31.5
40	15.1	37.5	-0.88	31.0
50	16.6	38.4	-0.87	31.0

5. Penelitian dilakukan pada hari Jumat tanggal 14 Oktober 2005

Data penelitian	: 5
Volume awal metanol	: 125 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.5121 kg
Temperatur awal metanol	: 26.5 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 27 °C
Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 200 °C

Volume akhir metanol	: 98 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.5195 kg
Temperatur metanol pada saat divakum	: -4.2 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 26.7 °C
Tekanan saat divakum	: -0.935 bar
Lamanya waktu divakum	: 12.05' menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: -5.3 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 26.8 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.93 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1.25' menit

Tabel 4.5. data penelitian 5

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	-3.0	27.0	-0.920	33.0
10	7.0	28.4	-0.910	32.5
20	10.6	30.6	-0.900	32.5
30	12.6	33.3	-0.900	32.0
40	14.2	35.1	-0.890	31.5
50	15.6	35.9	-0.885	31.0

## 6. Penelitian dilakukan pada hari Senin tanggal 17 Oktober 2005

Data penelitian	: 6
Volume awal metanol	: 200 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.5128 kg
Temperatur awal metanol	: 26.5 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 27.1 °C

Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 150 °C
Volume akhir metanol	: 167 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.5226 kg
Temperatur metanol pada saat divakum	: -0.4 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 28.1 °C
Tekanan saat divakum	: -0.94 bar
Lamanya waktu divakum	: 22 menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: -0.6 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 28.3 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.94 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1.45' menit

Tabel 4.6. data penelitian 6

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	0.0	28.3	-0.910	53.5
10	4.6	30.0	-0.910	52.5
20	9.0	35.1	-0.905	52.0
30	11.4	37.6	-0.900	51.5
40	13.5	39.3	-0.900	51.0
50	14.6	41.0	-0.890	51.0

## 7. Penelitian dilakukan pada hari Jumat tanggal 21 Oktober 2005

Data penelitian	: 7
Volume awal metanol	: 200 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.5166 kg

Temperatur awal metanol	: 26.7 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 26.8 °C
Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 200 °C
Volume akhir metanol	: 165 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.5246 kg
Temperatur metanol pada saat divakum	: 2.9 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 30.2 °C
Tekanan saat divakum	: -0.93 bar
Lamanya waktu divakum	: 22 menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: 2.7 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 29.7 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.91 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1.25' menit

Tabel 4.7. data penelitian 7

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	2.5	28.2	-0.910	53.0
10	7.0	31.2	-0.910	52.0
20	10.3	33.4	-0.905	51.5
30	13.7	35.0	-0.900	51.0
40	14.5	36.0	-0.895	51.0
50	16.0	36.5	-0.890	50.5

8. Penelitian dilakukan pada hari Sabtu tanggal 22 Oktober 2005

Data penelitian : 8

Volume awal metanol	: 200 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.5215 kg
Temperatur awal metanol	: 28 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 32.3 °C
Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 250 °C
Volume akhir metanol	: 160 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.5473 kg
Temperatur metanol pada saat divakum	: 2.2 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 33.7 °C
Tekanan saat divakum	: -0.93 bar
Lamanya waktu divakum	: 25 menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: 2.2 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 33.7 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.905 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1 menit

Tabel 4.8. data penelitian 8

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ (°C)	$T_{\text{karbon aktif}}$ (°C)	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	4.0	33.6	-0.910	53.0
10	5.2	36.0	-0.910	52.0
20	9.0	38.7	-0.905	51.0
30	10.1	40.2	-0.900	50.5
40	12.0	41.1	-0.900	50.0
50	13.0	41.5	-0.900	49.5



## 9. Penelitian dilakukan pada hari Senin tanggal 24 Oktober 2005

Data penelitian	: 9
Volume awal metanol	: 125 ml
Massa awal karbon aktif	: 0.5198 kg
Temperatur awal metanol	: 26.8 °C
Temperatur awal karbon aktif	: 29.7 °C
Tekanan awal	: 0 bar
Temperatur pemanasan karbon aktif	: 150 °C
Volume akhir metanol	: 89 ml
Berat akhir karbon aktif	: 0.531 kg
Pada pembukaan katup 1 setelah, $t = 15$ menit	
Temperatur metanol pada saat divakum	: 1.4 °C
Temperatur karbon aktif saat divakum	: 28.4 °C
Tekanan saat divakum	: -0.94 bar
Lamanya waktu divakum	: 24 menit
Temperatur metanol sesudah divakum	: 1.5 °C
Temperatur karbon aktif sesudah divakum	: 28.6 °C
Tekanan sesudah divakum	: -0.92 bar
Lamanya waktu sesudah divakum	: 1 menit

Tabel 4.9. data penelitian 9

$\Delta t$ (menit)	$T_{\text{metanol}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{karbon aktif}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	P (bar)	$t_{\text{metanol}}$ (mm)
0	1.9	28.5	-0.910	32.0
10	7.8	32.1	-0.910	30.5
20	9.3	35.7	-0.910	30.0
30	10.6	37.9	-0.905	29.5
40	12.0	38.8	-0.900	29.0
50	12.8	39.6	-0.900	28.5

## IV.2 Pengolahan Data

Data-data hasil penelitian diatas dapat digunakan untuk perhitungan unjuk kerja dari sebuah pendingin adsorpsi metanol-karbon aktif dengan menggunakan persamaan yang tertulis didepan.

1. Volume metanol,  $V_m$  ( $\text{m}^3$ ) dihitung dengan persamaan (1)

$$V_{m1} = 3.14 \times (0.03258)^2 \times 0.013$$

$$V_{m1} = 0.0000433 \text{ m}^3$$

$$V_{m2} = 3.14 \times (0.03258)^2 \times 0.012$$

$$V_{m2} = 0.00004 \text{ m}^3$$

2. Massa jenis metanol,  $\rho_m$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) dapat dihitung dengan persamaan (2)

$$\rho = 937.911 - (0.058267 \times 270.9) - 0.001495 \times (270.9)^2$$

$$\rho = 812.413 \text{ kg}/\text{m}^3$$

3. Massa metanol,  $M_m$  (kg) dapat dihitung dengan persamaan (3)

$$M_{m1} = 0.0000433 \times 812.413$$

$$M_{m1} = 0.0352 \text{ kg}$$

$$M_{m2} = 0.00004 \times 812.4132$$

$$M_{m2} = 0.0325 \text{ kg}$$

4. Panas spesifik metanol,  $C_{p_m}$  (kJ/kg °C) dapat dihitung dengan persamaan (4)

$$C_{p_m} = 3.9924 - (0.0158 \times 270.9) + 0.0000364 \times (270.9)^2$$

$$C_{p_m} = 2.383 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

5. Panas laten metanol,  $L$  (kJ/kg) dapat dihitung dengan persamaan (5)

$$L = 1038.1395 + (2.4329 \times 270.9) - 0.006665 \times (270.9)^2$$

$$L = 1208.089 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

6. Jumlah metanol yang teradsorpsi saat ini,  $dM_{mi}$  (kg) dihitung dengan persamaan (6)

$$dM_{mi} = 0.0352 - 0.0325$$

$$dM_{mi} = 0.0027 \text{ kg}$$

7. Kandungan metanol dalam karbon aktif,  $X$  (%) dihitung dengan persamaan (7)

$$X_{i-1} = (0 \times 0.5283 / 100 + 0) / 0.5283 \times 100 = 0 \%$$

$$X_i = (0 \times 0.5283 / 100 + 0.002708) / 0.5283 \times 100 = 0.5125 \%$$

8. Perubahan kandungan metanol dalam karbon aktif,  $dX$  (%) dihitung dengan persamaan (8)

$$dX = 0.5125 - 0$$

$$dX = 0.5125 \%$$

9. Panas sensibel tabung karbon aktif dan karbon aktif,  $Q_{t,ka}$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan (9)

$$Q_{t,ka} = (0.45103 \times 0.84 + 0.5283 \times 0.7) \times (32.7 - 31) / 0.1667$$

$$Q_{t,ka} = 7.6365 \text{ kJ/h}$$

10. Panas sensibel metanol yang berada dalam karbon aktif,  $Q_m$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan (10)

$$Q_m = (0.5283 \times ((0.51254 + 0)/2) \times 2.3835) \times (32.7 - 31) / 0.1667$$

$$Q_m = 3.2914 \text{ kJ/h}$$

11. Panas untuk adsorpsi metanol,  $Q_{ad}$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan (11)

$$Q_{ad} = 0.0027 \times 1500 / 0.1667$$

$$Q_{ad} = 24.3698 \text{ kJ/h}$$

12. Panas berguna,  $Q_c$  (kJ/h) dihitung dengan persamaan (12)

$$Q_c = 7.6365 + 3.2914 + 24.3698$$

$$Q_c = 35.2977 \text{ kJ/h}$$

13. Total energi pendinginan,  $Q_L$  (kJ) dihitung dengan persamaan (13)

$$Q_L = 0.0027 \times 1208.089$$

$$Q_L = 3.2712 \text{ kJ}$$

14. Unjuk kerja siklus, COP dihitung dengan persamaan (14)

$$COP = 3.2712 / 35.2977$$

$$COP = 0.0927$$

Hasil perhitung keseluruhan dapat dilihat pada tabel perhitungan.

## 1. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 1 (tabel 4.1)

Tabel 4.10. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0027	0.0027	0.0000	0.5125	0.5125
2	0.0000	0.0027	0.5125	0.5125	0.0000
3	0.0000	0.0027	0.5125	0.5125	0.0000
4	0.0027	0.0054	0.5125	1.0251	0.5125
5	0.0000	0.0054	1.0251	1.0251	0.0000

Tabel 4.11. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	7.6365	3.2914	24.3698	35.2977	3.2712	0.0927
2	10.7809	9.2935	0.0000	20.0744	0.0000	0.0000
3	8.9841	7.7446	0.0000	16.7287	0.0000	0.0000
4	0.8984	1.1617	24.3698	26.4299	3.2712	0.1238
5	2.2460	3.8723	0.0000	6.1183	0.0000	0.0000

Dengan COP rata-rata = 0.0433

Tabel 4.12. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	7.6365	3.2914	24.3698	35.2977	3.2712	0.0927
2	18.4174	12.5849	24.3698	55.3721	3.2712	0.0591
3	27.4015	20.3295	24.3698	72.1008	3.2712	0.0454
4	28.2999	21.4912	48.7395	98.5307	6.5424	0.0664
5	30.5459	25.3635	48.7395	104.6490	6.5424	0.0625

Dengan COP rata-rata = 0.0652

## 2. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 2 (tabel 4.2)

Tabel 4.13. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0027	0.0027	0.0000	0.5081	0.5081
2	0.0014	0.0041	0.5081	0.7622	0.2541
3	0.0014	0.0054	0.7622	1.0162	0.2541
4	0.0027	0.0081	1.0162	1.5243	0.5081
5	0.0014	0.0095	1.5243	1.7784	0.2541

Tabel 4.14. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	13.5442	5.8039	24.4061	43.7542	3.2805	0.0750
2	10.3839	11.1241	12.2031	33.7111	1.6403	0.0487
3	4.0633	6.0941	12.2031	22.3604	1.6403	0.0734
4	1.3544	2.9019	24.4061	28.6625	3.2805	0.1145
5	0.9029	2.5150	12.2031	15.6210	1.6403	0.1050

Dengan COP rata-rata = 0.0833

Tabel 4.15. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	13.5442	5.8039	24.4061	43.7542	3.2805	0.0750
2	23.9281	16.9280	36.6092	77.4653	4.9208	0.0635
3	27.9913	23.0221	48.8123	99.8257	6.5610	0.0657
4	29.3458	25.9240	73.2184	128.4882	9.8416	0.0766
5	30.2487	28.4390	85.4215	144.1092	11.4818	0.0797

Dengan COP rata-rata = 0.0721

## 3. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 3 (tabel 4.3)

Tabel 4.16. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0014	0.0014	0.0000	0.2623	0.2623
2	0.0014	0.0027	0.2623	0.5246	0.2623
3	0.0014	0.0041	0.5246	0.7869	0.2623
4	0.0014	0.0054	0.7869	1.0492	0.2623
5	0.0014	0.0068	1.0492	1.3114	0.2623

Tabel 4.17. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	7.1073	1.5486	12.1901	20.8460	1.6369	0.0785
2	15.1030	9.8721	12.1901	37.1652	1.6369	0.0440
3	10.6610	11.6142	12.1901	34.4653	1.6369	0.0475
4	7.1073	10.8399	12.1901	30.1373	1.6369	0.0543
5	3.5537	6.9685	12.1901	22.7123	1.6369	0.0721

Dengan COP rata-rata = 0.0593

Tabel 4.18. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	7.1073	1.5486	12.1901	20.8460	1.6369	0.0785
2	22.2104	11.4206	24.3802	58.0112	3.2739	0.0564
3	32.8713	23.0349	36.5703	92.4764	4.9108	0.0531
4	39.9786	33.8748	48.7603	122.6138	6.5478	0.0534
5	43.5323	40.8433	60.9504	145.3260	8.1847	0.0563

Dengan COP rata-rata = 0.0596

## 4. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 4 (tabel 4.4)

Tabel 4.19. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0014	0.0014	0.0000	0.2592	0.2592
2	0.0014	0.0027	0.2592	0.5184	0.2592
3	0.0014	0.0041	0.5184	0.7776	0.2592
4	0.0014	0.0054	0.7776	1.0368	0.2592
5	0.0000	0.0054	1.0368	1.0368	0.0000

Tabel 4.20. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	5.8095	1.2579	12.1953	19.2627	1.6383	0.0850
2	16.0879	10.4641	12.1953	38.7473	1.6383	0.0423
3	7.5971	8.2356	12.1953	28.0280	1.6383	0.0585
4	6.7033	10.1734	12.1953	29.0720	1.6383	0.0564
5	4.0220	6.9761	0.0000	10.9981	0.0000	0.0000

Dengan COP rata-rata = 0.0484

Tabel 4.21. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	5.8095	1.2579	12.1953	19.2627	1.6383	0.0850
2	21.8974	11.7220	24.3906	58.0101	3.2765	0.0565
3	29.4945	19.9577	36.5859	86.0381	4.9148	0.0571
4	36.1978	30.1311	48.7811	115.1101	6.5531	0.0569
5	40.2198	37.1072	48.7811	126.1081	6.5531	0.0520

Dengan COP rata-rata = 0.0615



## 5. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 5 (tabel 4.5)

Tabel 4.22. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}(\text{kg})$	$dM_m(\text{kg})$	$X_{i-1}(\%)$	$X_i(\%)$	$dX(\%)$
1	0.0014	0.0014	0.0000	0.2650	0.2650
2	0.0000	0.0014	0.2650	0.2650	0.0000
3	0.0014	0.0027	0.2650	0.5299	0.2650
4	0.0014	0.0041	0.5299	0.7949	0.2650
5	0.0014	0.0054	0.7949	1.0599	0.2650

Tabel 4.23. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}(\text{kJ/h})$	$Q_m(\text{kJ/h})$	$Q_{ad}(\text{kJ/h})$	$Q_c(\text{kJ/h})$	$Q_L(\text{kJ})$	COP
1	6.1936	1.3537	12.2121	19.7595	1.6426	0.0831
2	9.7328	4.2546	0.0000	13.9874	0.0000	0.0000
3	11.9448	7.8323	12.2121	31.9893	1.6426	0.0513
4	7.9632	8.7026	12.2121	28.8779	1.6426	0.0569
5	3.5392	5.4149	12.2121	21.1663	1.6426	0.0776

Dengan COP rata-rata = 0.0538

Tabel 4.24. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}(\text{kJ/h})$	$Q_m(\text{kJ/h})$	$Q_{ad}(\text{kJ/h})$	$Q_c(\text{kJ/h})$	$Q_L(\text{kJ})$	COP
1	6.1936	1.3537	12.2121	19.7595	1.6426	0.0831
2	15.9264	5.6083	12.2121	33.7469	1.6426	0.0487
3	27.8713	13.4406	24.4243	65.7361	3.2852	0.0500
4	35.8345	22.1432	36.6364	94.6140	4.9277	0.0521
5	39.3737	27.5581	48.8485	115.7803	6.5703	0.0567

Dengan COP rata-rata = 0.0581

## 6. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 6 (tabel 4.6)

Tabel 4.25. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0027	0.0027	0.0000	0.5271	0.5271
2	0.0014	0.0041	0.5271	0.7906	0.2635
3	0.0014	0.0054	0.7906	1.0541	0.2635
4	0.0014	0.0068	1.0541	1.3177	0.2635
5	0.0000	0.0068	1.3177	1.3177	0.0000

Tabel 4.26. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	7.5258	3.2948	24.3254	35.1460	3.2598	0.0927
2	22.5775	24.7109	12.1627	59.4510	1.6299	0.0274
3	11.0674	16.9584	12.1627	40.1885	1.6299	0.0406
4	7.5258	14.8265	12.1627	34.5150	1.6299	0.0472
5	7.5258	16.4739	0.0000	23.9997	0.0000	0.0000

Dengan COP rata-rata = 0.0416

Tabel 4.27. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	7.5258	3.2948	24.3254	35.1460	3.2598	0.0927
2	30.1033	28.0057	36.4880	94.5970	4.8897	0.0517
3	41.1706	44.9641	48.6507	134.7855	6.5196	0.0484
4	48.6965	59.7906	60.8134	169.3005	8.1494	0.0481
5	56.2223	76.2645	60.8134	193.3002	8.1494	0.0422

Dengan COP rata-rata = 0.0566

## 7. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 7 (tabel 4.7)

Tabel 4.28. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0027	0.0027	0.0000	0.5213	0.5213
2	0.0013	0.0040	0.5213	0.7820	0.2607
3	0.0013	0.0054	0.7820	1.0426	0.2607
4	0.0000	0.0054	1.0426	1.0426	0.0000
5	0.0013	0.0067	1.0426	1.3033	0.2607

Tabel 4.29. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	13.3287	5.8269	24.2384	43.3940	3.2373	0.0746
2	9.7744	10.6826	12.1192	32.5762	1.6186	0.0497
3	7.1087	10.8768	12.1192	30.1047	1.6186	0.0538
4	4.4429	7.7691	0.0000	12.2121	0.0000	0.0000
5	2.2215	4.3701	12.1192	18.7108	1.6186	0.0865

Dengan COP rata-rata = 0.0529

Tabel 4.30. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	13.3287	5.8269	24.2384	43.3940	3.2373	0.0746
2	23.1031	16.5094	36.3576	75.9702	4.8559	0.0639
3	30.2118	27.3862	48.4768	106.0749	6.4745	0.0610
4	34.6547	35.1554	48.4768	118.2869	6.4745	0.0547
5	36.8762	39.5255	60.5960	136.9977	8.0931	0.0591

Dengan COP rata-rata = 0.0627

## 8. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 8 (tabel 4.8)

Tabel 4.31. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}(\text{kg})$	$dM_m(\text{kg})$	$X_{i-1}(\%)$	$X_i(\%)$	$dX(\%)$
1	0.0027	0.0027	0.0000	0.5169	0.5169
2	0.0027	0.0054	0.5169	1.0339	0.5169
3	0.0013	0.0067	1.0339	1.2923	0.2585
4	0.0013	0.0081	1.2923	1.5508	0.2585
5	0.0013	0.0094	1.5508	1.8093	0.2585

Tabel 4.32. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}(\text{kJ/h})$	$Q_m(\text{kJ/h})$	$Q_{ad}(\text{kJ/h})$	$Q_c(\text{kJ/h})$	$Q_L(\text{kJ})$	COP
1	10.7124	4.6586	24.2622	39.6332	3.2434	0.0818
2	12.0514	15.7229	24.2622	52.0366	3.2434	0.0623
3	6.6952	13.1024	12.1311	31.9288	1.6217	0.0508
4	4.0171	9.6084	12.1311	25.7567	1.6217	0.0630
5	1.7854	5.0469	12.1311	18.9634	1.6217	0.0855

Dengan COP rata-rata = 0.0687

Tabel 4.33. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}(\text{kJ/h})$	$Q_m(\text{kJ/h})$	$Q_{ad}(\text{kJ/h})$	$Q_c(\text{kJ/h})$	$Q_L(\text{kJ})$	COP
1	10.7124	4.6586	24.2622	39.6332	3.2434	0.0818
2	22.7638	20.3815	48.5244	91.6698	6.4869	0.0708
3	29.4590	33.4840	60.6556	123.5986	8.1086	0.0656
4	33.4762	43.0924	72.7867	149.3553	9.7303	0.0651
5	35.2616	48.1393	84.9178	168.3186	11.3521	0.0674

Dengan COP rata-rata = 0.0702

## 9. Tabel hasil perhitungan untuk data penelitian 9 (tabel 4.9)

Tabel 4.34. Hasil perhitungan kandungan metanol dalam karbon aktif

No	$dM_{mi}$ (kg)	$dM_m$ (kg)	$X_{i-1}$ (%)	$X_i$ (%)	$dX$ (%)
1	0.0040	0.0040	0.0000	0.7784	0.7784
2	0.0013	0.0054	0.7784	1.0379	0.2595
3	0.0013	0.0067	1.0379	1.2974	0.2595
4	0.0013	0.0081	1.2974	1.5569	0.2595
5	0.0013	0.0094	1.5569	1.8164	0.2595

Tabel 4.35. Hasil perhitungan COP tiap waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	16.0429	10.4778	36.4171	62.9377	4.8713	0.0774
2	16.0429	24.4481	12.1390	52.6300	1.6238	0.0309
3	9.8040	19.2092	12.1390	41.1522	1.6238	0.0395
4	4.0107	9.6046	12.1390	25.7544	1.6238	0.0630
5	3.5651	10.0897	12.1390	25.7938	1.6238	0.0630

Dengan COP rata-rata = 0.0547

Tabel 4.36. Hasil perhitungan COP dari waktu ke waktu

No	$Q_{t,ka}$ (kJ/h)	$Q_m$ (kJ/h)	$Q_{ad}$ (kJ/h)	$Q_c$ (kJ/h)	$Q_L$ (kJ)	COP
1	16.0429	10.4778	36.4171	62.9377	4.8713	0.0774
2	32.0857	34.9259	48.5561	115.5677	6.4951	0.0562
3	41.8897	54.1351	60.6951	156.7200	8.1189	0.0518
4	45.9004	63.7398	72.8342	182.4743	9.7427	0.0534
5	49.4655	73.8295	84.9732	208.2681	11.3664	0.0546

Dengan COP rata-rata = 0.0587

Pada data penelitian 1-9, COP tiap waktu rata-rata = 0.0562

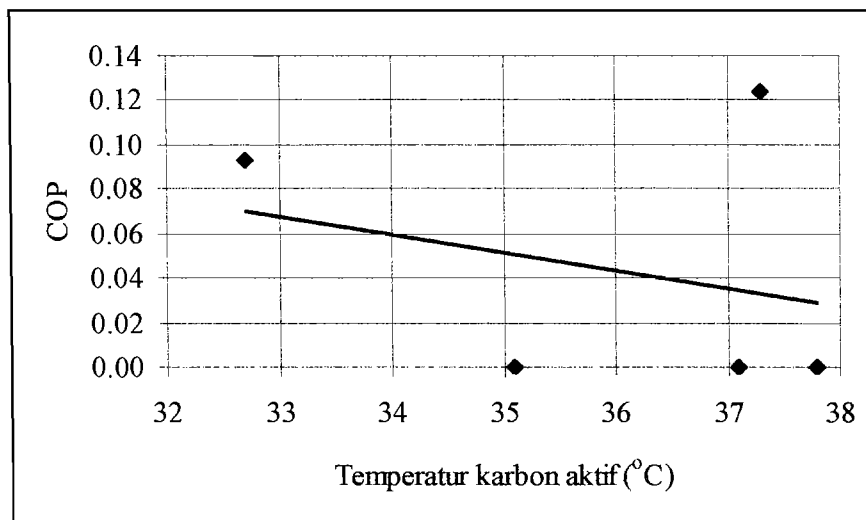
Pada data penelitian 1-9, COP dari waktu ke waktu rata-rata = 0.0627

### IV.3 Pembahasan

Dari perhitungan yang telah dilakukan data-data yang dihasilkan dapat dibuat grafik seperti dibawah ini:

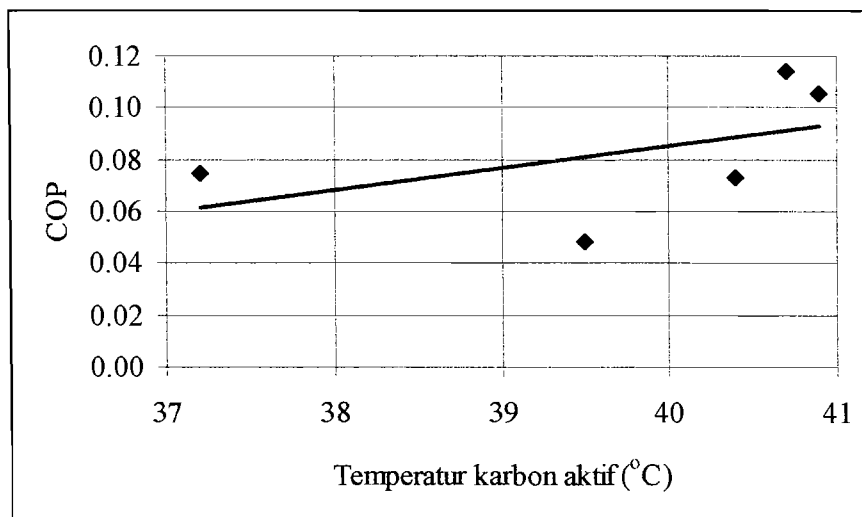
#### 1. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif

##### a. Data penelitian 1 (tabel perhitungan 4.11)



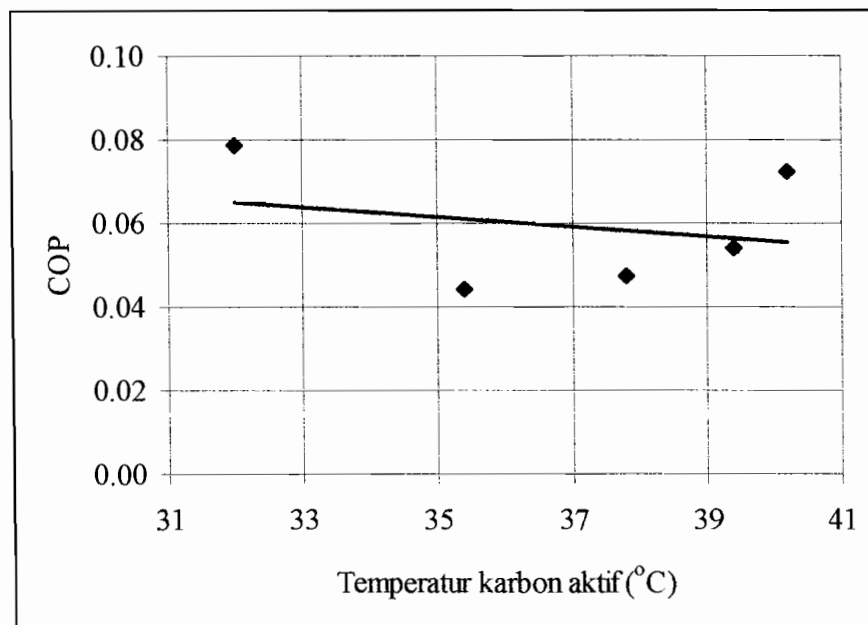
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 50$  ml

##### b. Data penelitian 2 (tabel perhitungan 4.14)



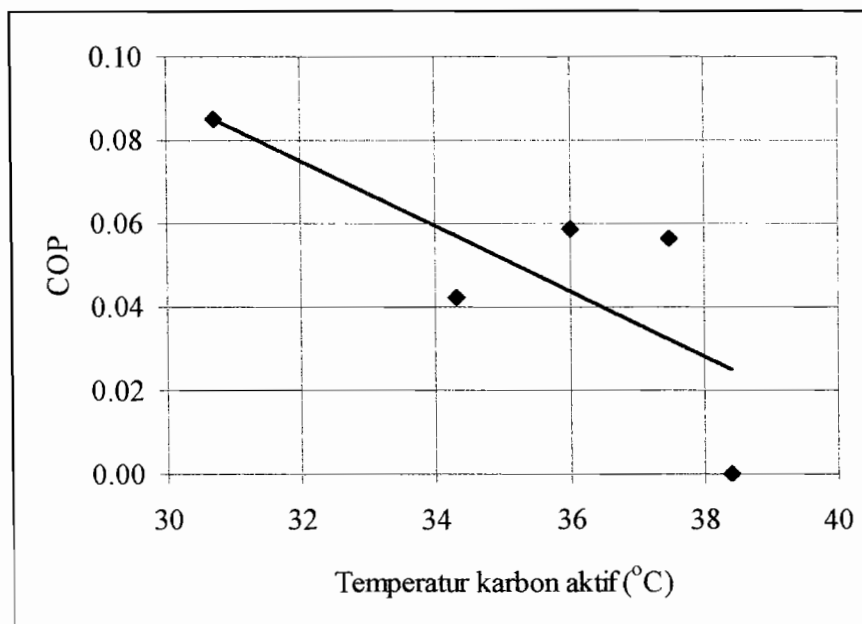
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 100$  ml

c. Data penelitian 3 (tabel perhitungan 4.17)



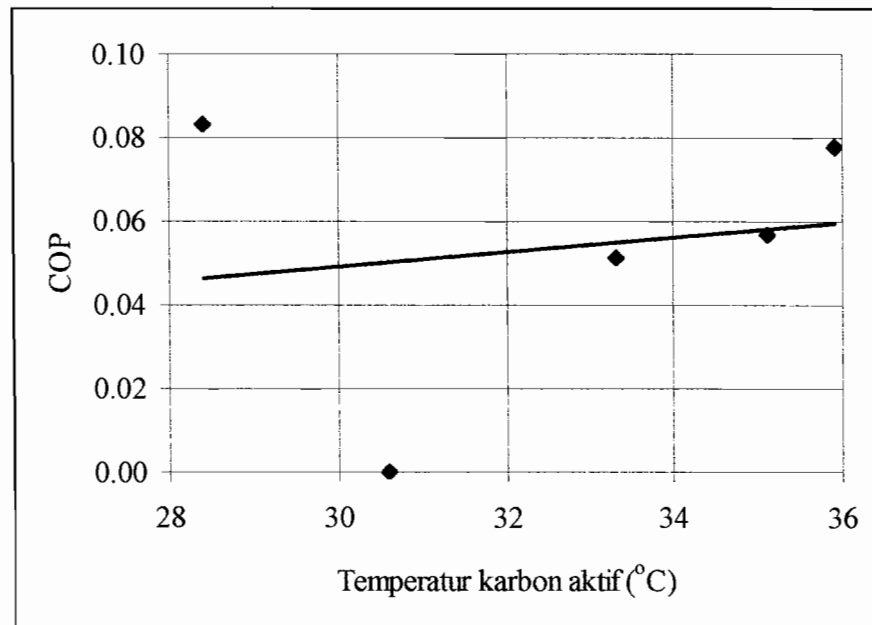
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 125$  ml

d. Data penelitian 4 (tabel perhitungan 4.20)



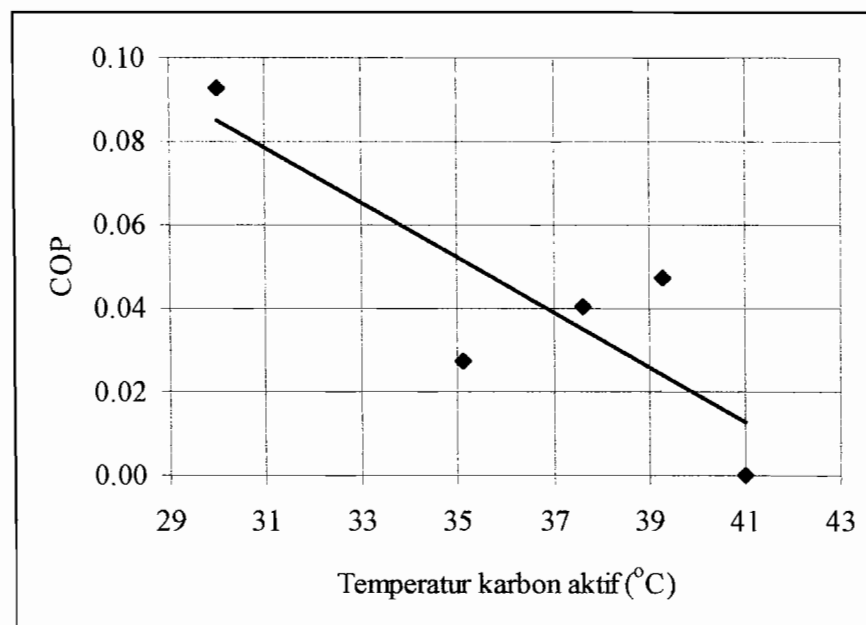
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 125$  ml

e. Data penelitian 5 (tabel perhitungan 4.23)



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 125$  ml

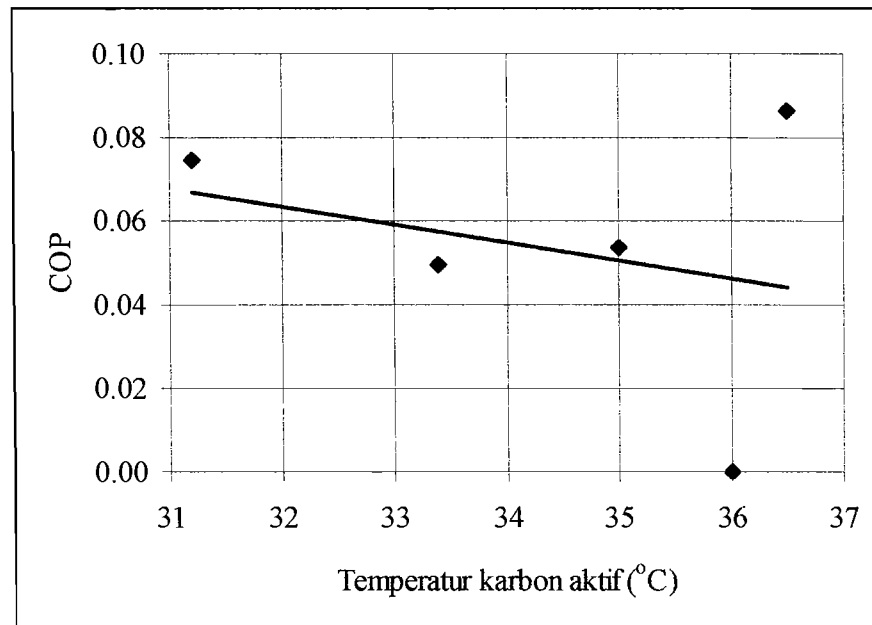
f. Data penelitian 6 (tabel perhitungan 4.26)



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif, 200 ml

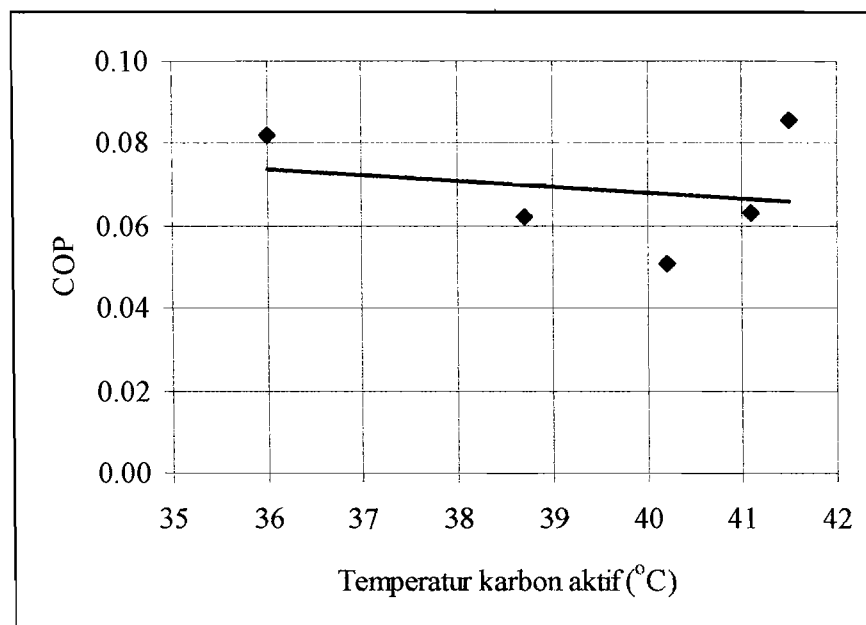


g. Data penelitian 7 (tabel perhitungan 4.29)

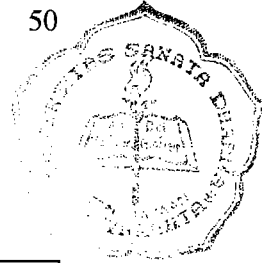


Gambar 4.7. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 200$  ml

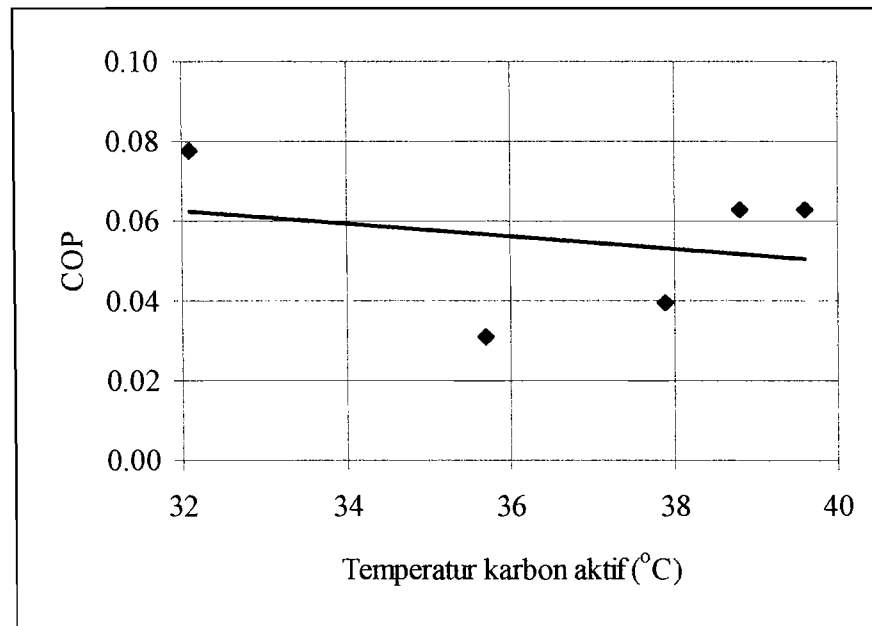
h. Data penelitian 8 (tabel perhitungan 4.32)



Gambar 4.8. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 200$  ml



i. Data penelitian 9 (tabel perhitungan 4.35)

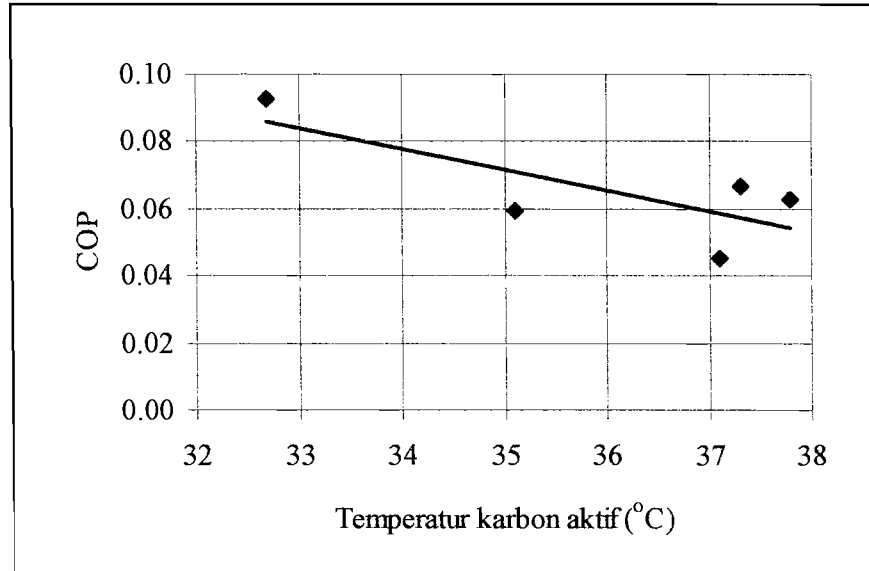


Gambar 4.9. Grafik hubungan antara COP tiap waktu dengan temperatur karbon aktif,  $V = 125$  ml

Berdasarkan Gambar 4.1. sampai dengan Gambar 4.9. dapat diketahui bahwa kecenderungan temperatur karbon aktif yang bertambah besar akan menghasilkan unjuk kerja siklus (COP) yang kecil. Kemampuan karbon aktif dalam menyerap uap metanol dari tabung refrigeran semakin berkurang dan semakin lama karbon aktif akan menjadi jenuh, hal inilah yang mempengaruhi nilai COP. Dari perhitungan COP tiap waktu dapat diketahui bahwa sifat dan kualitas bahan baku karbon aktif mekanis kurang baik sebagai adsorber karena hanya mampu menghasilkan nilai COP tiap waktu rata-rata 0.0562

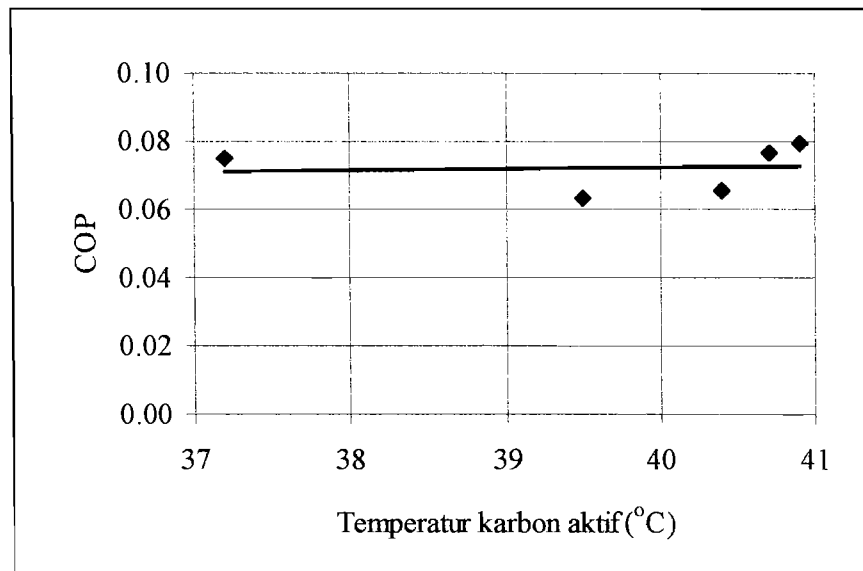
2. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif

- a. Data penelitian 1 (tabel perhitungan 4.12)



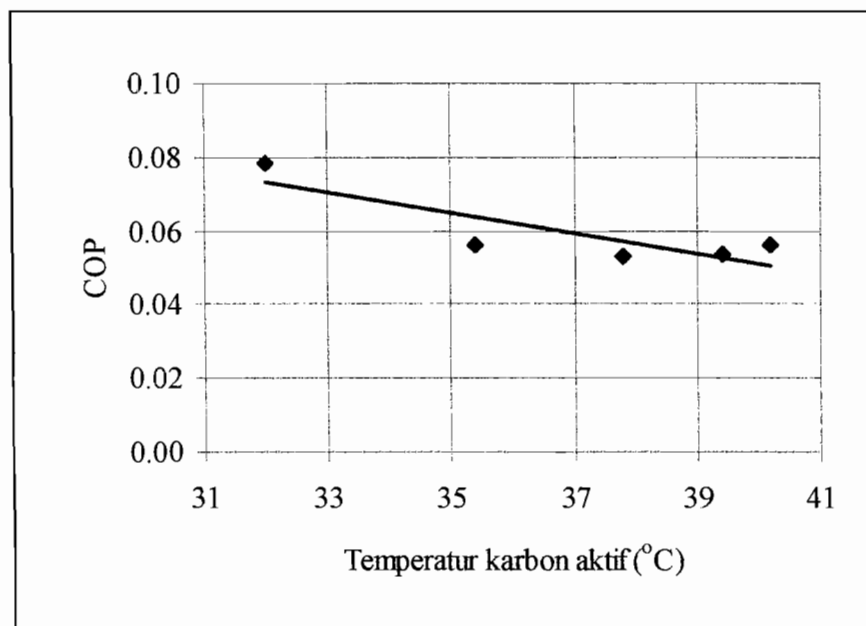
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

- b. Data penelitian 2 (tabel perhitungan 4.15)



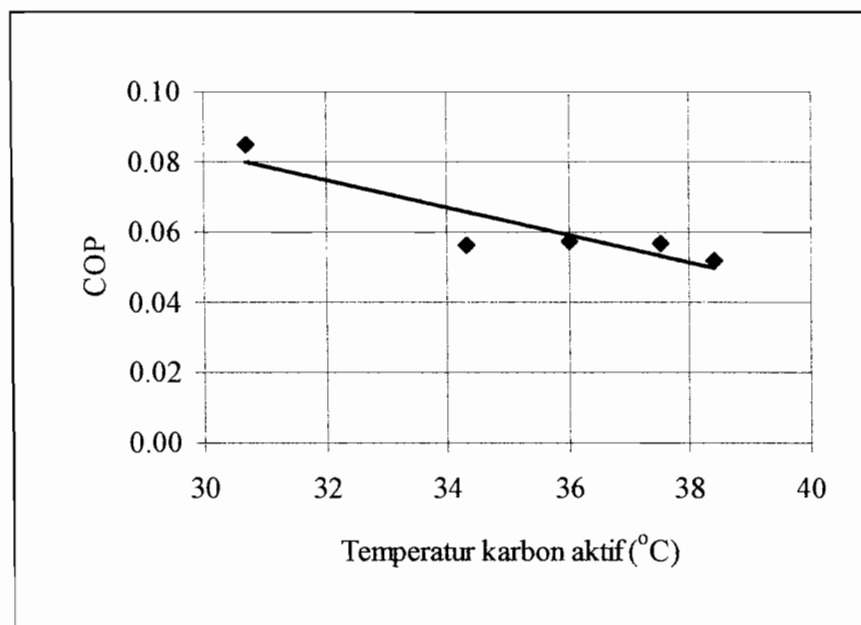
Gambar 4.11. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

c. Data penelitian 3(tabel perhitungan 4.18)



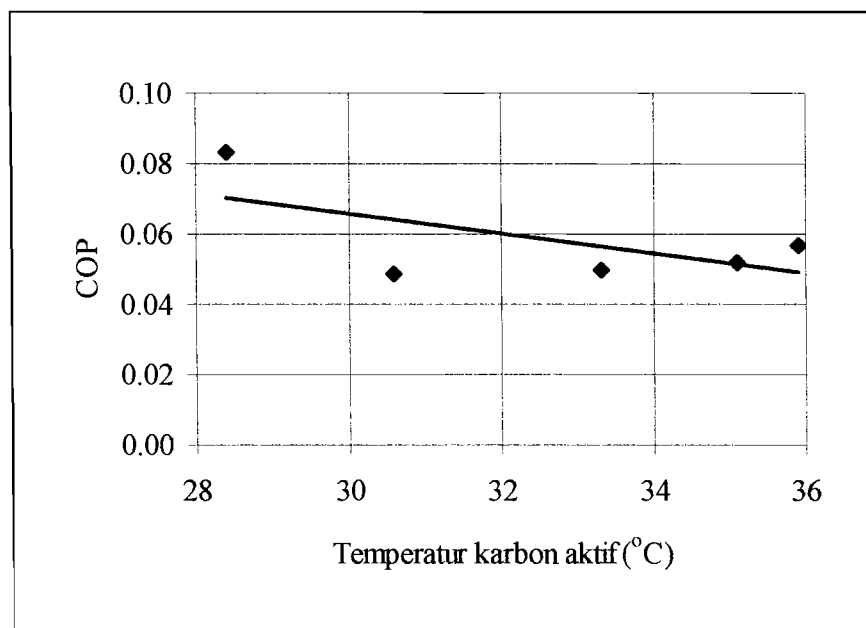
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

d. Data penelitian 4(tabel perhitungan 4.21)



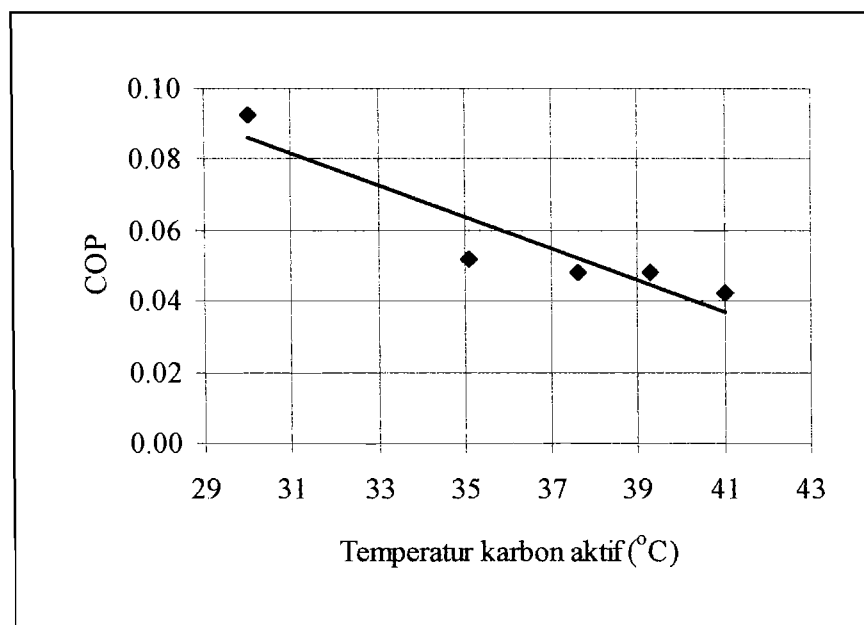
Gambar 4.13. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

e. Data penelitian 5(tabel perhitungan 4.24)



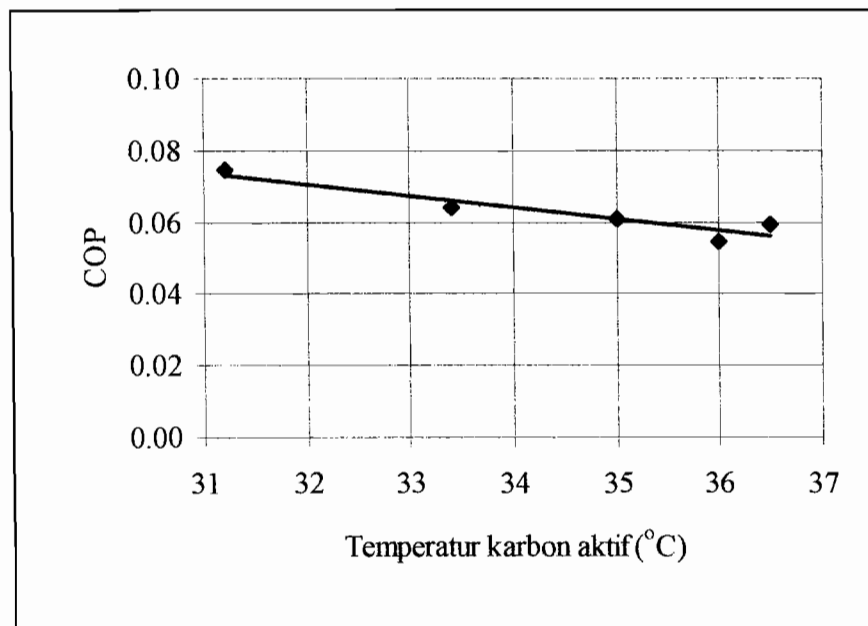
Gambar 4.14. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

f. Data penelitian 6(tabel perhitungan 4.27)



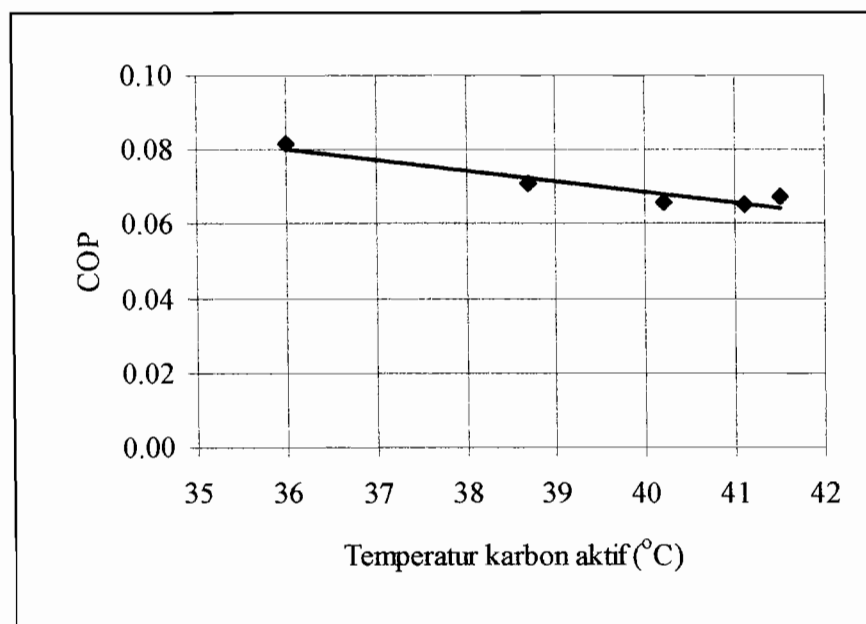
Gambar 4.15. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

g. Data penelitian 7(tabel perhitungan 4.30)



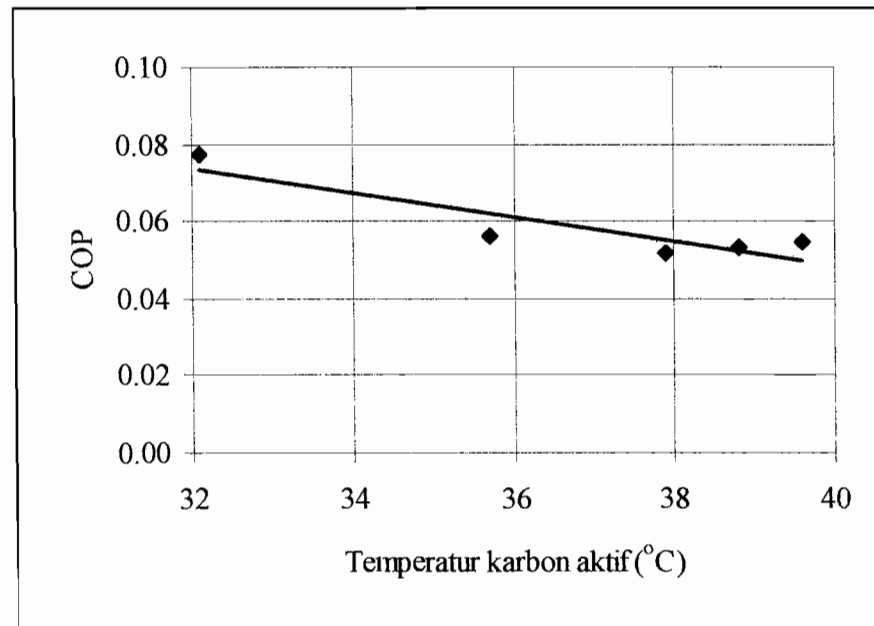
Gambar 4.16. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

h. Data penelitian 8(tabel perhitungan 4.33)



Gambar 4.17. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

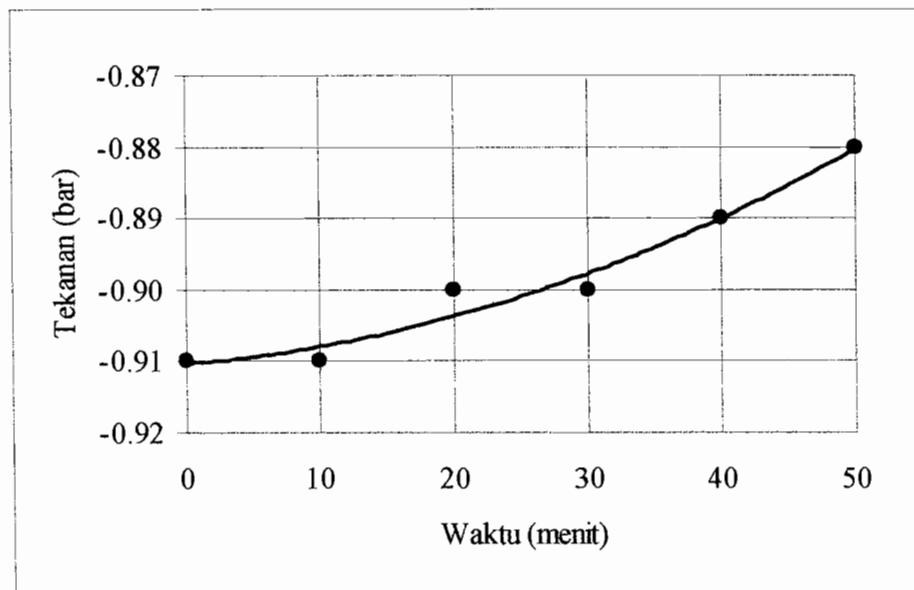
i. Data penelitian 9(tabel perhitungan 4.36)



Gambar 4.18. Grafik hubungan antara COP dari waktu ke waktu dengan temperatur karbon aktif.

Berdasarkan Gambar 4.10. sampai dengan Gambar 4.18. dapat diketahui bahwa semakin besar temperatur karbon aktif maka COP yang dihasilkan semakin kecil. COP maksimal dihasilkan pada saat temperatur karbon aktif 30 °C dan semakin lama nilai COP akan cenderung turun karena karbon aktif sudah jenuh menyerap uap metanol. Dari perhitungan COP dari waktu ke waktu dapat diketahui bahwa sifat dan kualitas bahan baku karbon aktif mekanis kurang baik sebagai adsorber karena hanya mampu menghasilkan nilai COP dari waktu ke waktu rata-rata 0.0627

### 3. Grafik hubungan antara tekanan dalam sistem dengan waktu



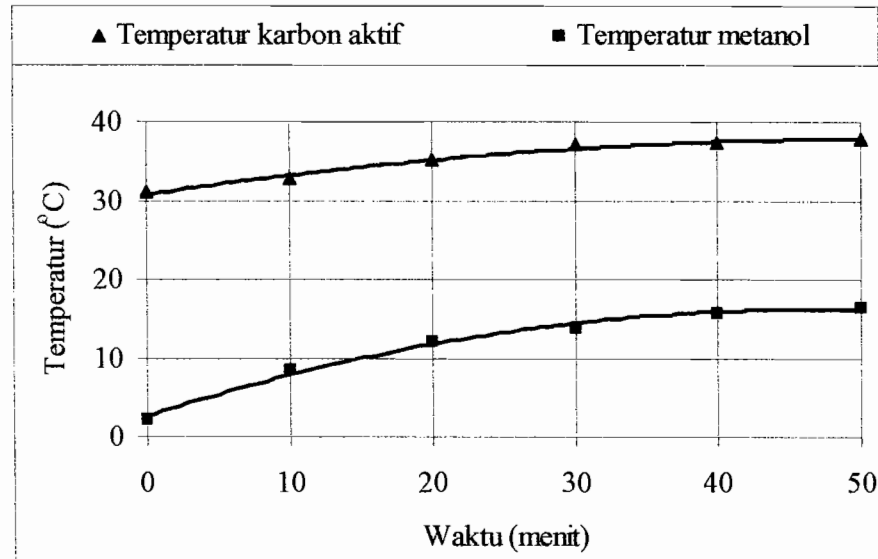
Gambar 4.19. Grafik hubungan antara tekanan dengan waktu pada data penelitian 1.

Dari Gambar 4.19. dapat diketahui bahwa tekanan dalam sistem dari waktu ke waktu semakin bertambah besar. Itu dikarenakan penyerapan uap metanol oleh karbon aktif tidak berjalan dengan baik dan ada kemungkinan kebocoran pada alat. Sehingga dapat diketahui bahwa sifat dan kualitas karbon aktif kurang memenuhi standar jika digunakan sebagai adsorber.



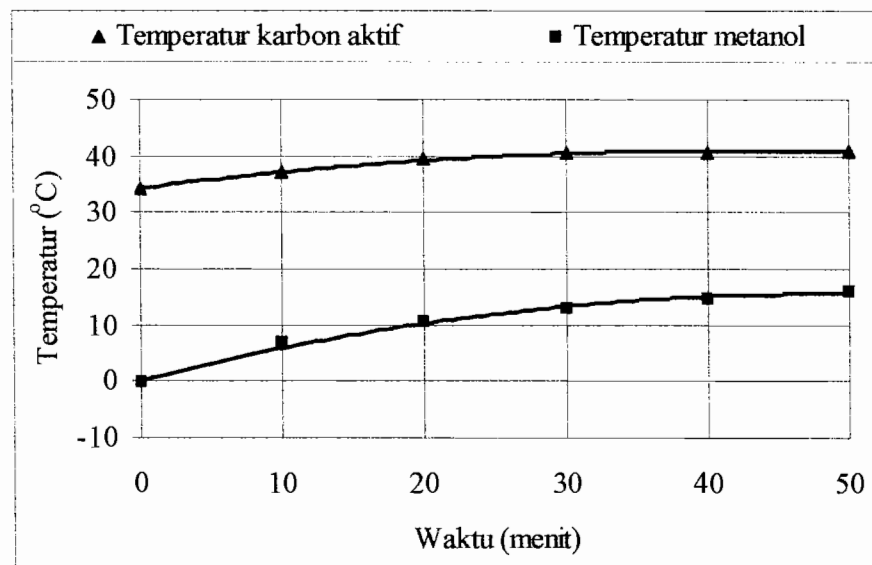
4. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu

a. Data penelitian 1 (tabel 4.1)



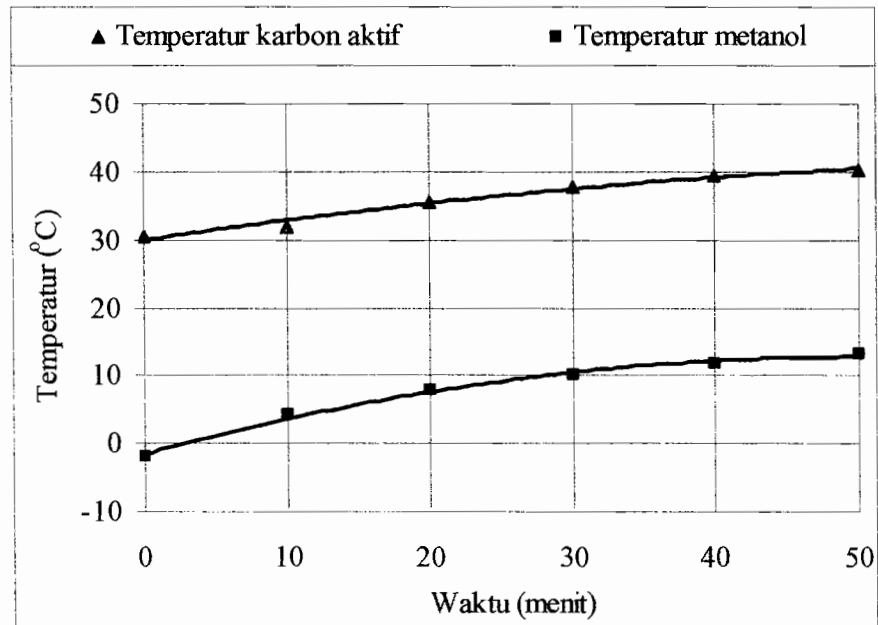
Gambar 4.20. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

b. Data penelitian 2 (tabel 4.2)



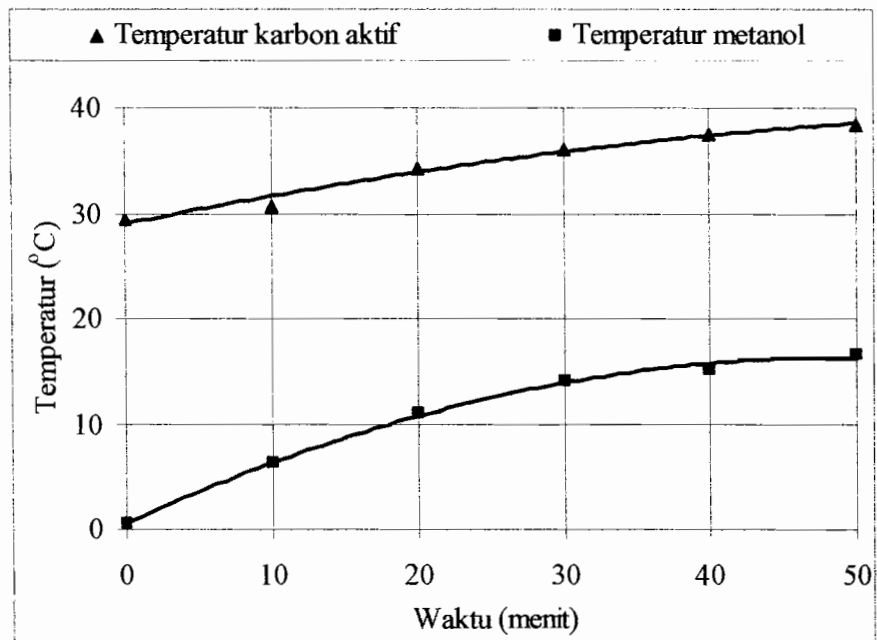
Gambar 4.21. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

c. Data penelitian 3 (tabel 4.3)



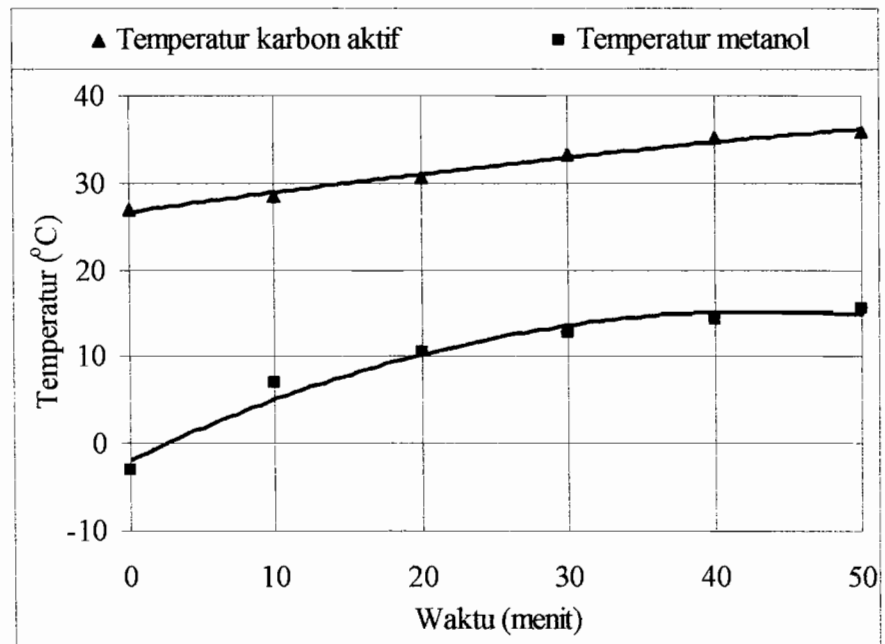
Gambar 4.22. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

d. Data penelitian 4 (tabel 4.4)



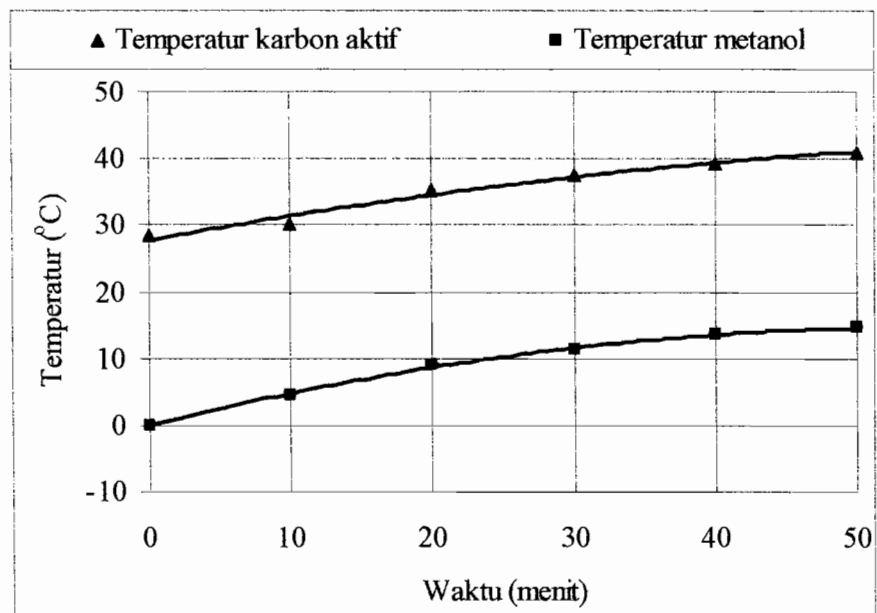
Gambar 4.23. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

e. Data penelitian 5 (tabel 4.5)



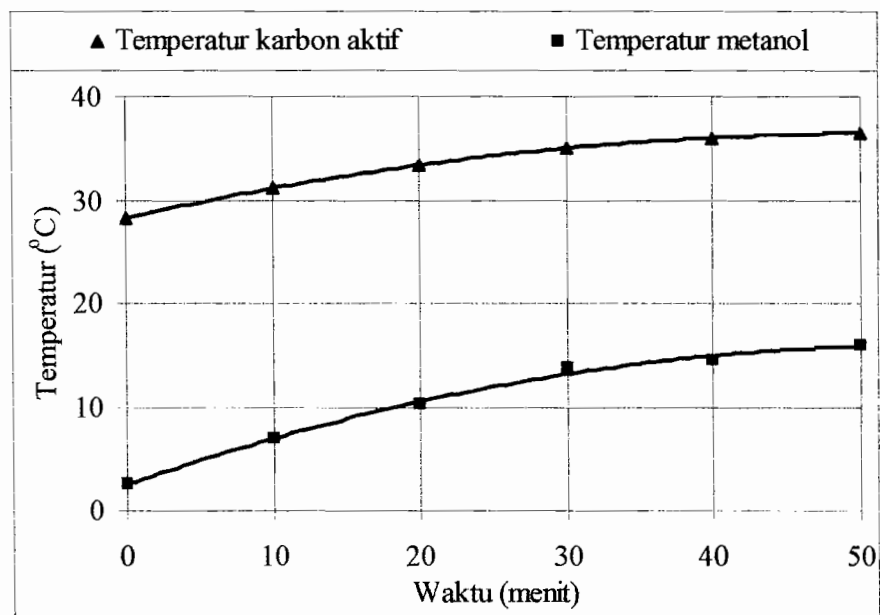
Gambar 4.24. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

f. Data penelitian 6 (tabel 4.6)



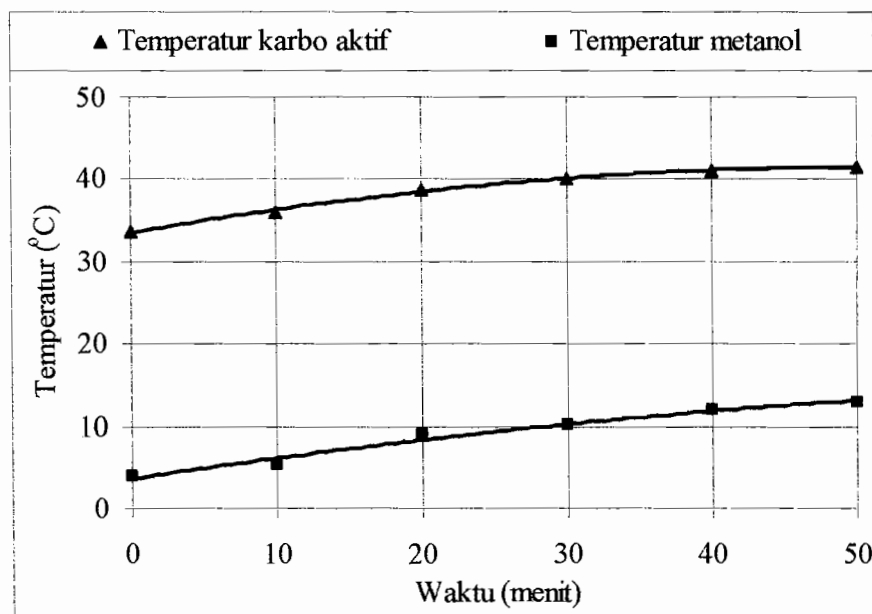
Gambar 4.25. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

g. Data penelitian 7 (tabel 4.7)



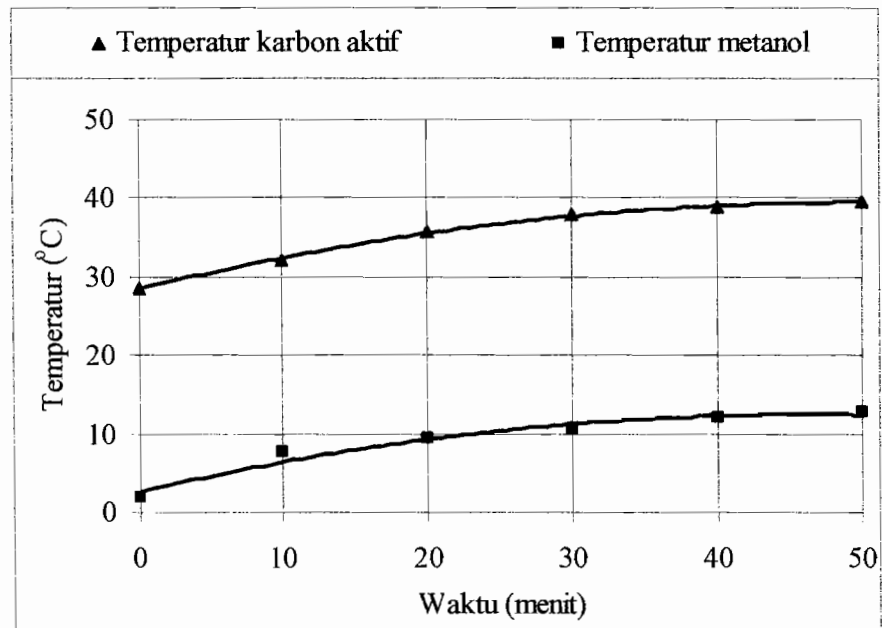
Gambar 4.26. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

h. Data penelitian 8 (tabel 4.9)



Gambar 4.27. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

## i. Data penelitian 9 (tabel 4.9)



Gambar 4.28. Grafik hubungan antara temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dengan waktu.

Dari Gambar 4.20. sampai Gambar 4.28. dapat diketahui temperatur karbon aktif dan temperatur metanol dari waktu ke waktu cenderung naik. Temperatur metanol semakin bertambah besar karena mendapat pengaruh dari temperatur lingkungan (beban pendinginan), sedangkan temperatur karbon aktif bertambah besar karena ada proses adsorpsi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **V.1 Kesimpulan**

Setelah melakukan penelitian dengan peralatan sederhana, pengolahan data dan telah dilakukan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Bahan baku metanol-karbon aktif yang dijual di pasar lokal khususnya Yogyakarta kalau digunakan untuk pendingin adsorpsi energi surya kurang baik karena COP yang dihasilkan masih terlalu rendah. Penelitian yang penulis lakukan diperoleh hasil COP yang lebih rendah yaitu antara 0.0566-0.0721 sedangkan penelitian lain yang ada menghasilkan COP antara 0.05-0.3. Hal ini dimungkinkan karena keterbatasan alat, standar kualitas bahan baku karbon aktif yang digunakan rendah dan tingkat kevakuman pada sistem kurang.

#### **V.2 Saran**

1. Sebaiknya jangan ada kebocoran pada sistem pada saat pengambilan data
2. Sebaiknya sebelum melakukan penelitian baca dulu langkah-langkah penelitian dan variabel yang harus diukur.
3. Sebaiknya pencekam botol jangan dikencangkan pada saat sistem sudah divakum bisa menyebabkan tabung pecah.
4. Sebaiknya menggunakan selang penghubung yang tahan terhadap tekanan.
5. Sebaiknya menggunakan alat penelitian yang lebih teliti.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto, (1995), *Teknologi Rekayasa Surya*, Jakarta, Pradnya Paramita.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, New York, Jhon Wiley.
- Grenier, Ph., (1983), *Experimental Result on a 12 m<sup>3</sup> Solar Powered Cold Store Using the Intemittent Zeolite 13x-Water Cycle*, Solar World Congress, Pergamon Press, pp., 353-358.
- Hinotani, K., (1983), *Development of Solar Actuated Zeolite Refrigeration System*, Solar World Congress, Vol.1, Pergamon Press, pp.,527-531.
- Kreussler, S., (1999), *Experiments on Solar Adsorption Refrigeration Using Zeolite and Water*, Laboratory for Solar Energi, University of Applied Sciences Germany.
- Menuier, Francis, (2004), *Experimentals Performance of an Advanced Solar-Powered Adsorptive Ice Maker*, Proceedings of the 10<sup>th</sup> Brazil an Congress of Thermal Sciences an Engineering (Nov.29-Des.03, 2004), Rio de Janeiro, Brazil.
- Pons, M., (1986), *Design of Solar Powered Solid Adsorption Ice Maker*, ASMEJ of Solar Engineering, 108,332-337.
- Pridasawas, W: Nemariam, T, (2003), *Solar Cooling*, Assigment for Ph.D Course: Solar Heating Technical University of Denmark (DTU).
- Ramos, Miguel, (2003), *Evaluation of a Zeolite-Water Solar Adsorption Refrigerator*, ISES Solar Word Congress (June, 14-19, 2003), Goteborg, Sweden.
- Zhu, Z., (1987), *Testing Of a Solar Powered Zeolite-Water Refrigerator*, M. Eng. Thesis, AIT, Bangkok.

