

BAB IV

DATA DAN ANALISA HASIL PERCOBAAN

Proses dimulai dengan melakukan *degassing*, yaitu memanaskan adsorber dengan menggunakan media pemanas minyak goreng selama 2 jam yang dialirkan menggunakan CTB (*Circulating Thermostatic Bath*), proses ini bertujuan agar zat – zat yang ada pada adsorben menguap. Setelah dipanaskan, dilakukan proses pemvakuman melalui katup yang pada bagian reservoir (K₄) menggunakan pompa vakum selama 2 jam hingga tekanan sistem mencapai -76 cmHg *gauge*. Setelah proses *degassing* selesai, methanol dimasukkan ke dalam *reservoir* melalui katup K₄. Dan selanjutnya dilakukan proses adsorpsi.

Data yang digunakan adalah data pada siklus keenam. Setelah dilakukan siklus adsorpsi dan desorpsi sebanyak 5 kali, agar diharapkan system dapat mencapai keadaan *steady-state*.

4.1 PROSES ADSORPSI

Setelah proses *degassing* selama 4 jam, lalu diikuti dengan proses adsorpsi. Proses ini diawali dengan *pre-cooling*, yaitu proses pendinginan adsorber dengan mengalirkan air bertemperatur 27 – 33 °C dengan menggunakan pompa sentrifugal selama 1 jam. Setelah proses *pre-cooling*, kemudian dilanjutkan dengan proses adsorpsi selama 1 jam. Tabel 4.1 adalah data hasil percobaan tanggal 03 Mei 2008.

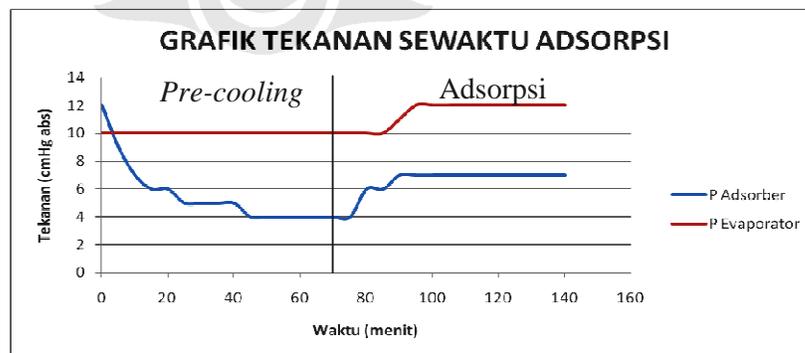
Tabel 4.1

Data hasil proses adsorpsi

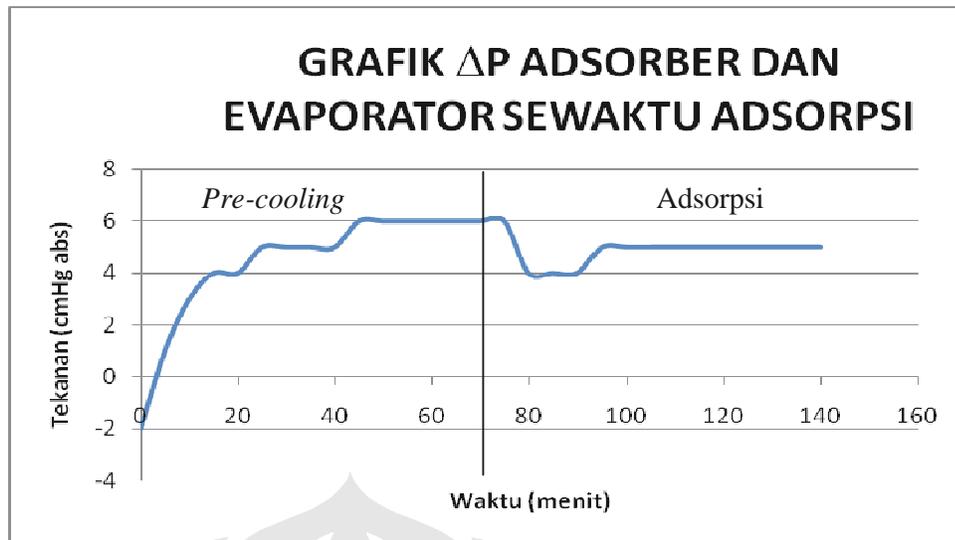
Waktu (menit)	P Adsorber	P <i>Evaporator</i>	T Adsorber	T <i>Evaporator</i>	T air yang didinginkan	Keterangan
	cmHg gauge		°C			
0	-64	-66	70.3	23.2	28.2	
5	-67	-66	67	23.2	28.2	
10	-69	-66	64.6	23.2	28.2	
15	-70	-66	62.4	23.2	28.2	
20	-70	-66	60.3	23.2	28.2	

25	-71	-66	57.9	23.2	28.2
30	-71	-66	55.8	23.2	28.2
35	-71	-66	53.5	23.2	28.2
40	-71	-66	52.3	23.2	28.2
45	-72	-66	50.7	23.2	28.2
50	-72	-66	49.2	23.2	28.2
55	-72	-66	48.1	23.2	28.2
60	-72	-66	46.9	23.2	28.2
65	-72	-66	45.9	23.2	28.2
70	-72	-66	45.1	23.2	28.2
75	-72	-66	42.9	23.2	28.2
80	-70	-66	41.8	23.2	28.2
85	-70	-66	42.6	21.9	27.6
90	-69	-65	43.3	23.4	25.6
95	-69	-64	43.6	23.7	24.3
100	-69	-64	43	23.2	24.1
105	-69	-64	42.2	23.5	23.5
110	-69	-64	41.3	23.5	23.8
115	-69	-64	40.6	23.2	23.5
120	-69	-64	39.8	23.8	23.2
125	-69	-64	39.4	23.3	23.3
130	-69	-64	39	23.5	23.4
135	-69	-64	38.6	23.9	23.7
140	-69	-64	38.2	24.2	23.9

Sewaktu proses *pre-cooling*, temperatur adsorber menurun. Proses *pre-cooling* ini bertujuan untuk menurunkan temperatur adsorben sehingga adsorben tersebut dalam keadaan siap untuk menyerap adsorbat dari *evaporator*. Penurunan temperatur juga mengakibatkan penurunan tekanan.

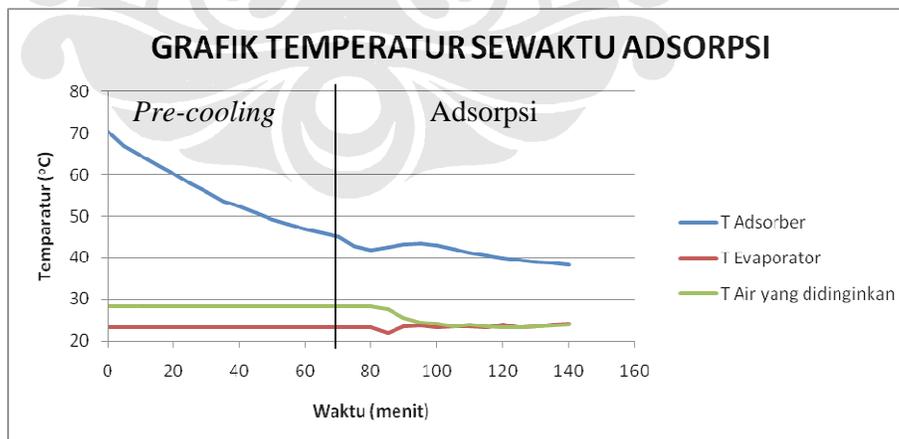


Gambar 4.1 Grafik tekanan adsorber dan *reservoir* terhadap waktu sewaktu adsorpsi



Gambar 4.2 Grafik ΔP adsorber dan *evaporator* terhadap waktu sewaktu adsorpsi

Dari gambar 4.1, penurunan tekanan teratur pada saat *pre-cooling*, yaitu dari tekanan -64 cmHg menjadi -72 cmHg gauge. Setelah dibukanya katup K_2 dan K_3 terjadi kenaikan tekanan yang cukup signifikan pada adsorber, yaitu dari tekanan -72 cmHg menjadi -70 cmHg gauge. Hal ini dikarenakan adanya penyesuaian tekanan antara adsorber dan *evaporator* akibat perbedaan tekanan antara adsorber dan evaporator sewaktu *pre-cooling* yang mencapai 6 cmHg. Sedangkan perbedaan tekanan antara adsorber dan evaporator sewaktu adsorpsi berkisar 4-6 cmHg.



Gambar 4.3 Grafik temperatur adsorber dan *reservoir* terhadap waktu sewaktu adsorpsi

Dari gambar 4.3, penurunan temperatur adsorber teratur sewaktu *pre-cooling*, yaitu dari temperatur 70.3 °C menjadi 42.9 °C. Setelah dibukanya katup K₂ dan K₃ terjadi penurunan temperatur adsorber yang cukup signifikan, yaitu dari temperatur 45.1 °C menjadi 42.9 °C. Hal ini dikarenakan adanya penyesuaian temperatur antara adsorber dan evaporator akibat adanya perbedaan temperatur antara adsorber dan *evaporator* yang mencapai 21.9 °C.

Setelah katup K₂ dan K₃ dibuka, terjadi penurunan temperatur adsorber yang signifikan. Tetapi beberapa saat kemudian temperatur adsorber naik dari temperatur 41.8 °C menjadi 42.6 °C. Hal ini dikarenakan letak thermometer yang berada di posisi atas adsorber, dimana panas dari adsorben naik ke atas akibat pendinginan yang terjadi setelah methanol yang lebih dingin dari adsorben terserap oleh adsorben.

Temperatur evaporator terendah yaitu 21.9 °C terjadi pada menit kesepuluh setelah katup K₂ dan K₃ dibuka. Penurunan temperatur yang terjadi pada *evaporator* yaitu sekitar 1.3 °C dari temperatur *evaporator* sebelumnya 23.2 °C.

4.2 PROSES DESORPSI

Tabel 4.2 adalah data hasil percobaan desorpsi tanggal 03 Mei 2008. Siklus desorpsi diawali dengan *pre-heating* selama 1 jam dengan menggunakan minyak goreng bersuhu 130 °C sebagai media pemanas, kemudian diikuti dengan proses desorpsi selama 1 jam.

Tabel 4.2

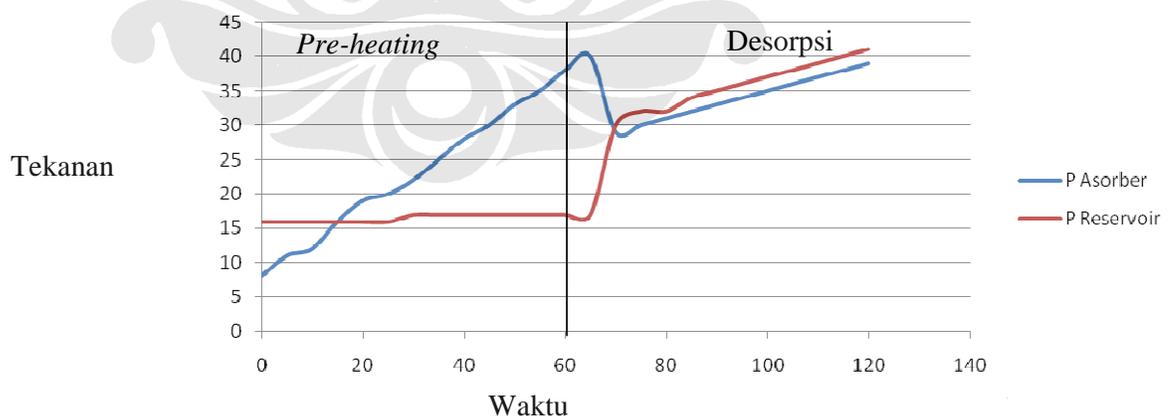
Data hasil proses desorpsi

Waktu (menit)	P Adsorber	P Reservoir	T Adsorber	T Reservoir	Keterangan
	cmHg gauge		°C		
0	-68	-60	37	25.8	
5	-65	-60	37.1	25.5	
10	-64	-60	37.6	25.8	
15	-60	-60	39.9	25.4	
20	-57	-60	42.7	25.2	
25	-56	-60	43.8	25.4	
30	-54	-59	47.3	25.7	

35	-51	-59	50.6	25.1
40	-48	-59	54.4	25.6
45	-46	-59	57.4	25
50	-43	-59	60.2	25.7
55	-41	-59	62.2	25.7
60	-38	-59	63.8	25.6
65	-36	-59	65.3	25.6
70	-47	-46	65.3	26.5
75	-46	-44	65.9	26.2
80	-45	-44	66.4	26.6
85	-44	-42	67.2	26
90	-43	-41	67.9	26.7
95	-42	-40	68.2	26.7
100	-41	-39	68.5	26.7
105	-40	-38	68.9	27.2
110	-39	-37	69.2	27.6
115	-38	-36	69.5	27.6
120	-37	-35	70	28

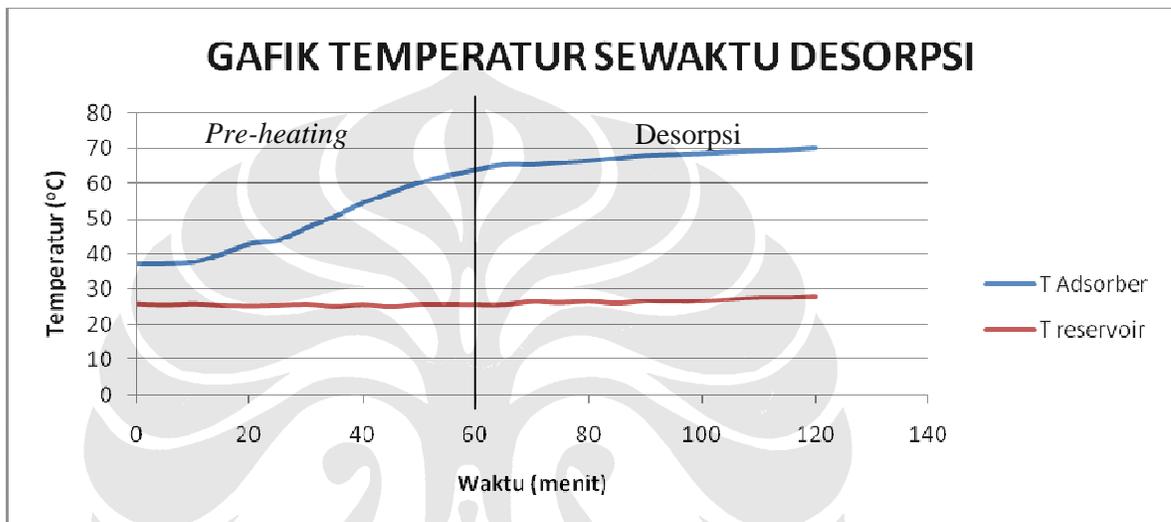
Sewaktu proses *pre-heating* temperatur adsorber naik. Proses ini bertujuan agar methanol yang menempel pada adsorber menguap dan dapat mengalir menuju kondenser untuk didinginkan dan katup ekspansi untuk diturunkan tekanannya setelah katup K_1 dibuka. Pembukaan katup K_1 menandakan proses desorpsi dimulai.

GRAFIK TEKANAN SEWAKTU DESORPSI



Gambar 4.4 Grafik tekanan adsorber dan *reservoir* terhadap waktu sewaktu desorpsi.

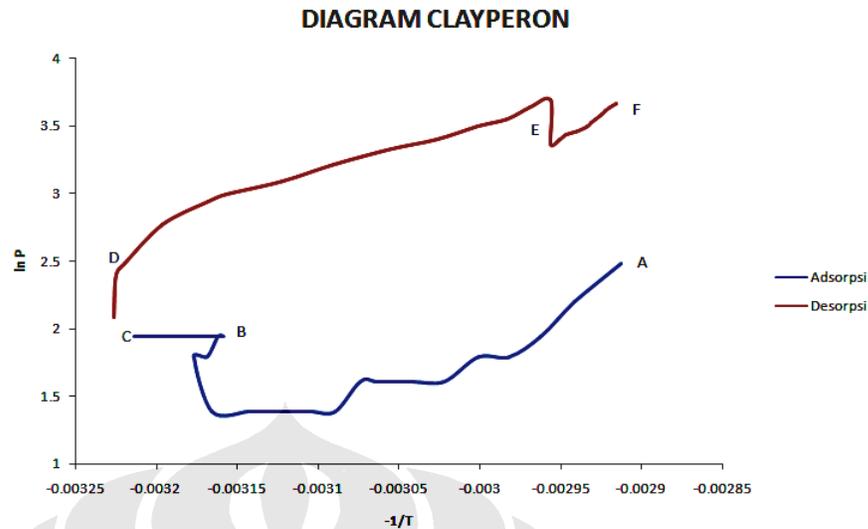
Dari gambar 4.4, kenaikan tekanan teratur pada saat *pre-heating*, yaitu dari tekanan -68 cmHg menjadi -36 cmHg gauge. Setelah dibukanya katup K_1 terjadi penurunan tekanan yang cukup signifikan pada adsorber, yaitu dari tekanan -36 cmHg menjadi -47 cmHg gauge. Hal ini dikarenakan adanya penyesuaian tekanan antara adsorber dan evaporator akibat perbedaan tekanan antara adsorber dan evaporator sewaktu *pre-heating* yang mencapai 23 cmHg. Sedangkan perbedaan tekanan antara adsorber dan reservoir sewaktu desorpsi berkisar 1-2 cmHg.



Gambar 4.5 Grafik temperatur adsorber dan *reservoir* terhadap waktu sewaktu desorpsi.

Dari gambar 4.5, kenaikan temperatur adsorber cukup signifikan sewaktu *pre-heating*, yaitu dari temperatur 37 °C menjadi 65.3 °C. setelah dibukanya katup K_1 menandakan dimulainya proses adsorpsi terjadi kenaikan temperatur adsorber tidak terlalu besar, yaitu dari temperatur 65.3 °C menjadi 65.9 °C.

Temperatur reservoir cenderung stabil sewaktu *pre-heating*, yaitu berkisar 25.6 °C sampai 25.8 °C. Sewaktu proses adsorpsi dimulai, perbedaan temperatur berkisar 26.2 °C sampai 28 °C. Temperatur tertinggi reservoir dicapai pada akhir proses desorpsi.



Gambar 4.6 Diagram Clayperon

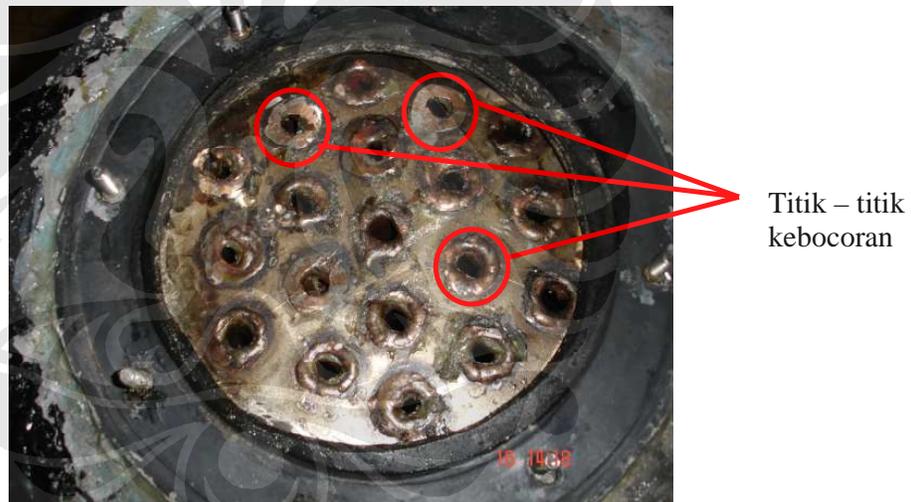
Dari gambar 4.6, titik A-B adalah proses *pre-cooling* dan titik B-C adalah proses adsorpsi. Titik D-E adalah proses *pre-heating* dan titik E-F adalah proses desorpsi..

Dari grafik Clayperon dapat disimpulkan bahwa :

1. Tekanan dan temperature adsorber akan turun seiring dengan makin lamanya waktu pendinginan dan tekanan dan temperature adsorber akan naik seiring dengan makin lamanya waktu pemanasan sesuai dengan persamaan termodinamika $PV = nRT$.
2. Tekanan terendah adsorber adalah -72 cmHg gauge dengan temperature adsorber 42.9 °C.
3. Temperature terendah adsorber adalah 38.2 °C dengan tekanan adsorber -69 cmHg gauge.
4. Temperature minimum evaporator adalah 21.9 °C dengan tekanan evaporator -66 cmHg gauge.
5. Tekanan tertinggi adsorber adalah -37 cmHg gauge dengan temperature tertinggi adsorber 70 °C.

4.3 ANALISA DATA KESELURUHAN PROSES DESORPSI- ADSORPSI

Dari data – data diatas terlihat bahwa efek pendinginan yang terjadi pada evaporator tidak cukup baik. Setelah dilakukan proses forensik, hal ini disebabkan oleh kebocoran yang terjadi pada adsorber. Letak kebocoran tepatnya terjadi pada sambungan las antara *tube – tube* tembaga dengan penutup shell yang berbahan *stainless stell*. Hal ini disebabkan oleh pengelasan dua material yang berbeda, dimana tembaga dan *stainless stell* memiliki titik lebur yang berbeda dan sulitnya posisi pengelasan akibat jarak antara lubang – lubang tube yang terlalu dekat. Sehingga bila satu lubang telah selesai proses pengelasan, untuk pengelasan lubang selanjutnya panas yang dihasilkan dari pengelasan dapat menyebabkan hasil pengelasan sebelumnya crack/retak yang menimbulkan lubang – lubang kecil antara sambungan *tube* dengan shell *stainless stell*.



Gambar 4.7 Letak titik – titik kebocoran pada adsorber

Tes kebocoran yang dilakukan pada adsorber adalah dengan menggunakan cairan sabun yang diberikan pada sambungan – sambungan las pada gambar 4.7, dimana adsorber sebelumnya dinaikkan tekanannya dengan menggunakan kompresor. Bila terdapat kebocoran, pada daerah tersebut terdapat buih sabun yang mengembang, dikarenakan terisi udara dari dalam adsorber.

Bukti lain tentang kebocoran adsorber adalah pada gambar 4.9 dengan adanya beberapa bagian adsorben (karbon aktif) yang rusak pada bagian

bawahnya akibat terendam fluida cair. Pada *shell* adsorber terdapat sisa – sisa adsorben yang masih menempel pada bagian dalam *shell*. Pada system ini fluida cair tersebut dapat berupa minyak goreng atau air yang digunakan sebagai media pemanas dan cair.



Titik
kebocoran
reservoir

Gambar 4.8 Letak titik – titik kebocoran pada *reservoir*

Kebocoran juga terjadi pada bagian reservoir sehingga berakibat pada tekanan *reservoir* meningkat. Hal ini berpengaruh pada proses adsorpsi dimana tekanan *reservoir* menjadi lebih tinggi daripada adsorber.

Pada adsorben (karbon aktif) terdapat cairan minyak goreng yang terserap. Hal ini terlihat dari perbedaan warna adsorben anatar bagian luar dengan bagian dalam. Pada bagian luar warnanya lebih gelap daripada bagian dalamnya.

Untuk membuktikan apakah perbedaan warna pada bagian luar dan dalam adsorber disebabkan oleh adanya minyak goreng yang terserap, dilakukan tes sederhana, yaitu adsorben baru yang belum dipakai direndamkan selama beberapa detik pada minyak goreng bersuhu 90 °C. Pada gambar 4.10 menunjukkan perbedaan warna adsorben yang terendam dengan yang masih baru.



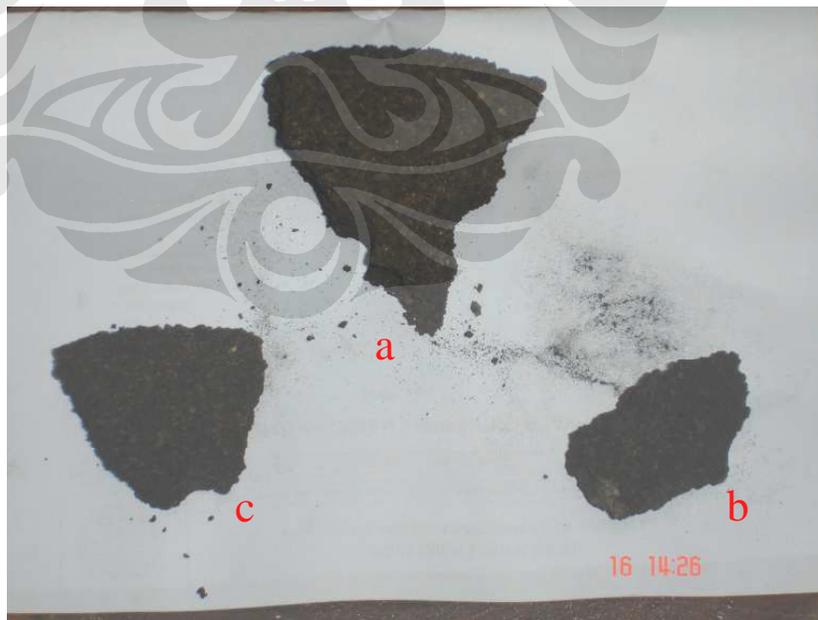
(a)



(b)

Gambar 4.9 Bukti pernah terjadinya genangan fluida cair pad adsorber

(a) Pada adsorben (karbon aktif) dan (b) Pada *shell* adsorber



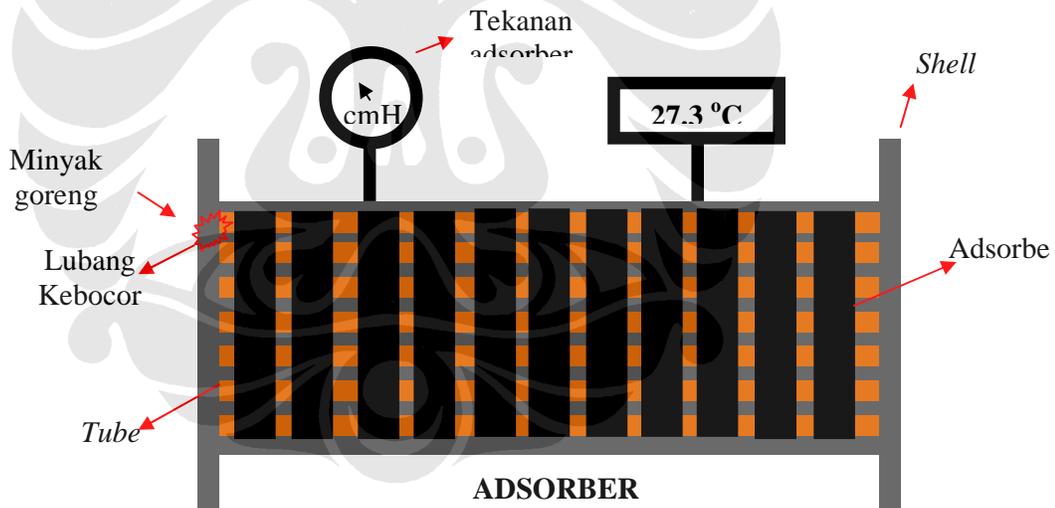
Gambar 4.10 Perbedaan warna antara adsorben baru (a), adsorben pada adsorber (b), dan adsorben baru yang direndam pada minyak goreng (c).

Tabel 4.3

Data pengujian pada proses awal dan akhir adsorpsi dan desorpsi

	P Adsorber (cmHg) Abs	T Adsorber °C	T _{saturasi} Methanol °C
Awal Desorpsi	29	65.3	41.83
Akhir Desorpsi	39	70.0	48.43
Awal Adsorpsi	4	42.9	4.41
Akhir Adsorpsi	7	38.2	13.95

Pengaruh dari kebocoran ini adalah temperature kondensasi dan evaporasi dari methanol yang meningkat. Hal ini terutama berpengaruh pada proses pendinginan di evaporator. Dikarenakan temperatur evaporasi methanol yang tinggi, maka proses pendinginan tidak terlalu baik pada evaporator.



Gambar 4.11 Ilustrasi pengaruh kebocoran pada adsorber

Gambar 4.11 mengilustrasikan pengaruh kebocoran pada adsorber, dimana akibat minyak goreng yang bertemperatur 130 °C masuk ke dalam adsorber, maka tekanan adsorber akan naik lebih cepat baik pada proses desorpsi dan adsorpsi. Hal ini menyebabkan minyak goreng terserap ke dalam adsorben. Sehingga adsorben menjadi jenuh terlebih dahulu. Pengaruh dari kejenuhan adsorben adalah kemampuan adsorben untuk menyerap methanol sebagai *refrigerant* dalam sistem.

Karena adsorben sudah tidak sanggup menyerap kembali, maka tidak terjadi efek pendinginan yang cukup besar pada evaporator. Efek pendinginan baru akan terjadi jika methanol yang terevaporasi dikarenakan menyerap panas pada evaporator terserap sempurna oleh adsorben.

Pada proses desorpsi, seharusnya semua zat – zat yang ada pada adsorben berubah menjadi gas untuk kemudian mengalir ke kondenser untuk didinginkan. Karena minyak goreng sudah menempel pada pori – pori adsorben, maka sangat sulit sekali minyak goreng tersebut untuk dapat terlepas dari adsorben.

4.4 PERBANDINGAN DATA PENGUJIAN DENGAN DATA JURNAL

Tabel 4.4 menggambarkan perbandingan data antara hasil pengujian dengan data dari jurnal dari *international journal of energy conversion and management* oleh D.C. Wang Dan J.Y. Wu.

Tabel 4.4

Perbandingan data hasil pengujian dengan data dari jurnal

	P Adsorber Pengujian	P Adsorber Jurnal	T Adsorber Pengujian	T Adsorber Jurnal	T _{saturasi} Methanol Pengujian	T _{saturasi} Methanol Jurnal
	(cmHg) Abs		°C			
Awal Desorpsi	29	20.2	65.3	89.3	41.83	34
Akhir Desorpsi	39	24.6	70.0	108.7	48.43	38
Awal Adsorpsi	4	1	42.9	43.4	4.41	-16
Akhir Adsorpsi	7	1	38.2	32.8	13.95	-16

Dari tabel 4.4 jelas terlihat bahwa mesin pendingin adsorpsi yang diuji, belum memiliki tekanan kerja yang ideal untuk melakukan proses pendinginan. Dalam proses adsorpsi, tekanan pada adsorber masih terlalu tinggi, sehingga temperatur evaporasi dari methanol hanya berkisar 4.41-13.95 °C. Tekanan dan temperatur evaporator yang hanya mencapai 10 cmHg abs pada tabel 4.5, menjadikan temperatur evaporasi methanol 20.4 °C, sehingga tidak akan mungkin terciptanya es. Sedangkan pada jurnal dengan tekanan adsorpsi pada adsorber 1 cmHg abs, temperatur evaporasi dari methanol adalah -16 °C, sehingga sangat dimungkinkan terciptanya es. Hal ini membuktikan bahwa tekanan dan temperatur

pada evaporator dan adsorber berpengaruh terhadap performansi dari sistem pendingin adsorpsi.

Tabel 4.5

Data pengujian tekanan dan temperatur evaporator sewaktu adsorpsi

	P Evaporator (cmHg) Abs	T Evaporator	T _{saturasi} Methanol
	°C		
Awal Adsorpsi	10	23.2	20.42
Akhir Adsorpsi	12	24.2	23.89

