

BAB II

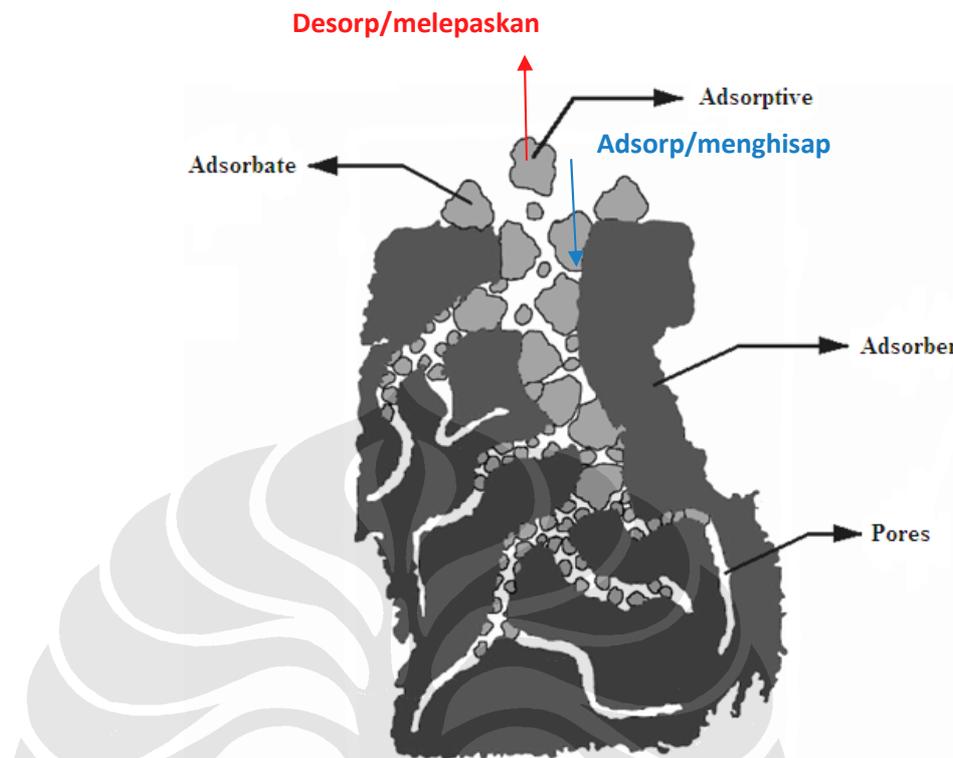
DASAR TEORI

2.1 Adsorpsi

2.1.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, Bambang 2004). Walaupun adsorpsi biasanya dikaitkan dengan perpindahan dari suatu gas atau cairan ke suatu permukaan padatan, perpindahan dari suatu gas ke suatu permukaan cairan juga terjadi. Substansi yang terkonsentrasi pada permukaan didefinisikan sebagai adsorbat dan material dimana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben (Hines, A.L dan Robert N. Maddox, 1985). Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu *film* (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Berbeda dengan absorpsi, dimana fluida terserap oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan.[4]

Proses adsorpsi dapat berlangsung jika suatu permukaan padatan dan molekul-molekul gas atau cair, dikontakkan dengan molekul-molekul tersebut, maka didalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hydrogen yang bekerja diantara molekul seluruh material. Gaya-gaya yang tidak seimbang pada batas fasa tersebut menyebabkan perubahan-perubahan konsentrasi molekul pada interface solid/fluida. Untuk mengetahui karakteristik yang terjadi dalam proses adsorpsi dapat diilustrasikan dengan gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. Gambar adsorpsi dan desorpsi [5]

Padatan berpori yang menghisap (*adsorption*) dan melepaskan (*desorption*) suatu fluida disebut adsorben. Molekul fluida yang dihisap tetapi tidak terakumulasi/melekat kepermukaan adsorben disebut *adsorptive*, sedangkan yang terakumulasi/melekat disebut *adsorbat*.

Jika fenomena adsorpsi disebabkan terutama oleh gaya Van der Waals dan gaya hidrostatis antara molekul adsorbat, maka atom yang membentuk permukaan adsorben tanpa adanya ikatan kimia disebut adsorpsi fisika. Dan jika terjadi interaksi secara kimia antara adsorbat dan adsorben, maka fenomenanya disebut adsorpsi kimia. Pada dasarnya adsorben dibagi menjadi tiga yaitu:[3]

1. Adsorben yang mengadsorpsi secara fisik (karbon aktif, silika gel dan zeolit),

2. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia (*calcium chloride*, *metal hydride*, dan *complex salts*), dan
3. *Composite adsorbent* adsorben yang mengadsorpsi secara kimia dan fisik.

2.1.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Performa mesin pendingin adsorpsi sangat dipengaruhi baik oleh perpindahan kalor maupun perpindahan massa. Sedangkan daya adsorpsi dipengaruhi oleh tiga faktor (Bahl et al, 1997 dan Suryawan, Bambang 2004), yaitu :

1. Tekanan (P), Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.
2. Temperatur absolut (T), Temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa eksotermis. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.
3. Interaksi Potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.
4. Jenis adsorbat
 1. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

2. Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul

yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

5. Karakteristik adsorben

1. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

2. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

2.2 Adsorben

Kemampuan kerja alat untuk menghasilkan suhu yang rendah sangat dipengaruhi oleh jenis adsorben. Dimana penyerapan adsorben dipengaruhi oleh volume yang dipakai, dan luas permukaan spesifik.

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yang baik:

1. Luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben.
2. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.
3. Kemurnian adsorben. Adsorben yang memiliki tingkat kemurnian tinggi, daya adsorpsinya lebih baik.
4. Jenis/gugus fungsi atom yang ada pada permukaan adsorben. Sifat – sifat atom di permukaan berkaitan dengan interaksi molekuler antara adsorbat dan adsorben yang lebih besar pada adsorbat tertentu

2.2.1 Macam-macam adsorben yang umum digunakan

Untuk proses adsorpsi dan desorpsi ada 3 jenis adsorben yang biasa dipakai yaitu :

1. Silika gel

Silika gel cenderung mengikat adsorbat dengan energi yang relatif lebih kecil dan membutuhkan temperatur yang rendah untuk proses desorpsinya, dibandingkan jika menggunakan adsorben lain seperti karbon atau zeolit. Kemampuan desorpsi silika gel meningkat dengan meningkatnya temperatur. Silika gel terbuat dari silika dengan ikatan kimia mengandung air kurang lebih 5%. Pada umumnya temperatur kerja silika gel sampai pada 200 °C, jika dioperasikan lebih dari batas temperatur kerjanya maka kandungan air dalam silika gel akan hilang dan menyebabkan kemampuan adsorpsinya hilang. Bentuk butiran silika gel yang banyak digunakan untuk proses adsorpsi adalah seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bentuk butiran silika gel [9].

2. Aktif Karbon

Aktif karbon dapat dibuat dari batu bara, kayu, dan tempurung kelapa melalui proses *pyrolizing* dan *carburizing* pada temperatur 700 sampai 800 °C. Hampir semua adsorbat dapat diserap oleh karbon aktif

kecuali air. Aktif karbon dapat ditemukan dalam bentuk bubuk dan *granular*. Pada umumnya karbon aktif dapat mengadsorpsi metanol atau amonia sampai dengan 30%, bahkan karbon aktif super dapat mengadsorpsi sampai dua kalinya. Bentuk butiran karbon aktif adalah seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk butiran karbon aktif [10]

3. Zeolit

Zeolit mengandung kristal zeolit yaitu mineral *aluminosilicate* yang disebut sebagai penyaring molekul. Mineral *aluminosilicate* ini terbentuk secara alami. Zeolit buatan dibuat dan dikembangkan untuk tujuan khusus, diantaranya 4A, 5A, 10X, dan 13X yang memiliki volume rongga antara 0.05 sampai 0.30 cm³/gram dan dapat dipanaskan sampai 500 °C tanpa harus kehilangan mampu adsorpsi dan regenerasinya. Zeolit 4A (NaA) digunakan untuk mengeringkan dan memisahkan campuran *hydrocarbon*. Zeolit 5A (CaA) digunakan untuk memisahkan *paraffins* dan beberapa *Cyclic hydrocarbon*. Zeolit 10X (CaX) dan 13X (NaX) memiliki diameter

pori yang lebih besar sehingga dapat mengadsorpsi adsorbat pada umumnya. Bentuk butiran zeolit adalah seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk butiran zeolit [11].

2.3 Adsorbat

Adsorbat yang biasa digunakan untuk pendinginan adalah air, metanol, dan ammonia.

1. Air

Merupakan adsorbat yang ideal karena memiliki kalor laten spesifik terbesar, mudah didapat, murah, dan tidak beracun. Air dapat dijadikan pasangan zeolit, dan silika gel. Tekanan penguapan air yang rendah merupakan keterbatasan air sebagai adsorbat, sehingga menyebabkan :

- Temperatur penguapan rendah ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$), sehingga penggunaan air terbatas hanya untuk *air-conditioning dan chilling*.
- Tekanan sistem selalu dibawah tekanan normal (1 atm). Sistem harus memiliki instalasi yang tidak bocor agar udara tidak masuk.
- Rendahnya tekanan penguapan air menyebabkan rendahnya tekanan proses adsorpsi di batasi oleh transfer massa.

b. Metanol

Di banyak hal kemampuan atau performa metanol berada diantara air dan ammonia. Metanol memiliki tekanan penguapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air (meskipun pada tekanan 1 atm), sehingga sangat cocok untuk membuat es. Meskipun demikian pada temperatur lebih dari 120 °C, tekanan menjadi tidak stabil. Untuk temperatur aplikasi lebih dari 200 °C adsorben yang biasa digunakan adalah karbon aktif, silika gel, dan zeolit.

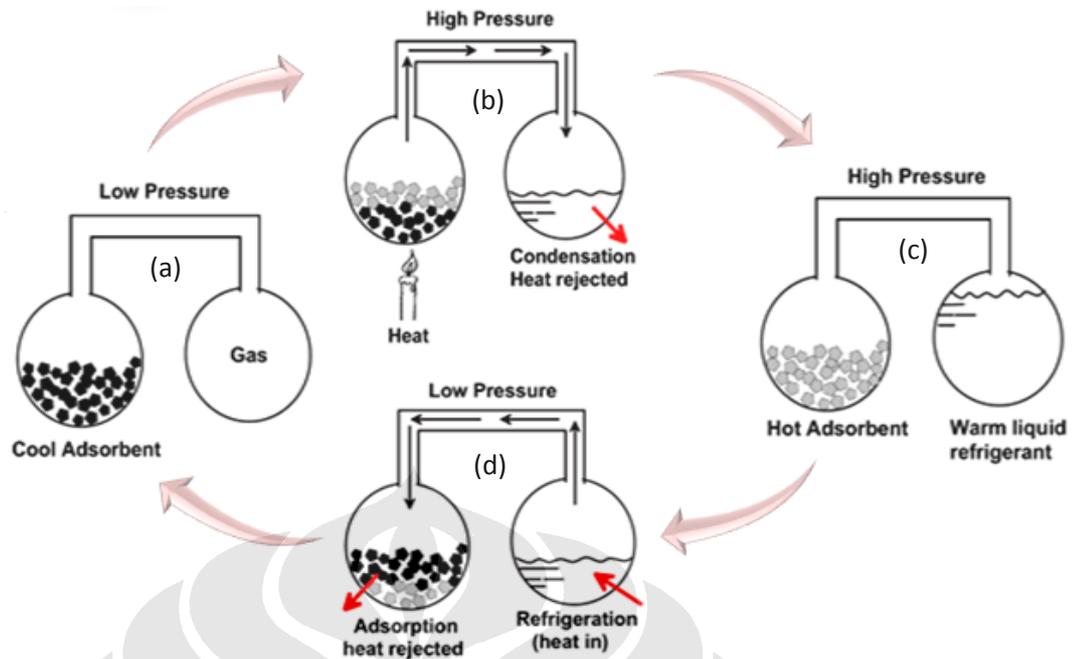
c. Ammonia

Besarnya panas laten spesifik ammonia adalah setengah lebih rendah dari panas laten spesifik air, pada temperatur 0°C dan memiliki tekanan penguapan yang tinggi. Ammonia memiliki keuntungan yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai refrigeran sampai -40 °C, dan dapat dipanaskan sampai 200 °C. Kerugian dari ammonia :

- Beracun, sehingga penggunaannya dibatasi.
- Tidak dapat ditampung pada instalasi yang terbuat dari tembaga atau campurannya

2.4 Prinsip Sistem Pendinginan Adsorpsi

Siklus pendingin adsorpsi berlangsung dengan penyerapan refrigeran/adsorbat dalam fasa uap kedalam adsorben pada tekanan rendah, kemudian refrigeran yang terserap pada adsorben didesorpsi dengan memberikan panas pada adsorben. Bentuk sederhana dari siklus pendingin adsorpsi seperti dua botol labu yang berhubungan seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Siklus sistim pendingin adsorpsi [13]

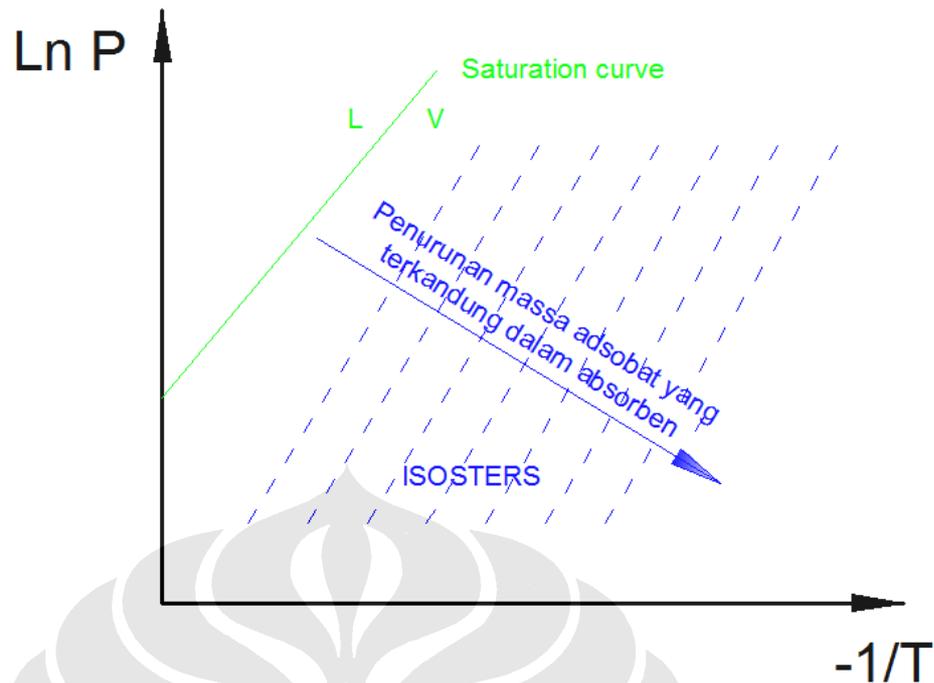
Pada awalnya sistem dikondisikan pada tekanan dan temperatur rendah. Dua buah botol labu (*vessel*) yang berhubungan, dimana pada labu pertama terdapat adsorben (karbon aktif) yang mengandung adsorbat berkonsentrasi tinggi sedangkan pada labu yang kedua terdapat adsorbat dalam fasa uap (Gambar 2.5a). Labu pertama yang berisi adsorben dengan kandungan adsorbat berkonsentrasi tinggi dipanaskan, sehingga tekanan sistim meningkat dan menyebabkan kandungan adsorbat yang ada didalam adsorben berkurang atau menguap. Proses berkurangnya kandungan adsorbat pada adsorben pada kasus ini disebut desorpsi.

Adsorbat yang menguap kemudian terkondensasi dan mengalir ke botol labu yang kedua, disini panas dilepaskan ke lingkungan dimana tekanan sistem masih tinggi. Pemanasan pada botol labu pertama dihentikan, lalu pada botol labu yang pertama terjadi perpindahan panas ke lingkungan sehingga tekanan sistim menjadi rendah. Tekanan sistem yang rendah menyebabkan adsorbat cair pada botol labu yang kedua menguap dan terserap ke botol pertama yang berisi adsorben. Proses terserapnya adsorbat ke

adsorben pada kasus ini disebut adsorpsi. Proses adsorpsi menghasilkan efek pendinginan yang terjadi pada botol labu kedua, dimana pada tekanan rendah panas dari lingkungan diserap untuk menguapkan adsorbat (Gambar 2.5b) sampai sistem kembali ke kondisi awal dimana pada botol labu pertama berisi adsorben dengan kandungan adsorbat berkonsentrasi tinggi dan pada botol labu kedua terdapat adsorbat dalam fasa gas (Gambar 2.5c) [13].

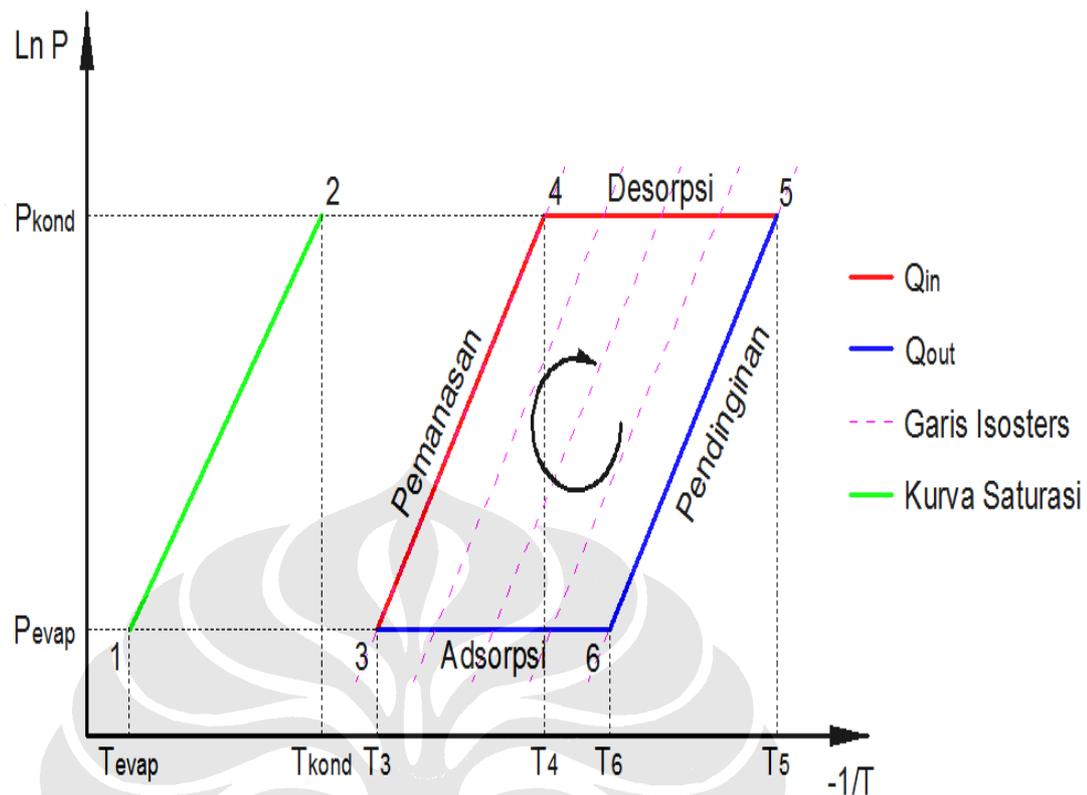
2.5 Siklus Ideal Sistem Pendingin Adsorpsi

Adsorpsi dan desorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara reversibel. Adsorpsi merupakan proses *exothermic* dimana adsorben (fluida) dan adsorbat (padatan) melepaskan panas sehingga menyebabkan penurunan pergerakan molekul adsorbat yang mengakibatkan adsorbat tersebut menempel pada permukaan adsorben dan membentuk suatu lapisan tipis. Ketika panas diberikan kepada sistem tersebut maka pergerakan molekul adsorbat akan meningkat sehingga pada jumlah panas tertentu akan menghasilkan energi kinetik molekul adsorbat yang cukup untuk merusak gaya *van der Waals* antara adsorben dan adsorbat. Proses pelepasan adsorbat dari adsorben disebut sebagai proses desorpsi, dimana proses ini membutuhkan energi panas sehingga disebut proses *endothermic*. Jumlah adsorbat yang terkandung didalam adsorban dapat digambarkan oleh garis *isosters* pada diagram tekanan vs temperatur ($\ln P$ vs $-1/T$) seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram tekanan vs temperatur yang menggambarkan garis isosters [14].

Siklus mesin pendingin adsorpsi tidak membutuhkan energi mekanis, melainkan membutuhkan energi panas. Pada saat mesin pendingin beroperasi, beberapa proses yang terjadi pada adsorber yang melibatkan proses *endothermic* dan *exothermic*. Proses *endothermic* berlangsung selama proses pemanasan (peningkatan tekanan) dan proses pemanasan-desorpsi-kondensasi, sedangkan proses *exothermic* berlangsung selama proses pendinginan (penurunan tekanan) dan proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi. Keempat proses tersebut membentuk suatu siklus yang digambarkan oleh diagram clapeyron ideal seperti pada gambar 2.7.

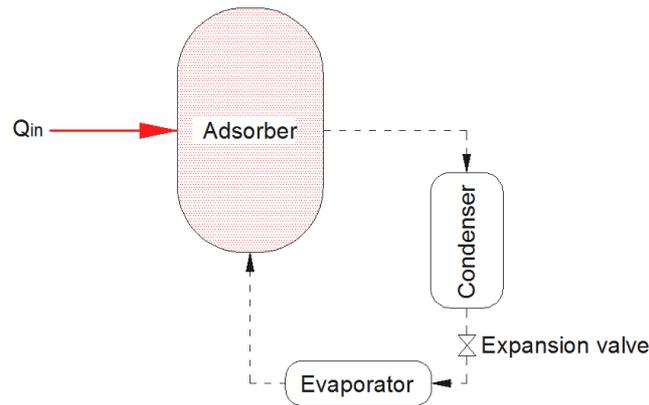


Gambar 2.7. Diagram clapeyron ideal [14].

Keempat proses tersebut adalah sebagai berikut:

1. Proses Pemanasan (pemberian tekanan)

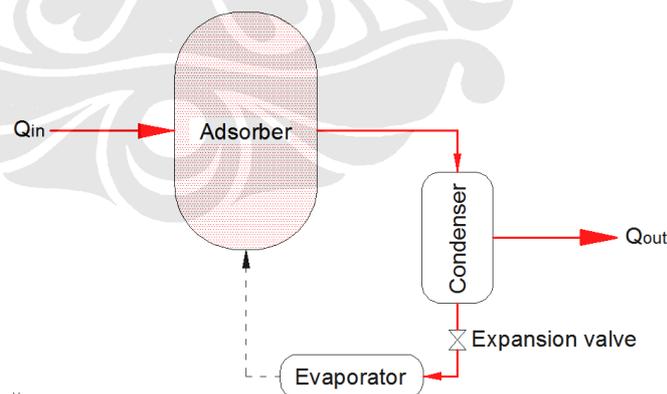
Selama periode ini, tidak ada aliran metanol yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber menerima panas sehingga temperatur adsorber meningkat dan diikuti oleh peningkatan tekanan dari tekanan evaporasi menjadi tekanan kondensasi. Proses ini sama seperti proses kompresi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini dilustrasikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Proses pemanasan [14].

2. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi

Selama periode ini, adsorber terus dialiri panas sehingga adsorber terus mengalami peningkatan dan temperatur yang menyebabkan timbulnya uap desorpsi. Sementara itu, katup aliran ke kondensor dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk gas mengalir ke kondensor untuk mengalami proses kondensasi menjadi cair. Kalor laten pengembunan adsorbat diserap oleh media pendingin pada kondensor. Siklus ini sama dengan siklus kondensasi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini dilustrasikan pada gambar 2.9.

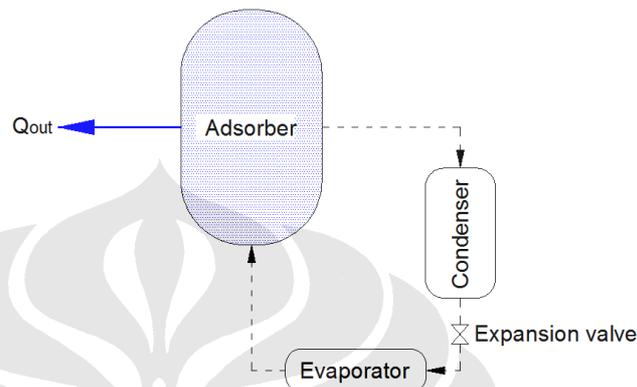


Gambar 2.9. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi [14].

3. Proses pendinginan (penurunan tekanan)

Selama periode ini, tidak ada aliran metanol yang masuk maupun

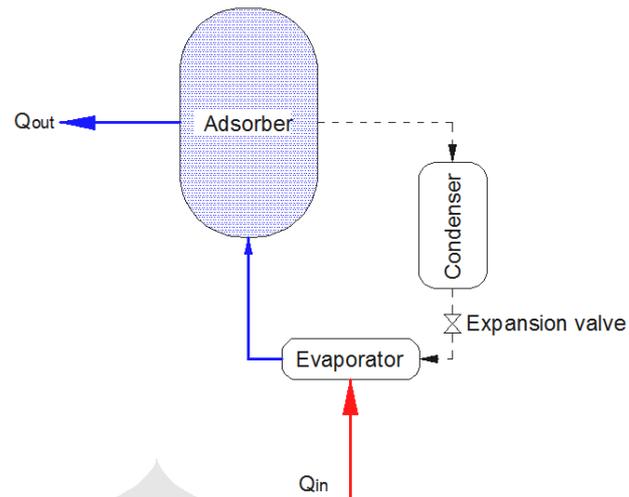
keluar dari adsorber. Adsorber melepaskan panas dengan cara didinginkan sehingga suhu di adsorber turun dan diikuti oleh penurunan tekanan dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi. proses ini sama seperti proses ekspansi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Proses pendinginan [14].

4. Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi

Selama periode ini, adsorber terus melepaskan panas sehingga adsorber terus mengalami penurunan temperatur dan tekanan yang menyebabkan timbulnya uap adsorpsi. Sementara itu, katup aliran dari *evaporator* ke adsorber dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk uap mengalir dari *evaporator* ke adsorber. Adsorbat dalam bentuk uap dihasilkan dari proses penyerapan kalor oleh adsorbat dari lingkungan sebesar kalor laten penguapan adsorbat tersebut. Proses ini berlangsung pada tekanan saturasi yang rendah sehingga penyerapan kalor berlangsung pada temperatur saturasi yang rendah pula [14]. Proses ini dilustrasikan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi [14].

2.6 Tekanan Dan Temperatur Saturasi

Tekanan saturasi adalah tekanan yang terjadi pada saat suatu substansi pada temperatur tertentu mengalami perubahan fase. Temperatur saturasi yaitu temperatur pada saat suatu substansi berada dalam tekanan tertentu mengalami perubahan fase. Ketika substansi mengalami perubahan fase, substansi memerlukan ataupun melepaskan kalor laten tergantung perubahan fasa yang terjadi.