

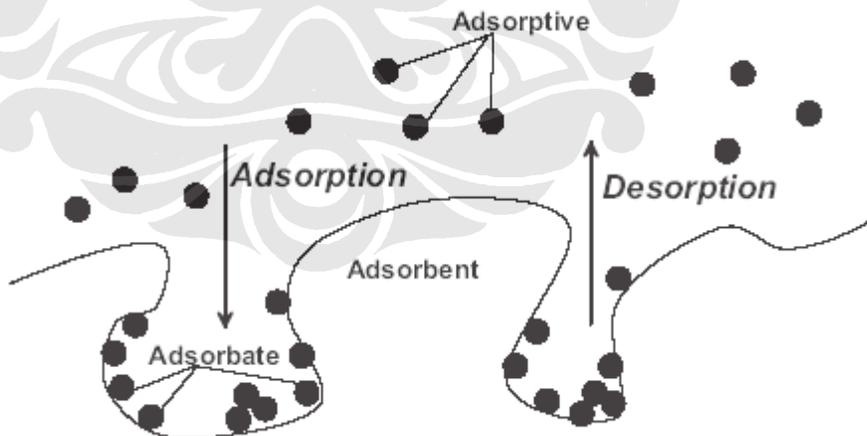
BAB II

DASAR TEORI

2.1 ADSORPSI

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. Jika interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relative lemah, maka proses ini disebut adsorbs fisik. 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 pada mana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben [3].

Untuk mengetahui karakteristik yang terjadi dalam proses adsorpsi dapat diilustrasikan dengan gambar 2.1 , padatan berpori yang menghisap (*adsorp*) dan melepaskan (*desorp*) suatu fluida disebut adsorben. Molekul fluida yang dihisap tetapi tidak terakumulasi/melekat kepermukaan adsorben disebut *adsorptive*, sedangkan yang terakumulasi/melekat disebut *adsorbat* [4].



Gambar 2.1 Adsorption nomenclature [4].

Berdasarkan interaksi molecular antara permukaan adsorben dan adsorbat, adsorpsi dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu penyerapan secara fisika (adsorpsi) dan penyerapan secara kimia (absorpsi). [5].

2.1.1 Adsorpsi Secara Fisika

Proses adsorpsi atau penyerapan adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul – molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu padatan dan sebagian dari molekul – molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut. Apabila interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relative lemah, maka proses ini disebut adsorpsi fisik yang terjadi hanya karena gaya *Van Der Waals* [6].

Proses adsorpsi fisika, adsorpsi terjadi tanpa adanya reaksi antara molekul – molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Molekul – molekul adsorbat terikat dengan permukaan adsorben secara lemah akibat adanya gaya *Van Der Waals*, sehingga dapat bergerak dari suatu permukaan adsorben ke permukaan lain. Peristiwa adsorpsi ini mengakibatkan adsorbat mengalami kondensasi. Panas yang dilepaskan dalam proses adsorpsi fisika adalah kalor kondensasinya.

Pada proses adsorpsi ini, adsorbat membentuk lapisan – lapisan (*multilayers*) pada permukaan adsorben. Adsorbat yang terikat pada adsorben dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan proses *degassing* atau pemanasan pada temperature 150 – 200 °C selama 2 - 3 jam.

Adapun beberapa karakteristik yang harus dimiliki adsorben untuk adsorpsi fisika adalah:

1. Luas permukaan yang besar sehingga kapasitas adsorpsinya besar
2. Memiliki aktivitas terhadap komponen yang diadsorpsi
3. Memiliki daya tahan yang baik
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi

2.1.2 Adsorpsi Secara Kimia

Dalam hal ini, adsorpsi terjadi karena adanya reaksi kimia antara molekul – molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi jenis ini disebut

“*absorption*” [7] dan bersifat tidak reversible serta hanya membentuk satu lapisan tunggal (monolayer). Umumnya terjadi pada temperature diatas temperature kritis adsorbat, sehingga kalor adsorpsi yang dibebaskan tinggi. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia pada umumnya sulit diregenerasi [8].

2.1.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Daya adsorpsi dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

- Tekanan (P), Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.
- 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.
- Interaksi Potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

2.1.4 Sifat-Sifat Adsorben Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Sifat – sifat adsorben yang akan mempengaruhi seberapa baik jalannya adsorpsi adalah :

1. Luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar pula daya adsorpsinya, karena proses adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben.
2. Kemurnian adsorben. Adsorben yang memiliki tingkat kemurnian tinggi, daya adsorpsinya lebih baik.
3. 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.

2.1.5 Sifat-Sifat Adsorbat Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Sifat – sifat adsorbat yang akan mempengaruhi seberapa baik jalannya adsorpsi adalah :

1. Ukuran molekul adsorbat. Molekul–molekul dengan diameter tertentu saja yang dapat masuk ke dalam pori–pori adsorben.
2. Kepolaran adsorbat. Molekul adsorbat yang polar cenderung untuk lebih dapat diadsorpsi daripada molekul–molekul yang kurang polar atau non polar.

2.1.6 Tempat – tempat terjadinya adsorpsi pada adsorben

Tempat – tempat terjadinya adsorpsi pada permukaan berpori adalah :

1. Di pori – pori berdiameter kecil (micropores $d < 20 \text{ \AA}$)
2. Di pori – pori berdiameter sedang (mesopores $20 \text{ \AA} < d < 500 \text{ \AA}$)
3. Di pori – pori berdiameter besar (macropore $500 \text{ \AA} < d$)
4. Di permukaan



Gambar 2.2 Ilustrasi tempat – tempat terjadinya adsorpsi [9].

2.2 PASANGAN ADSORBEN ADSORBAT

Pasangan adsorben-adsorbat untuk adsorpsi fisik adalah silika gel-air, zeolit-air, karbon aktif-amonia, karbon aktif-metanol [10]. Zeolit-air dan silika gel-air merupakan pasangan adsorben-adsorbat untuk *cool storage* sedangkan karbon aktif-metanol merupakan pasangan adsorben-adsorbat untuk pembuatan es. Adsorben memiliki pasangan masing-masing, pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Non-polar adsorben atau *Hydrophilic*, meliputi silika gel, zeolit, *active alumina*. Dengan air sebagai adsorbatnya.
2. Polar adsorben atau *Hydrophobic*, meliputi karbon aktif dan adsorben polimer. Dengan gas sebagai adsorbatnya.

2.2.1 Adsorben

Material penyerap atau adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya [8].

Macam-macam adsorben yang umum digunakan antara lain :

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.



Gambar 2.3 Bentuk butiran silika gel.

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% berat karbon aktif itu sendiri, bahkan karbon aktif super dapat mengadsorpsi sampai dua kalinya.



Gambar 2.4 Bentuk butiran karbon aktif.

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.



Gambar 2.5 Bentuk butiran zeolit.

2.2.2 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.

2. 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 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, tekanan menjadi tidak stabil. Untuk temperatur aplikasi lebih dari $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ adsorben yang biasa digunakan adalah karbon aktif, silika gel, dan zeolit.

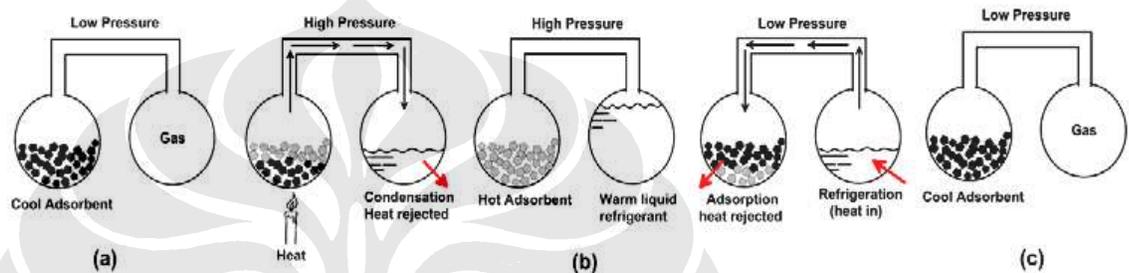
3. Ammonia

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 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan dapat dipanaskan sampai $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kerugian dari ammonia :

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

2.3 PRINSIP SISTEM PENDINGINAN ADSORPSI

Prinsip pendinginan adsorpsi adalah sistem pendinginan dengan memanfaatkan daya serap adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat yang telah menyerap panas dari sistem yang akan didinginkan. Pendinginan ini berlangsung secara *intermittent* atau terputus, dimana proses adsorpsi dan desorpsi tidak berlangsung secara kontinyu. Dikarenakan adanya proses *pre-cooling* dan *pre-heating* yang dikenakan kepada adsorben. Untuk lebih jelas akan proses pendinginan ini, diilustrasikan pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Siklus sistim pendingin adsorpsi [4]

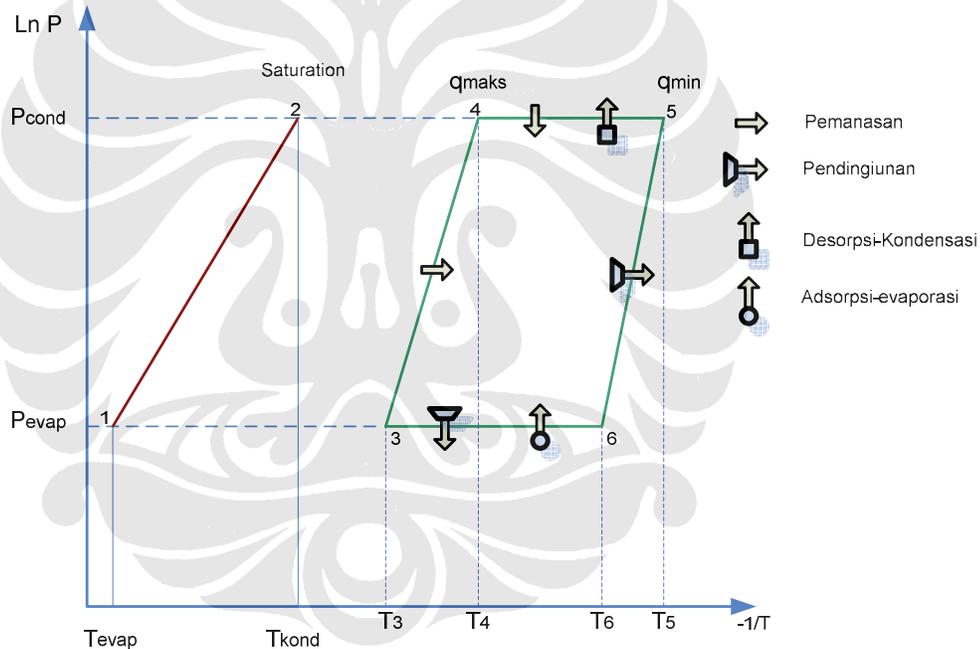
Gambar 2.6 adalah 2 buah botol labu (*vessel*). Pada botol labu yang pertama diisi dengan adsorben dan pada botol labu kedua diisi dengan adsorbat. Berikut ini adalah urutan proses adsorpsi dan desorpsi pada dua botol labu diatas :

- Adsorben yang telah mengadsorpsi adsorbat dalam keadaan dingin dan system bertekanan rendah
- Adsorben dipanaskan (*pre-heating*) sehingga tekanan sistem meningkat sehingga adsorbat yang menempel pada adsorben menguap untuk kemudian terlepas dan mengalir ke dalam botol labu yang lain dalam bentuk gas, proses ini disebut desorpsi. Akibat adanya proses kondensasi atau pelepasan panas adsorbat ke lingkungan, adsorbat berubah fasa menjadi cair.
- Adsorben melepaskan panas ke lingkungan (*pre-cooling*) sehingga temperature adsorben turun dan tekanan system menurun. Pada tekanan rendah panas lingkungan terserap oleh adsorbat, sehingga adsorbat berubah fasa menjadi uap. Adsorbat kemudian terserap oleh adsorben. Proses ini dinamakan adsorpsi. Pada proses inilah, efek pendinginan terjadi dengan panas lingkungan yang diserap oleh adsorbat.

Komponen pendingin adsorpsi hampir sama dengan mesin pendingin kompresi uap yaitu terdiri dari kondenser, katup ekspansi dan evaporator. Namun, yang membedakan diantara keduanya yaitu pada sistem penggerak yang mana fungsi kompresor mekanik yang digunakan pada mesin pendingin kompresi uap diganti dengan adsorben dan energi yang dibutuhkan untuk memompa refrigeran adalah energi [2].

2.4 SIKLUS IDEAL SISTIM PENDINGIN ADSORPSI

Siklus ideal sistem pendinginan adsorpsi berdasarkan pada data tekanan dan temperatur yang terjadi pada adsorben selama proses adsorpsi dan desorpsi.



Gambar 2.7. Diagram Clapeyron ideal [4].

Berikut ini adalah penjelasan dari diagram clapeyron ideal diatas :

- Garis 1-2 adalah garis tekanan dan temperature kondensasi dan evaporasi dari adsorbat murni.
- Garis 3-4 adalah proses *pre-heating* yang dikenakan pada adsorben sehingga temperature adsorben naik.

- Garis 4-5 adalah proses desorpsi dan kondensasi dari adsorbat, dimana adsorben terus dipanaskan dengan tekanan tetap yaitu pada tekanan kondensasi adsorbat.
- Garis 5-6 adalah proses pre-cooling yang dikenakan pada adsorben sehingga temperature adsorben turun.
- Garis 6-3 adalah proses adsorpsi dan evaporasi dari adsorbat, dimana adsorban terus didinginkan dengan tekanan tetap yaitu pada tekanan evaporasi adsorbat.

