

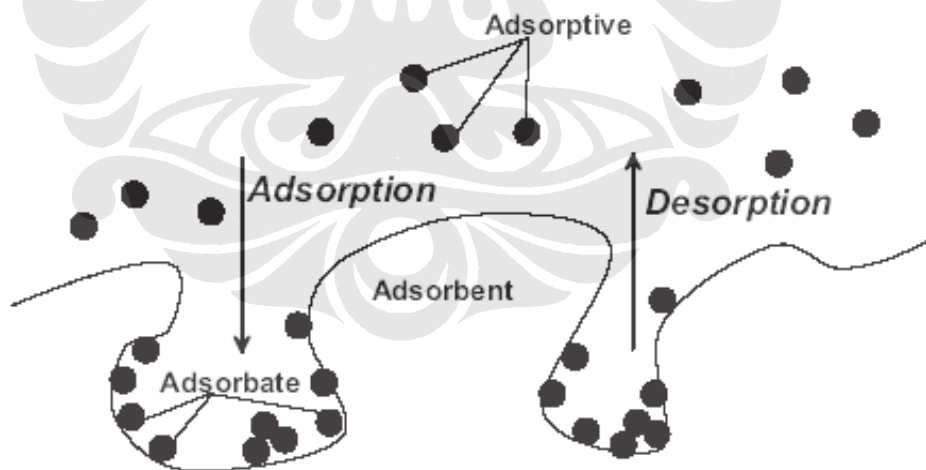
BAB II

DASAR TEORI

2.1 ADSORPSI

Adsorpsi adalah proses yang terjadi ketika gas atau cairan berkumpul atau terhimpun pada permukaan benda padat, dan apabila interaksi antara gas atau cairan yang terhimpun pada permukaan benda padat dalam bentuk embun tersebut relative lemah maka disebut sebagai adsorpsi fisik. Sedangkan untuk substansi yang terkumpul pada benda padat disebut adsorbat, sedangkan untuk material benda padat yang merupakan tempat terhimpunnya adsorbat tadi disebut adsorben. Interaksi antara adsorben dan adsorbat tersebut disebabkan oleh gaya van der Waals.

Seperti gambar dibawah ini dapat kita lihat bagaimana adsorbat dapat terhisap oleh adsorben hal ini merupakan fenomena sistem adsorpsi.



Gambar 2.1 Adsorption *nomenclature* [1]

Untuk sistem adsorpsi ini diperlukan pasangan adsorben – adsorbat, dimana terdapat beberapa macam pasangan yang dapat dipakai yaitu *silica gel* – air, karbon aktif – methanol, karbon aktif – ammonia dan zeolit – air

2.2 ADSORBENS

Adsorben secara umum terbagi 3 yaitu :

1. *physical* adsorbens diantaranya karbon aktif, zeolite, dan *silica gel*
2. *Chemical* adsorbens seperti kalsium klorida (CaCl_2)
3. *Composite* adsorbens didapat dari hasil kombinasi *chemical* adsorben dan porous matrix.[3]

Adsorben yang sering digunakan biasanya berupa butiran-butiran kecil seperti pil dengan diameter berkisar 0.5 dan 10 mm. adsorben ini harus memiliki ketahanan terhadap asam yang tinggi, kestabilan panas yang tinggi, diameter micropore yang kecil dimana akan menghasilkan area permukaan luar yang luas karenanya akan mengakibatkan kapasitas yang tinggi dalam proses adsorpsi. Pasangan zeolit-air dan *silica gel* – air merupakan pasangan untuk *cold storage* sedangkan pasangan karbon aktif-methanol merupakan pasangan untuk keperluan pembuatan es. Adapun macam-macam adsorben yang sering digunakan antara lain.

2.2.1 karbon aktif

merupakan material yang memiliki pori-pori yang banyak, tidak berbentuk padat dan terdiri dari mikro kristalis dengan kisi-kisi grafit. satu kekurangan utamanya adalah gampang menyala atau terbakar.



Gambar 2.2 Bentuk Butiran karbon aktif [2]

Karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon baik dari tumbuhan, kayu, kelapa atau batu bara. Daya serap karbon aktif

umumnya bergantung kepada sejumlah senyawa karbon yang berkisar 85% - 95% karbon bebas.

Proses pembuatannya terdiri dari dua tahap yaitu *carbonization* dan *activation*. Proses *carbonization* termasuk pengeringan dilanjutkan dengan pemanasan untuk memisahkan produknya. Pada bagian akhir proses *carbonization* dilakukan pemanasan material pada temperatur 400°C – 600°C dengan keadaan tanpa oksigen sehingga tidak terjadi pembakaran [5]. Kemudian *activation* dilakukan dengan menggunakan bahan kimia seperti $ZnCl_2$ atau dengan menggunakan uap air pada temperature tinggi.

2.2.2 Silica gel

Energi yang dibutuhkan untuk pengikatan adsorbat pada silica gel relative kecil di banding dengan energi yang dibutuhkan untuk mengikat adsorbat pada karbon aktif atau zeolit sehingga temperature untuk desorpsinya rendah. Laju desorpsi *silica gel* terhadap kenaikan temperature sangat tinggi. *Silica gel* dibuat dari silica murni dan secara kimia diikat dengan air. Jika *silica gel* diberi panas yang berlebih sampai kehilangan kadar airnya maka daya adsorpsinya akan hilang sehingga umumnya *silica gel* digunakan dengan temperatur dibawah 200°C. *silica gel* memiliki kapasitas menyerap air yang besar terutama pada saat tekanan uap air tinggi.[5]



Gambar 2.3 bentuk butiran *silica gel*

2.2.3 Zeolit

Zeolit merupakan bahan alami atau campuran *aluminium silicates*, zeolit digunakan untuk pengeringan dan pemisahan campuran hidrokarbon, zeolit memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi karena karena zeolit

memiliki porositas yang tinggi dan melepaskan air pada temperature yang tinggi[5]



Gambat 2.4 Zeolit

2.3 ADSORBAT

Adsorbat merupakan substansi yang mampu untuk menempel/melekat atau diadsorpsi pada permukaan adsorben. Jumlah adsorbat yang diadsorpsi tergantung pada beberapa factor diantaranya jenis adsorben, jenis adsorbat, konsentrasi adsorbat dan temperatur. adsorbat pada sistem refrigasi adssorpsi merupakan pengganti *refrigerant* seperti pada pendingin kompresi uap.

adsorbat yang digunakan harus memiliki kalor laten penguapan yang tinggi yang digunakan untuk mengukur energi pendinginan. Adsorbat yang biasa digunakan untuk pendinginan adsorpsi adalah air, methanol dan ammonia.

2.3.1 Air

Air merupakan *refrigerant* yang ideal karena memiliki kalor laten spesifik yang tinggi dan tidak beracun. Air dapat digunakan sebagai pasangan zeolit dan *silica gel*, tapi tekanan penguapan yang rendah merupakan keterbatasan air sebagai *refrigerant*

2.3.2 Methanol

Memiliki tekanan penguapan yang tinggi disbanding dengan air, methanol dapat dengan mudah terevaporasi pada temperature dibawah 0°C karena methanol bekerja dibawah tekanan atmosfir sehingga sangat cocok digunakan untuk pembuatan es, methanol sebagai *refrigerant*/adsorbat

sebagai pasangan adsorben yang terbuat dari karbon aktif , *silica gel* dan zeolit dengan pemanasan hingga 120°C

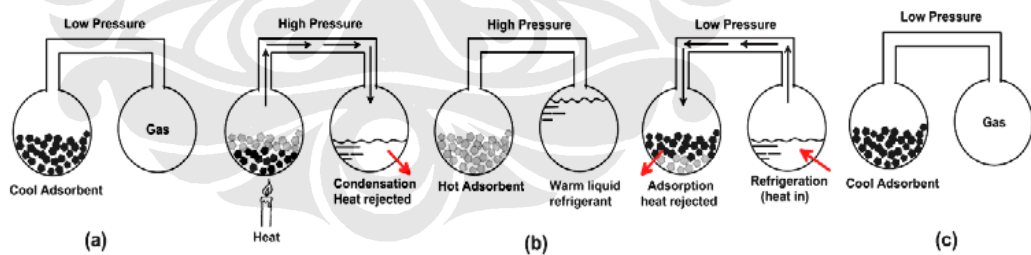
2.3.3 Ammonia

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 °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 *refrigerant*/adsorbat dalam fasa uap kedalam adsorben pada tekanan rendah, kemudian *refrigerant* 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 [1]

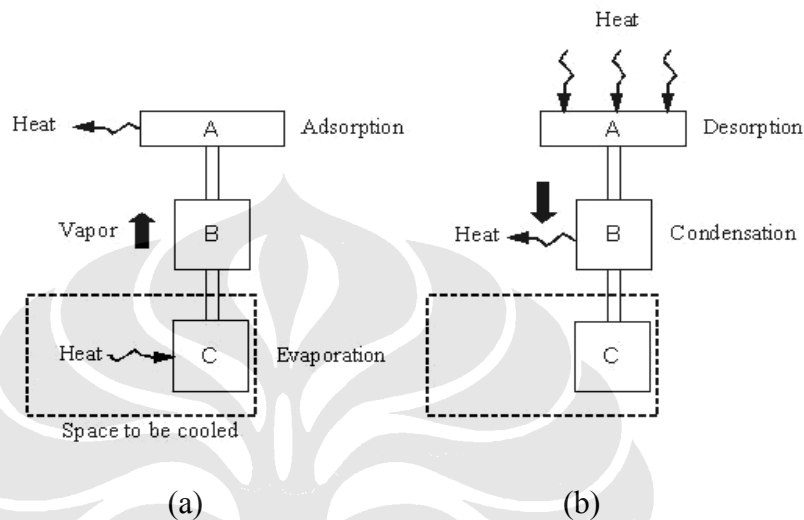
Pada awalnya sistem dikondisikan pada tekanan dan temperatur rendah. Dua buah botol labu (*vessel*) yang berhubungan, dimana pada labu pertama terdapat adsorben (karbon aktif) yang mengandung adsorbat berkonsentrasi tinggi sedangkan pada labu yang kedua terdapat adsorbat dalam fasa uap (Gambar 2.5a). 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 meghasilkan efek pendinginan yang terjadi pada botol labu kedua, dimana pada tekanan rendah panas dari lingkungan diserap untuk menguapkan adsorbat (Gambar 2.5b) sampai sistim 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). Komponen pendingin adsorpsi hampir sama dengan mesin pendingin kompresi uap yaitu terdiri dari kondensor, 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 *refrigerant* adalah energi thermal yang dapat berasal dari panas gas buang hasil pembakaran atau panas matahari .

Pendinginan dengan sistim adsorpsi berlangsung secara *intermittent* yaitu siklusnya tidak bersambungan melainkan terputus dimana setengah siklus pertama adalah proses desorpsi dan setengah siklus berikutnya adalah proses adsorpsi yang menghasilkan efek pendinginan. Proses adsorpsi terjadi ketika adsorben didinginkan oleh temperatur lingkungan sehingga adsorben melepas kalor ke lingkungan seperti pada gambar 2.6a, adsorpsi terjadi di adsorben sedangkan proses evaporasi adsorbat berlangsung di evaporator, efek pendinginan berlangsung ketika kalor yang diperlukan untuk evaporasi adsorbat diambil dari ruang yang akan didinginkan.

Pada siklus regenerasi atau desorpsi seperti pada gambar 2.6b, adsorben dipanaskan dengan memberi panas yang bersumber dari, panas

matahari atau dari gas buang kendaraan bermotor sehingga temperatur adsorben naik, yang menyebabkan adsorbat dalam adsorber terdesorpsi/menguap lalu oleh kondensor adsorbat di-kondensasikan menjadi cair. Adsorbat yang terkondensasi dikondensor dialirkan ke evaporator yang kemudian diikuti kembali dengan siklus adsorpsi.



(a) A: adsorben; B: kondensor; C: evaporator

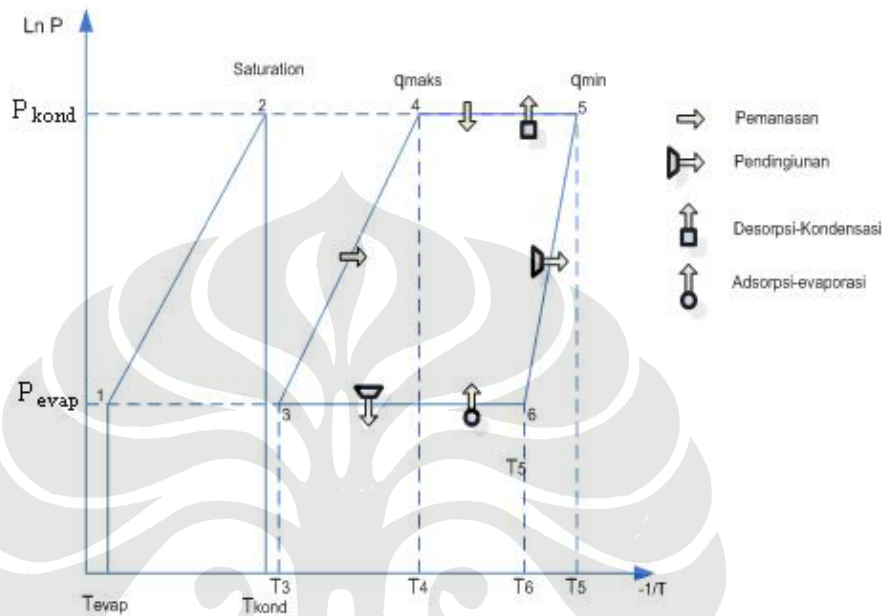
(a): siklus adsorpsi; (b): siklus regenerasi;

Gambar 2.6. Skema sistim pendingin adsorpsi [2]

2.5 SIKLUS IDEAL SISTEM PENDINGIN ADSORPSI

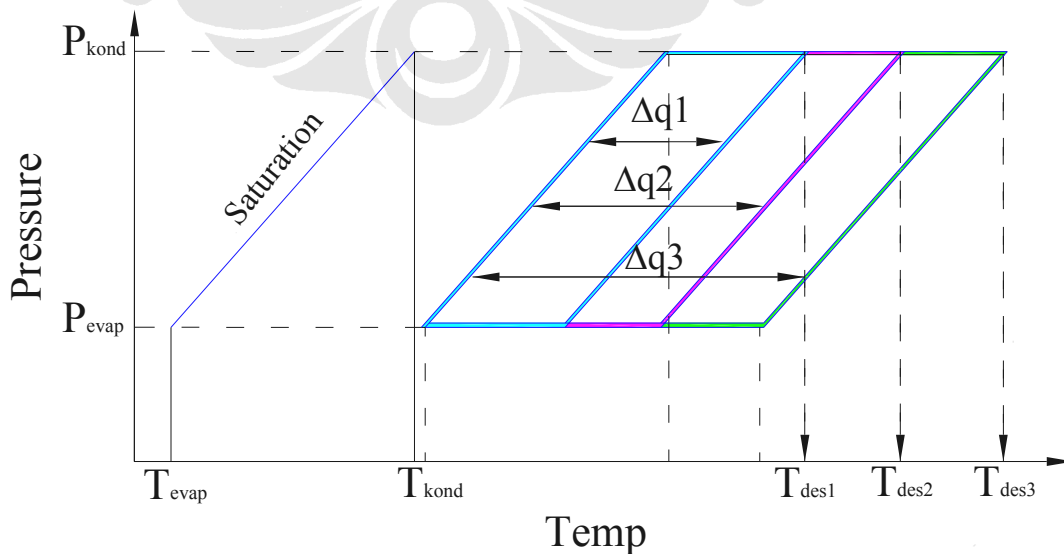
Penggambaran siklus ideal pendinginan sistem adsorpsi menggunakan diagram clapeyron seperti pada gambar 2.7. Garis isoterm 6-3, menunjukkan proses adsorpsi dengan kapasitas penyerapan/adsorpsi q meningkat dari kanan ke kiri pada adsorber. Bersamaan tahap ini terjadi efek refrigrasi yang terjadi di evaporator. Proses adsorpsi berakhir pada titik 3 yaitu perpotongan antara tekanan evaporator dengan temperatur air pendingin adsorber T_3 . Garis 1-2 menunjukkan tekanan uap jenuh untuk adsorbat murni. Lalu adsorben yang ada didalam adsorber di panaskan (*pre-heated*) sehingga tekanannya meningkat dari tekanan evaporator ke tekanan kondenser (titik 4). Kemudian pada tekanan kondensasi konstan adsorber terus dipanaskan sampai pada titik 5 dengan temperatur T_5 , selama tahap ini adsorbat dalam adsorber menguap/terdesorpsi. Kapasitas adsorbat dalam adsorber berkurang dari kiri ke kanan (4-5) dan adsorbat

yang terdesorpsi akan menjadi cair melalui proses kondensasi di kondensor. Garis 5-6 adalah proses pendinginan (*pre-cooled*) adsorber sehingga tekanan adsorber turun dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi pada temperatur T_6 . Dari titik 6 adsorber terus didinginkan sampai mencapai temperatur T_3 . Garis 6-3 menunjukkan proses adsorpsi pada tekanan konstan [3.5].



Gambar 2.7. Diagram Clapeyron ideal [1]

Rasio antara efek refrigrasi yang dihasilkan pada saat adsorpsi terhadap kalor yang diberikan untuk menaikkan temperatur dan desorpsi adsorbat pada adsorber adalah *coefficient of performance* (COP).



Gambar 2.8 Pengaruh Perbedaan temperatur pada Diagram Clapeyron [1]

untuk variasi temperatur pada saat desorpsi dapat dilihat seperti pada gambar 2.8 bahwa apabila temperatur yang digunakan untuk memanaskan adsorber ditingkatkan dari T_{des1} menjadi T_{des2} maka terdapat perubahan yaitu terjadinya peningkatan kapasitas adsorpsi Δq , dan apabila temperatur T_{des3} diturunkan menjadi T_{des1} maka Δq akan mengecil. Peningkatan Δq dengan meningkatnya temperatur yang masuk menunjukkan peningkatan kapasitas pendinginan.

Sedangkan COP akan ikut meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur inlet pada adsorber kemudian pada saat temperatur puncak tertentu COP akan mencapai nilai tertinggi dan kemudian mengalami penurunan kembali walaupun temperatur inlet terus meningkat.

2.6 TEMPERATUR DAN TEKANAN SATURASI

Temperatur saturasi adalah temperatur tertentu yang diberikan pada suatu substansi dimana substansi berubah fasanya, sedangkan tekanan saturasi adalah tekanan tertentu yang diberikan pada suatu substansi sehingga pada tekanan tersebut substansi berubah fasa.

2.7 KALOR

2.7.1 Kalor Spesifik

Kalor spesifik adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur satu derajat persatu unit massa suatu substansi.

2.7.2 Kalor laten

Kalor laten adalah kalor yang diberikan atau yang dilepaskan oleh suatu jenis substansi sehingga fasa substansi tersebut berubah. Perubahan fasa dapat dari padat menjadi cair dan cair menjadi gas. Jika kalor yang diserap oleh suatu substansi hingga substansi tersebut mencair atau kalor yang dilepaskan ketika substansi akan membeku, maka disebut kalor laten peleburan. Sedangkan jika suatu substansi menyerap kalor ketika akan menguap atau kalor yang dilepas oleh substansi ketika substansi tersebut terkondensasi disebut kalor laten penguapan. Besaran kalor laten tergantung pada tekanan dan temperatur ketika perubahan fasa terjadi.

$$Q_L = L_e \cdot m \quad (2.1)$$

Dimana :

Q_L = Kalor laten Zat [J]

L_e = Kapasitas kalor spesifik [J/kg]

m = Massa zat [kg]

2.7.3 Kalor Sensibel

Kalor sensibel adalah kalor yang diberikan atau yang dilepaskan oleh suatu jenis fluida sehingga temperaturnya naik atau turun tanpa menyebabkan perubahan fasa fluida tersebut.

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Dimana :

Q_s = Kalor sensibel zat [J]

C_p = Kapasitas kalor spesifik [J/kg. K]

ΔT = Beda temperatur [K]