

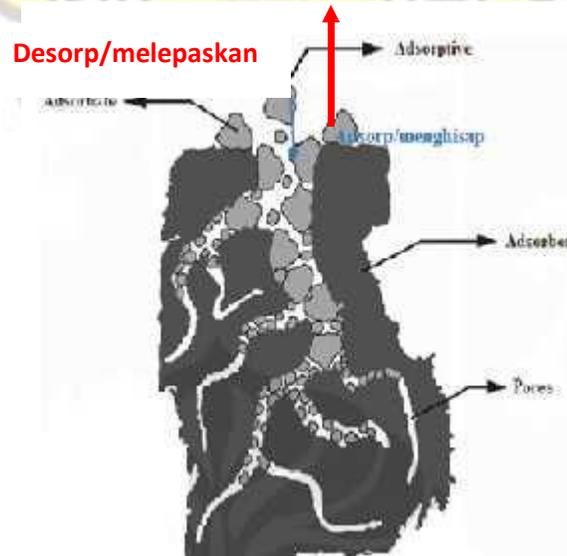
## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Adsorpsi.

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat pada 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.

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



Gambar 2.1. *Adsorption Nomenclature.*

Pada umumnya proses adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua proses yaitu proses adsorpsi secara fisik yang disebabkan oleh gaya *Van Der Waals*, dan secara kimia yang disebabkan melalui reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan atom-atom penyusun permukaan adsorben. Jika interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relative lemah, maka proses itu disebut sebagai adsorpsi fisik. Walaupun *adsorpsi* biasa 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 dimana material pada *adsorbat* terakumulasi didefinisikan sebagai *adsorben*.

Pada dasarnya adsorben dibagi menjadi tiga yaitu, *adsorben* yang mengadsorpsi secara fisik (karbon aktif, silica gel dan zeolit). *Adsorben* yang mengadsorpsi secara kimia (*calcium chloride*, *metal hydrides*, dan *complex salts*), dan composite adsorbent yang mengadsorpsi secara kimia dan fisik.

### **2.1.1. Adsorpsi Secara Fisika.**

Proses *adsorpsi* atau penyerapan adalah *phenomena* fisik yang terjadi saat 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*.

Berdasarkan interaksi molekul antara permukaan adsorben dengan *adsorbat*, *adsorpsi* dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu penyerapan secara fisika (*adsorpsi*) dan penyerapan secara kimia (*absorpsi*).

Pada *adsorpsi* jenis ini, *adsorpsi* terjadi tanpa adanya reaksi antara molekul-molekul *adsorbat* dengan permukaan *adsorben*. Molekul-molekul adsorbat terikat secara lemah karena adanya gaya *Van Der Waals*. *Adsorpsi* ini relative berlangsung cepat dan bersifat reversibel (*reversible*), Karena dapat berlangsung dibawah temperature kritis *adsorbat* dengan relative rendah, maka panas adsorpsi yang dilepas juga rendah. *Adsorbat* yang terikat secara lemah pada permukaan adsorben, dapat bergerak dari suatu bagian permukaan kepermukaan lain. Peristiwa adsorpsi fisika mengakibatkan molekul-molekul gas yang teradsorpsi mengalami kondensasi. Besarnya panas yang dilepaskan dalam proses adsorpsi fisika adalah kalor kondensasinya.

Proses *Adsorpsi* fisik terjadi tanpa memerlukan energy aktivitas, sehingga proses tersebut membentuk lapisan jamak (*multilayers*) pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara *degassing* atau pemanasan pada temperature 150-200°C selama 2-3 jam.

### **2.1.2 Adsorpsi Secara Kimia.**

Dalam hal ini, adsorpsi terjadi karena adanya reaksi kimia antar molekul-molekul *adsorbat* dengan permukaan *adsorben*. *Adsorpsi* jenis ini diberi istilah sebagai “*Adsorption*” dan bersifat tidak reversibel hanya membentuk satu lapisan

tunggal (*monolayer*). Umumnya terjadi pada temperature kritis *adsorbat*. Sehingga kalor adsorpsi yang dibebaskan tinggi *adsorben* yang mengadopsi secara kimia pada umumnya sulit diregenerasi.

### 3.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi.

Daya *adsorpsi* dipengaruhi oleh tiga factor. Yaitu :

1. Tekanan (P), Tekanan yang dimaksud adalah tekanan *adsorbat*, kenaikan tekanan *adsorbat* dapat menaikkan tekanan yang diadsorpsi.
2. Temperatur *absolute* (T), temperature yang dimaksud adalah temperature *absorbat*, pada saat molekul-molekul gas atau absorbat melekat pada permukaan *absorben* akan terjadi pembebasan sejumlah energy yang dinamakan peristiwa *exothermic*. Berkurangnya temperature akan menambah jumlah adsorbat yang terapsopsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.
3. Interaksi potensial (E), interaksi potensial antara adsobat dengan dinding *adsorben* sangat bervariasi, tergantung dari sifat *adsobat-adsorben*.

### 3.2 Pasangan Adsorben dan Adsorbat.

Pasangan adsorben dan adsorbat untuk adsorpsi fisik adalah silica gel-air, zeolit-air, karbon aktif ammonia, karbon aktif methanol, Zeolit –air dan silica gel merupakan pasangan adsorben untuk pembuatan es. Adsorben memiliki pasangan masing-masing, pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Polar *adsorben* atau *Hydrophilic*, meliputi silica gel, zeolite, active alumina. Dengan air sebagai adsorbatnya.
2. *Non polar adsorben* atau *Hydrophobic*, meliputi karbon active dan adsorben polimer. Dengan oli atau gas sebagai adsorbatnya.

### 3.2.1 Adsorbent.

Luasnya permukaan specific, sangat mempengaruhi besarnya kapasitas penyerapan dari adsorben. Semakin luas permukaan spesifik dari *adsorben*, maka semakin besar pula kemampuan penyerapannya. Volume adsorben membatasi jumlah dan ukuran pori-pori pembentuk permukaan dalam (internal surface) yang menentukan besar atau kecilnya permukaan penyerapan spesifik. Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi :

1. Luas permukaannya besar, sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi.
2. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorp.
3. Memiliki daya tahan guncang yang baik.
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.

Macam-macam *Adsorbent* yang umum digunakan, antara lain :

#### a. Silica Gel.

Silica gel cenderung mengikat *adsorbet* dengan energy yang relative lebih kecil dan membutuhkan temperature yang rendah untuk proses desorpsinya, dibandingkan jika menggunakan adsorben lain seperti karbon atau zeolite.

Kemampuannya desorpsi silica gel mengikat dengan meningkatnya temperature. Silica gel terbuat dari silica dengan ikatan kimia mengandung air kurang lebih 5 %. Pada umumnya temperature kerja silica gel sampai pada 200° C, jika dioperasikan lebih dari batas temperature kerjanya maka kandungan air dalam silica gel akan hilang dan menyebabkan kemampuan adsorpsinya hilang. Bentuk butiran silica gel yang banyak digunakan untuk proses adsorpsi adalah seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk Butiran Silica Gel.

**b. Aktif Karbon.**

Aktif karbon dapat dibuat dari batu bara, kayu dan tempurung kelapa melalui proses *pyrolizing* dan *carburizing* pada temperature 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 methanol atau ammonia samapai dengan 30%, bahkan karbon aktif super dapat mengadsorpsi sampai 2 kalinya. Bentuk butiran karbon aktif adalah seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk Butiran Karbon Aktif.

**c. 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 0.030 cm<sup>3</sup>/gram dan dapat dipanaskan sampai 500°C tanpa harus kehilangan kemampuan adsorpsi dan generasinya. 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.

### 3.3 Adsorbat.

Adsorbat yang biasa digunakan untuk pendingin air, methanol, dan ammonia.

#### a. Air.

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

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

**b. Metanol.**

Dibanyakan kemampuan methanol atau performa methanol berada diantara air dan ammonia. Methanol memiliki tekanan penguapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air (meskipun pada tekanan 1 atm), sehingga sangat cocok untuk membuat es. Meskipun demikian pada temperature lebih dari  $120^{\circ}\text{C}$ , tekanan menjadi tidak stabil. Untuk temperature aplikasi lebih dari  $200^{\circ}\text{C}$  adsorben yang iasa digunakan adalah karbon aktif, silica gel, dan zeolit.

**c. Ammonia.**

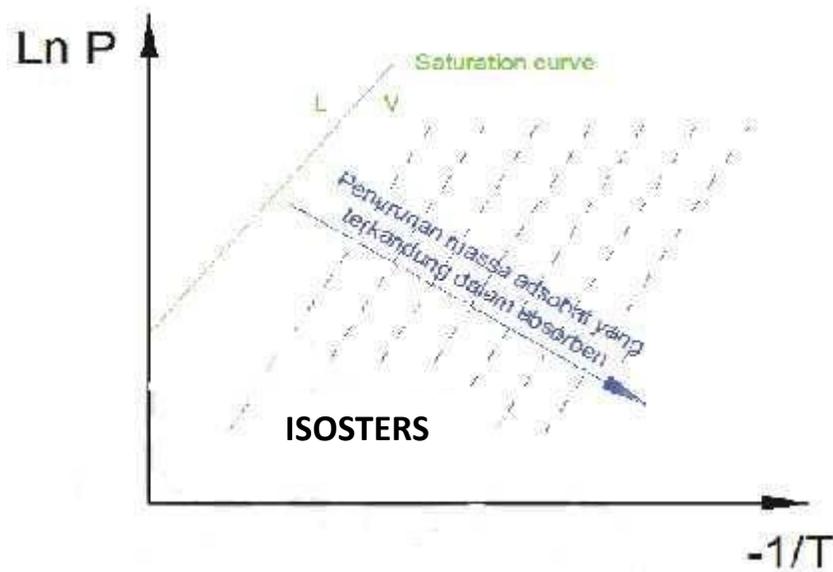
Besarnya panas laten spesifik ammonia adalah setengah lebih rendah dari panas laten spesifik air, pada temperature  $0^{\circ}\text{C}$  dan memiliki tekana penguapan yang tinggi. Ammonia memiliki keuntungan yang ramah lingkungan dan dapt digunakan sebagai refrigerant sampai  $40^{\circ}\text{C}$ , dan dapat dipanaskan sampai  $200^{\circ}\text{C}$ . kerugian dari ammonia :

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

### **3.4 Siklus Ideal System Pendingin Adsorpsi.**

Adsorpsi dan desorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara reversible. 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 system tersebut maka perherakan molekul adsorbat akan meningkat sehingga pada jumlah panas tertentu akan menghasilkan energy kinetik molekul adsorbat yang cukup untuk merusak gaya *Van Der Waals* antar 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 adsorben dapat digambarkan oleh garis *isoters* pada diagram tekanan vs temperature ( $\ln P$  vs  $-1/T$ ) seperti pada gambar 2.6.

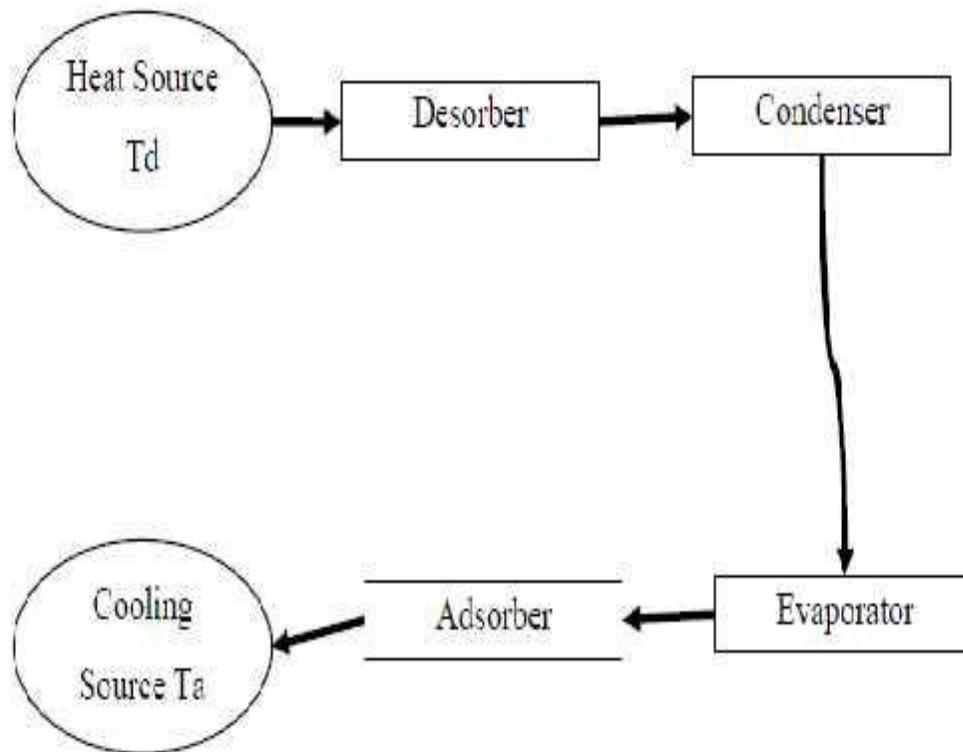


Gambar 2.5. Diagram tekanan vs temperature yang menggambarkan garis isoters.

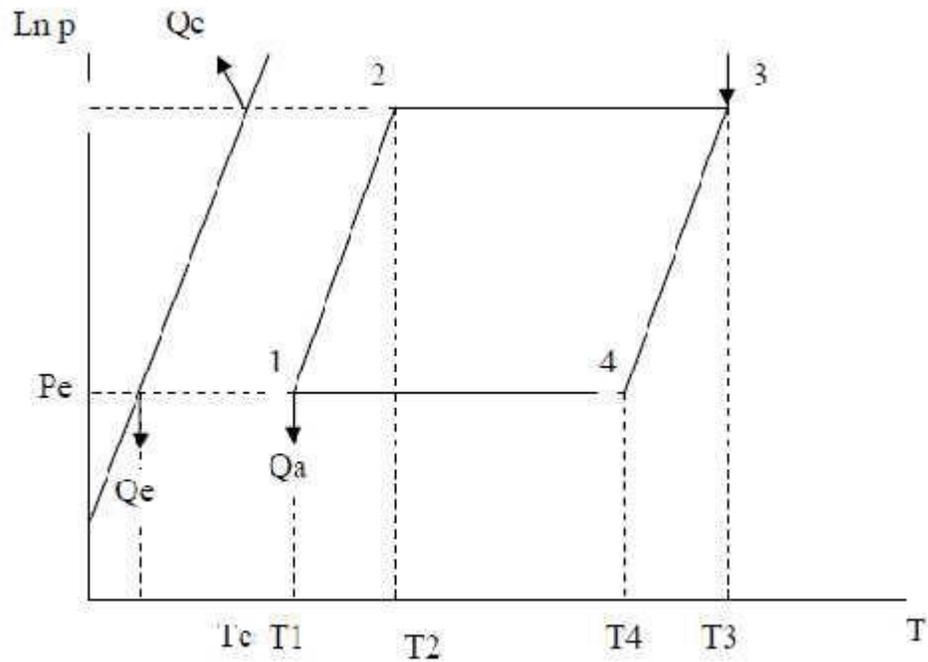
Adsorben dapat berfungsi sebagai adsorber atau desorber a, tergantung pada proses siklus. Sebuah desorber (generator) menerima panas dari sistem pemanas yang memberikan energi untuk melepaskan adsorbat dari adsorben.

Sebuah kondensor perubahan fase uap dari adsorbat ke dalam cairan dengan melepaskan kondensat panas ke lingkungan. sebuah evaporator memberikan panas pada suhu rendah.

Sebuah adsorber re-adsorpsi uap adsorbat dari evaporator. Karena proses adsorpsi adalah eksotermis, untuk menjaga proses adsorpsi, pendinginan a sistem yang dibutuhkan untuk menjaga tekanan adsorber. Skema adsorpsi dasar siklus refrigerasi ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6. Schematic of basic adsorption refrigeration cycle



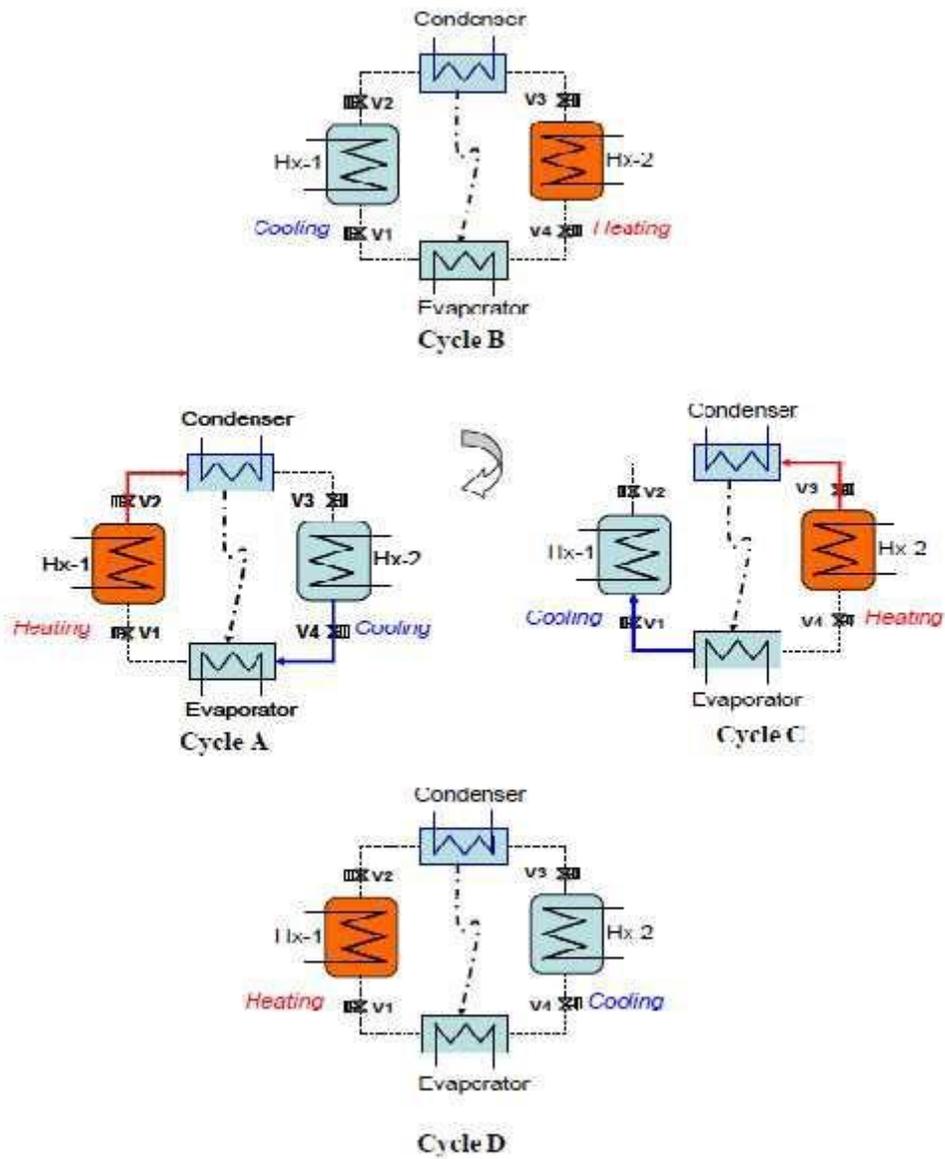
Gambar 2.7. Diagram Konseptual during diagram pada system Adsorpsi

Sistem adsorpsi pendingin terdiri dari empat langkah termodinamika sebagai berikut (Gambar 2.8) : Pemanasan , desorpsi , dan kondensasi ( 2 → 3 ) : Desorber menerima panas ( $Q_d$ ) dari sistem pemanas dengan mengalirkan fluida panas di heat exchanger. Selama periode ini, desorber akan terhubung ke kondensator . Uap refrigeran akan dibebaskan dari desorber dan cair dalam kondensator . Sebuah penukar panas dalam kondensator akan menerima kondensasi panas dan rilis ke heat sink kedua (  $Q_c$  ) pada suhu menengah dengan mengalirkan kondensator pendinginan cairan. Tekanan kerja disimpan pada tekanan kondensator (  $P_c$  ). Pendinginan dan depressurization ( 3 → 4 ) : Selama periode ini , proses sorber melepaskan panas sementara berhenti (tertutup) . Suhu sorbent menurun, yang menginduksi tekanan

menurun dari tekanan kondensasi ( $P_c$ ) ke tekanan penguapan ( $P_e$ ). Pendinginan, adsorpsi, dan penguapan ( $4 \rightarrow 1$ ): Selama periode ini, sorber yang terus melepaskan panas ketika sedang terhubung ke evaporator, Suhu sorbent terus menurun ( $T_4 \rightarrow T_1$ ) akan menginduksi adsorpsi uap. Uap teradsorpsi di evaporator. penguapan panas ( $Q_e$ ) akan menghasilkan sumber panas pada suhu rendah. Pemanasan dan bertekanan ( $1 \rightarrow 2$ ): Selama periode ini, desorber menerima panas sementara tertutup. Peningkatan suhu sorben, yang menginduksi tekanan akan meningkat, pada tekanan penguapan hingga tekanan kondensasi ( $P_e \rightarrow P_c$ ). Gambar 2.8 menunjukkan skema Single Tahap chiller. Dua bed yang diperlukan untuk menghasilkan efek pendinginan terus menerus dalam Single Tahap chiller. Jika satu bed bekerja di desorpsi proses, bed yang lain bekerja dalam proses adsorpsi....

### **3.6 Prinsip System Pendingin 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 dengan memberikan panas pada adsorben. Bentuk sederhana dari siklus pendingin adsorpsi seperti dua botol labu yang berhubngan seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.8. two-bed single cycle.

Pada awalnya system dikondisikan pada tekanan dan temperature rendah. dua buah bed yang berhubungan, dimana pada bed pertama terdapat adsorben (karbon aktif) yang mengandung adsorbat berkonsentrasi tinggi sedangkan pada bed yang kedua terdapat adsorbat dalam fase uap (Gambar 2.5). bed pertama yang berisi

adsorben dengan kandungan adsorbat berkonsentrasi tinggi dipanaskan, sehingga sistem meningkat dan menyebabkan kandungan adsorbat yang didalam adsorben berkurang atau menguap. Proses berkurangnya kandungan adsorbat pada adsorben pada kasus ini disebut desorpsi.

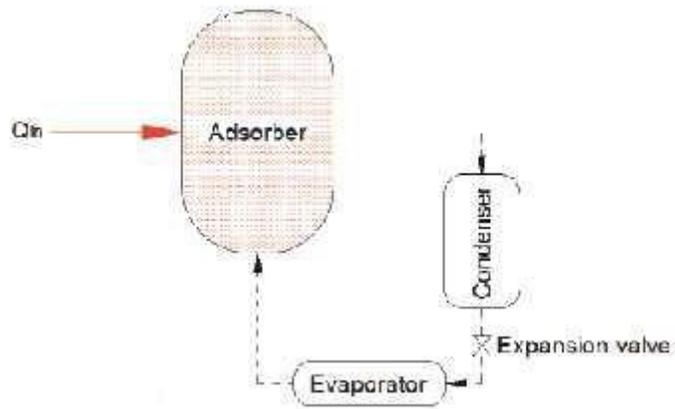
Adsorbat yang menguap kemudian terkondensasi dan mengalir ke bed yang kedua, disini panas dilepaskan ke lingkungan dimana tekanan system masih tinggi. Pemanasan pada bed pertama dihentikan, lalu pada bed yang pertama terjadi perpindahan panas ke lingkungan sehingga tekanan system menjadi rendah. Tekanan system yang rendah menyebabkan adsorbat cair pada bed yang kedua menguap dan terserap ke bed pertama yang berisi adsorben. Proses terserapnya adsorbat ke adsorben pada kasus ini disebut *adsorpsi*. Proses adsorpsi menghasilkan efek pendingin yang terjadi pada bed kedua, dimana pada tekanan rendah panas dari lingkungan diserap untuk menguapkan adsorbat (Gambar 2.5) sampai system kembali ke kondisi awal dimana pada bed pertama berisi adsorben dengan kandungan adsorbat berkonsentrasi tinggi dan pada bed kedua terdapat adsorbat pada fase gas (Gambar 2.5).

Keempat proses tersebut adalah sebagai berikut :

### **3.6.1 Proses pemanasan (pemberian tekanan).**

Selama periode ini, tidak ada aliran fluida yang masuk maupun keluar dari adsorber, adsorber menerima panas sehingga temperature adsorber meningkat dan diikuti oleh peningkatan tekanan dari evaporasi menjadi tekanan

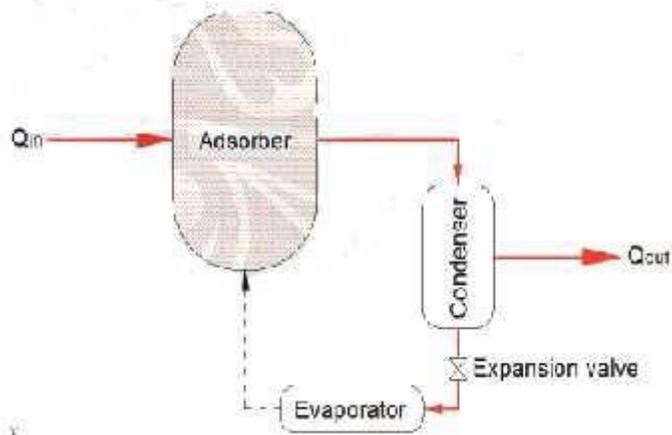
kondensasi. Proses ini sama seperti proses kompresi pada system pendingin mekanik. Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Proses pemanasan.

### 3.6.2 Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi.

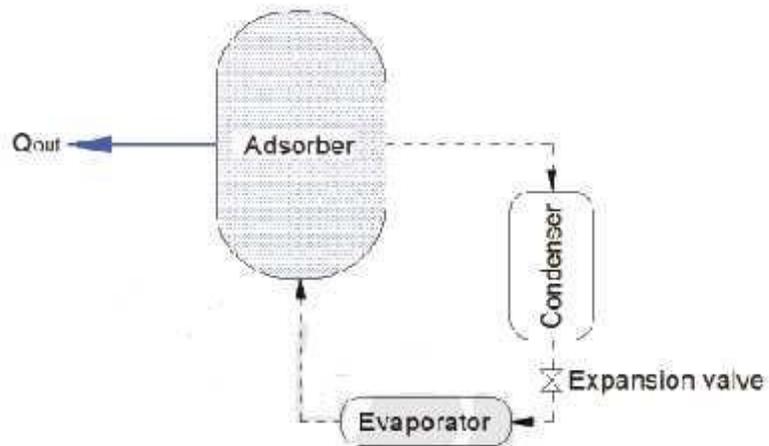
Selama priode ini, adsorber terus dialiri panas sehingga adsorber terus mengalami peningkatan dan temperature yang menyebabkan timbulnya Uap desorpsi. Sementara itu, katup aliran ke kondensor sehingga adsorbatdalam bentuk gas mengalir ke kondensor untuk mengalami proses kondensasi menjadi cair. Kalor laten pengembunan adsorbat diserap oleh media pendingin pada kondensor. Siklus ini sama dengan siklus kondensasi pada system pendinginan mekanik. Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi.

### 3.6.3 Proses pendinginan (penurunan tekanan).

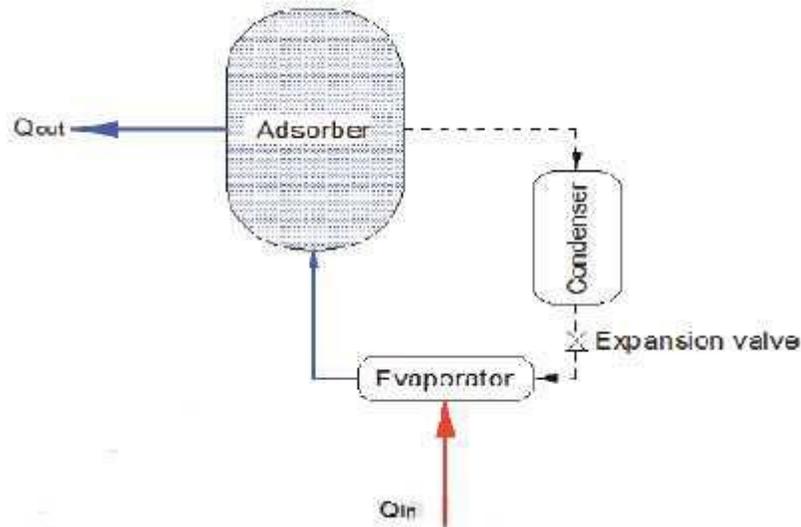
Selama periode ini, tidak ada aliran fluida kerja yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber melepas panas dengan cara didinginkan sehingga suhu di adsorber turun dan diikuti oleh penurunan tekanan dari kondensasi ke tekanan evaporasi. Proses ini sama seperti proses ekspansi pada system pendingin mekanik. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Proses pendinginan.

### 3.6.4 Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi.

Selam periode ini, adsorber terus melepaskan panas sehingga adsorber terus mengalami penurunan temperature dan tekana yang menyebabkan timbulnya uap adsorpsi. Sementara itu, katup aliran 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 temperature saturasi yang rendah pula. Proses ini diilustrasikan pada gamnbar 2.12.



Gambar 2.12. Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi.

### 3.7 Temperatur dan tekanan saturasi.

Tekanan satu rasi adalah tekanan yang terjadi saat suatu subtansi pada temperatur tekanan mengalami perubahan fasa. Temperature saturasi yaitu

temperature pada saat suatu substansi berada pada tekanan tertentu mengalami perubahan fasa. Ketika substansi mengalami perubahan fasa, substansi memerlukan ataupun melepaskan kalor laten tergantung perubahan fasa yang terjadi.

### **3.8 Kalor.**

Kalor ( $Q$ ) adalah salah satu bentuk energi. Fakta dengan jelas membuktikan bahwa kalor dapat diubah menjadi bentuk energi lain dan begitu pula sebaliknya. Secara termodinamik kalor didefinisikan sebagai *“Energy in transit from one body to another as the result of a temperature difference between the two bodies”*.

Kualitas energi kalor ( $Q$ ) dihitung dalam satuan joules (J). laju aliran kalor dihitung dalam satuan joules per detik (J/s) atau watts (W). laju aliran energi ini juga disebut daya, yaitu laju dalam melakukan usaha.

#### **3.8.1 Kalor Spesifik.**

Kalor spesifik adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan temperature satu derajat persatu unit massa suatu substansi. Energi ini tergantung pada bagaimana proses dilakukan. Pada termodinamika, terdapat dua jenis kalor spesifik yaitu : kalor spesifik pada volume konstan  $C_v$  dan kalor spesifik pada tekanan konstan  $C_p$ .

Secara fisik, kalor spesifik pada volume konstan dapat digambarkan sebagai energi yang dibutuhkan untuk menaikkan atau menurunkan temperature satu derajat persatu unit massa suatu substansi selama volume dijaga konstan. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan hal yang sama selama tekanan konstan disebut sebagai kalor spesifik pada tekanan konstan atau  $C_p$ .

$$C_v = \frac{\partial u}{\partial T} v$$

$$C_p = \frac{\partial h}{\partial T} p$$

Kalor spesifik pada temperatur konstan  $C_p$  selalu lebih besar dari  $C_v$  karena pada tekanan konstan, system dapat memuai dan energi untuk kerja ekspansi ini juga harus disuplay ke dalam system tersebut.

### 3.8.2 Kalor Laten.

Kalor laten adalah jumlah energi yang diserap ataupun dilepaskan saat perubahan fasa terjadi. Lebih lanjut, jumlah energi yang diserap selama proses pencairan disebut sebagai jumlah kalor laten peleburan dan jumlahnya sama dengan jumlah energi yang dibutuhkan selama proses pembekuan. Begitu pula dengan jumlah energi yang diserap selama proses penguapan sebut sebagai jumlah kalor laten pengupaan yang jumlahnya sama dengan jumlah energi yang dilepas selama proses pengembunan. Besarnya kalor laten tergantung pada temperature dan tekanan ketika perubahan fasa terjadi.

$$Q_L = L_e \cdot m$$

Dimana :

$Q_L$  = Kalor laten Zat [J]

$L_e$  = Kapasitas kalor spesifik laten [J/kg]

$m$  = Massa zat [kg]

### 3.8.3 Kalor Sensibel.

Tingkat panas atau intensitas panas dapat diukur ketika panas tersebut merubah temperature dari suatu substansi. Perubahan intensitas panas dapat diukur dengan thermometer. Ketika perubahan temperature didapatkan, maka dapat diketahui bahwa intensitas panas telah berubah dan disebut sebagai panas sensible. Dengan kata lain, kalor sensible adalah kalor yang diberikan atau yang dilepaskan oleh suatu jenis fluida sehingga temperaturnya naik atau turun tanpa menyebabkan perubahan fasa fluida tersebut.

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana :

$Q_s$  = Kalor Sensibel zat [J]

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

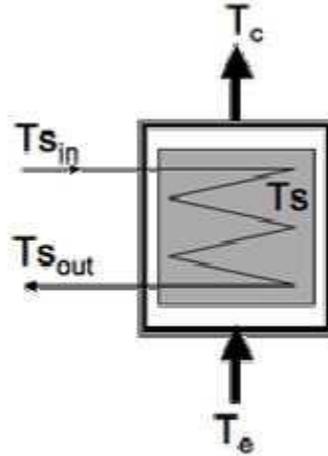
$\Delta T$  = Beda temperature [K].

### **3.9 Pemodelan matematika dan symbol metodologi.**

Banyak peneliti mengamati proses dinamis dari panas dan massa transfer sebuah adsorpsi pendingin / panas sistem pompa mempertimbangkan berbagai model matematika. Sakoda dan Suzuki mengusulkan model transien untuk menganalisis pengaruh kondisi operasi pada kinerja unit adsorpsi pendingin. Chuo et al, Saha et al mengusulkan model untuk silica gel-air siklus adsorpsi mempertimbangkan tekanan dan suhu yang sama. Sub bagian ini menyajikan pemodelan dasar dalam siklus adsorpsi model mereka.

### 3.9.1 Panas dan keseimbangan energi.

Diagram skematik adsorber dapat dijelaskan dalam



Gambar 2.13. Schematic diagram of adsorber

Keseimbangan energi adsorber dapat ditulis sebagai berikut:

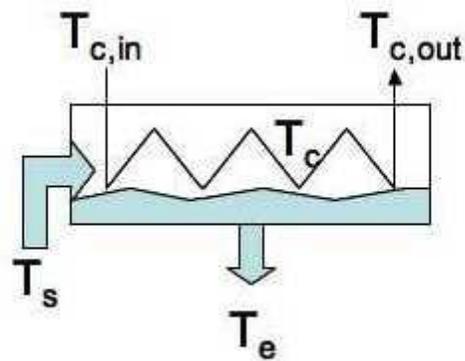
$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (W_s C_s + W_s C_d + W_{hex} C_{hex} T_s) &= W_s Q_{st} \frac{dq}{dt} \\ &+ \delta [\gamma (T_s - T_c) - (1 - \gamma) (T_s - T_e)] W_s C_w \frac{dq}{dt} \\ &+ F_s (T_{s,in} - T_{s,out}) \end{aligned}$$

di mana, d akan lebih baik 1 atau 0 tergantung apakah bed terhubung ke kondensor / evaporator atau tidak dan g sama dengan 1 atau 0 tergantung proses yang terjadi pada bed sebagai desorber atau adsorber. Suhu outlet air panas dan pendingin dapat dihitung dari persamaan keseimbangan energi dari fluida perpindahan panas (air panas dan pendingin) sebagai berikut:

$$T_{s,out} = T_s + (T_{s,in} - T_s) \exp\left(-\frac{U_{hcx} A_{hcx}}{F C_w}\right)$$

Diagram skematik kondensor penukar panas (Gambar 2.14) dan cairan perpindahan panas

(air pendingin) persamaan keseimbangan energi adalah sebagai berikut:



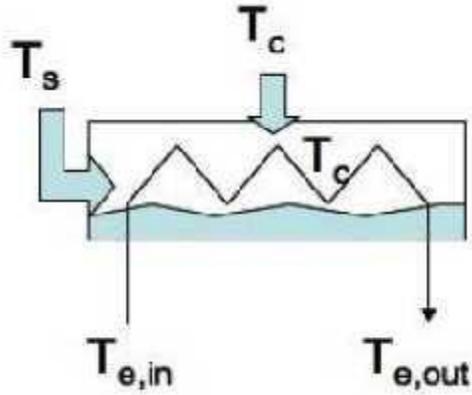
Gambar 2.14. Schematic diagram of condenser.

$$\frac{d}{dt} \{ (W_{c,hcx} C_{c,hcx} + W_{cv,w} C_w) T_c \} = -L W_s \frac{dq_{des}}{dt} - (T_{des} - T_c) \frac{dq_{des}}{dt} + F_c C_w (T_{c,in} - T_{c,out})$$

Suhu outlet kondensor pendingin dapat ditulis sebagai:...

$$T_{c,out} = T_c + (T_{c,in} - T_c) \exp\left(-\frac{U_{c,hcx} A_{c,hcx}}{F_c C_w}\right)$$

Diagram skematik evaporator dapat digambarkan sebagai Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Schematic diagram of evaporator

Penyalar evaporator panas dan keseimbangan energi air dingin dapat dinyatakan

$$\frac{d}{dt} \{ (W_{e,hex} C_{e,hex} + W_{ev,w} C_w) T_c \} = -LW_s \frac{dq_{ads}}{dt} - (T_c - T_e) \frac{dq_{des}}{dt} + F_c C_w (T_{e,in} - T_{e,out})$$

$$T_{e,out} = T_c + (T_{e,in} - T_c) \exp\left(-\frac{U_{e,hex} A_{e,hex}}{F_c C_w}\right)$$

Panas dan massa persamaan keseimbangan di atas dipecahkan oleh perbedaan iterasi yang terbatas dengan interval waktu 1 s. Adsorben penyalar panas, evaporator dan kondensor tingkat ditetapkan.

### 3.9.2 Indikator Kinerja.

COP dan SCP adalah dua indikator nilai kinerja digunakan untuk mengevaluasi siklus kinerja. Nilai COP menunjukkan efisiensi sistem. Selama proses pemanasan, input panas rata-rata dari sumber panas dapat diperkirakan sebagai:...

$$Q_{hp} = \frac{F_{hot} C_w}{t_{cycle}} \int_0^{t_{cycle}} (T_{hotin} - T_{hotout}) dt$$

dan rata-rata panas yang dilepaskan oleh evaporator (efek pendinginan),

$$Q_{eva} = \frac{F_c C_w}{t_{cycle}} \int_0^{t_{cycle}} (T_{chillin} - T_{chillout}) dt$$

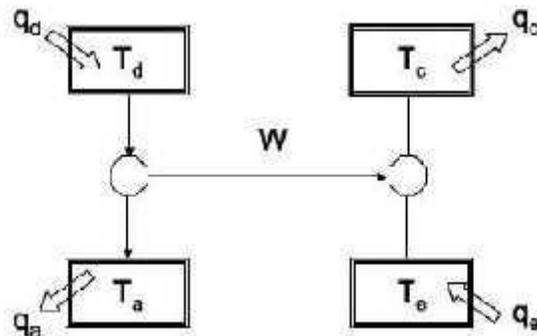
Oleh karena itu, koefisien kinerja (COP) dapat ditulis sebagai rasio antara panas yang dilepaskan oleh evaporator dan sumber panas masukan,

$$COP = \frac{Q_{eva}}{Q_{in}}$$

### 3.9.3 Koefisien kinerja siklus penyerapan ideal.

Dalam hal tertentu adalah menerapkan waktu COP ke sistem ad-penyerapan disayangkan karena nilainya rendah dibandingkan dengan siklus uap-kompresi. Nilai relatif rendah COP tidak boleh dianggap prejudicial ke sistem penyerapan, karena

COP dari dua siklus didefinisikan secara berbeda. COP siklus kompresi uap adalah rasio tingkat pendinginan dengan kekuatan di bentuk proses kerja, biasanya jauh lebih berharga dan mahal dari pada energi dalam bentuk panas.



Gambar 2.17. Schematic COP ideal of adsorption cycle

Lebih lanjut ke perbedaan efektivitas penyerapan dan vaporcompression siklus disediakan oleh latihan menentukan COP siklus ideal. Lain lebih tepatnya, COP dari panas yang dioperasikan siklus ideal akan dievaluasi. Gambar 2.17 menunjukkan bagaimana melanjutkan dengan analisis, karena proses dalam kotak di sebelah kiri terdiri dari siklus terkuat sehingga mengembangkan kerja yang dibutuhkan untuk melakukan kompresi uap dari evaporator ke kondensor. Kedua siklus skematis diperlihatkan pada angka tersebut. Kekuatan menerima energi dalam bentuk panas  $Q_G$  pada suhu absolut  $T_d$ , memberikan beberapa energi  $E$  dalam bentuk kerja ke siklus pendinginan, dan menolak sebuah kuantitas  $q_a$  energi dalam bentuk panas pada suhu  $T_a$ . Siklus refrigerasi menerima  $W$  kerja dan dengan itu pompa  $q_e$  panas pada suhu pendingin dari  $T_e$  untuk suhu  $T_a$ , di mana  $q_c$  kuantitas ditolak. dengan harapan

siklus dapat beroperasi dengan proses termodinamika reversibel antara dua suhu siklus Carnot , yang muncul sebagai persegi panjang pada suhu entropi diagram . Untuk daya siklus di sisi kiri dari angka

$$\frac{q_d}{W} = \frac{T_d}{T_d - T_a}$$

dan untuk pendinginan siklus di sisi kanan

$$\frac{q_c}{W} = \frac{T_c}{T_a - T_c}$$

tingkat pendinginan dalam persamaan di atas adalah  $q_c$ , dan laju penambahan panas pada

generator  $q_d$ , menggunakan ungkapan ini untuk  $q_d$  dan  $q_c$  dari eq.2.11 dan eq.2.12, masing-masing,

$$COP = \frac{q_c}{q_d} = \frac{WT_c}{T_a - T_c} \frac{T_d - T_a}{WT_d} = \frac{T_c(T_d - T_a)}{T_d(T_a - T_c)}$$

