

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Fumo *et al.* (2002) melakukan penelitian eksperimental mengenai kinerja *dehumidification system* dengan menggunakan LiCl sebagai *liquid desiccant*. Menara pengkondisian udara terbuat dari *acrylic* dengan dimensi tinggi 60 cm dan diameter 25,4 cm. Pada sistim distribusi *desiccant* menggunakan *spray nozzle* yang diletakkan pada bagian atas menara. Untuk memperluas bidang kontak antara *desiccant* dengan udara digunakan *packing* dari bahan *polypropylene*. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa penurunan kelembaban akan terjadi semakin besar jika konsentrasi *desiccant* dan kelembaban udara masuk semakin besar sedangkan temperatur *desiccant* masuk semakin rendah. Debit udara memiliki pengaruh yang lebih kompleks. Pada aliran udara dengan debit rendah, waktu kontak antara udara dan *desiccant* semakin lama sehingga meningkatkan kemungkinan transfer massa. Tetapi, pada debit udara yang lebih tinggi, udara yang sudah dikeringkan akan lebih cepat terbawa dari lapis batas antara udara dengan *desiccant* sehingga lebih banyak udara yang kontak dengan *desiccant*. Hal ini memungkinkan terjadinya transfer massa yang lebih besar.

Dai, Y.J *et al.* (2003) melakukan penelitian akan transfer massa dan kalor pada *cross flow liquid desiccant dehumidifier* dengan menggunakan *packing* yang berbentuk seperti sarang lebah (*honeycomb*). Pada pengujian ini Dai menggunakan larutan 40% CaCl_2 sebagai *liquid desiccant*, yang berdasarkan akan nilai ekonomis dibanding *liquid desiccant* yang lain, seperti LiBr maupun LiCl. Proses yang terjadi dimulai dengan dilewatkan udara oleh fan pada *dehumidifier* dan *desiccant* cair didistribusikan di atas *packing*, sehingga akan terjadi kontak antara udara dan *desiccant* secara *cross flow* terutama pada daerah *packing*. Dalam tinjauan ini terjadi lapisan film pada *packing* yang akan memperluas bidang kontak udara dan *desiccant* sehingga transfer massa dan kalor dapat lebih optimal. Pada penelitian ini juga dilengkapi dengan *regenerator*, yang berfungsi meregenerasi *desiccant* cair (CaCl_2) pada kondisi awal sehingga siklus dehumidifikasi dapat terjaga. *Desiccant* perlu diregenerasi karena kondisi *desiccant* yang semakin jenuh yang disebabkan adanya transfer massa dan kalor pada saat terjadi kontak dengan udara. Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa besarnya transfer massa dan panas pada *dehumidifier* secara simulasi numerik dengan besarnya transfer massa dan panas pada *dehumidifier* secara teoritis berbeda, hal ini dikarenakan pada

kenyataannya (secara ekperimental) koefisien transfer panas dan massa sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat termodinamik *desiccant* cair itu sendiri. Disini juga ditunjukkan bahwa luas bidang kontak yang terjadi juga berpengaruh terhadap transfer massa dan kalor yang terjadi. Semakin besar luas bidang kontak, maka transfer massa dan kalor yang terjadi juga semakin besar pula.

Ali, A. *et al.* (2004) melakukan penelitian secara analitis mengenai transfer massa dan kalor pada *dehumidification system* dengan menggunakan *Cu-ultrafine* sebagai *liquid desiccant*. Model aliran yang digunakan adalah arah aliran *parallel flow* dan *counter flow*. Pada penelitian ini didapatkan semakin rendah bilangan *Reynold* udara akan memberikan efek penurunan kelembaban dan pendinginan yang lebih baik pada kondisi udara keluar. Selain itu bahwa penurunan kelembaban udara akan meningkat pada debit *desiccant* yang tinggi. Ali menjelaskan bahwa dengan menurunnya kecepatan udara maka waktu kontak yang tersedia antara udara dan *desiccant* semakin lama. Hal ini menyebabkan transfer massa yang terjadi semakin besar. Pada debit *desiccant* yang tinggi, transfer massa juga semakin besar karena lebih banyak *desiccant* dalam kondisi baru yang kontak dengan udara.

Irawan *et al.* (2006) melakukan penelitian akan transfer massa dan kalor pada *dehumidification system* dengan menggunakan larutan CaCl_2 50% sebagai *liquid desiccant*. Pada penelitian ini Irawan menggunakan variasi model dari *packing* yang digunakan untuk membantu menambah luas kontak yang terjadi antara *desiccant* dan udara yang dialirkan pada *dehumidifier tower* secara *counter flow*. *Packing* yang terdiri atas *filler* tersebut terbuat dari bahan *polypropylene* dengan $\lambda = 0$ mm, $\lambda = 32,5$ mm, dan $\lambda = 75$ mm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa pada *filler* dengan $\lambda = 32,5$ mm didapatkan penurunan kelembaban udara yang paling besar. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi transfer massa antara *desiccant* dengan udara. Dengan adanya tranfer massa, maka juga akan menimbulkan transfer kalor. Pada penelitian ini juga menunjukkan pada *filler* dengan $\lambda = 32,5$ mm terjadi kenaikan temperatur udara paling besar.

Ardiyanto *et al.* (2006) melakukan penelitian akan transfer massa dan kalor pada *counter flow liquid desiccant dehumidification system* dengan menggunakan *spray nozzle* sebagai alat pendistribusi *desiccant* pada *dehumidification tower*. *Liquid desiccant* yang digunakan adalah larutan CaCl_2 50%. Dalam penelitian ini Ardiyanto mencoba menghubungkan bentuk *droplet* yang dikeluarkan oleh *spray nozzle* pada berbagai sudut semprot terhadap transfer massa dan kalor yang terjadi pada *liquid*

desiccant dehumidification system. *Spray nozzle* yang digunakan adalah jenis *swirl nozzle* dengan sudut semprot yang digunakan adalah 45°, 60°, dan 75°. Untuk membentuk sudut semprot keluar *nozzle* dengan debit desiccant yang tetap, maka digunakan inti dengan slot yang berbeda. Pada penelitian ini didapatkan bahwa, pada sudut semprot 75° terjadi transfer massa terbesar yang diindikasikan dengan penurunan kelembaban udara terbesar. Transfer kalor terbesar juga terjadi pada sudut semprot 75° yang diindikasikan dengan kenaikan temperatur udara paling besar. Hal ini dikarenakan bahwa pada sudut 75° terbentuk *droplet-droplet* yang lebih halus dan seragam. Dengan *droplet* yang lebih halus dan sudut semprot besar, maka secara total permukaan *desiccant* yang kontak dengan udara akan semakin besar, sehingga transfer massa dan kalor yang terjadi juga akan semakin besar.

2.2 Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara (*air conditioning*) adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan penghuni yang berada di dalamnya (Stoecker, 1989:1). Sasaran utama dalam proses pengkondisian udara adalah supaya temperatur, kelembaban, kebersihan dan distribusi udara dalam suatu ruangan dapat dipertahankan pada tingkat keadaan yang diinginkan. Untuk mencapai hal tersebut, dapat dirancang dan digunakan berbagai macam sistem pengkondisian udara yang sesuai dengan tingkat keadaan dan persyaratan yang ditetapkan.

Menurut Wang (1999:9-3) aplikasi sistem pengkondisian udara secara umum dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Pengkondisian udara nyaman (*comfort air conditioning*).

Sistem pengkondisian udara jenis ini hanya bertujuan untuk kenyamanan dan kesehatan bagi para penghuninya. Pada sistem ini udara dikondisikan untuk menyediakan kondisi ruangan yang relatif konstan, terlepas dari perubahan cuaca luar maupun beban dari dalam, sesuai dengan yang dikehendaki oleh manusia. Beberapa sektor yang mengaplikasikan pengkondisian udara nyaman diantaranya adalah:

- Sektor komersial meliputi perkantoran, supermarket, pusat perbelanjaan, restoran, dan lain-lain.
- Sektor institusional meliputi sekolah, universitas, perpustakaan, museum, bioskop, gedung opera, dan lain-lain.

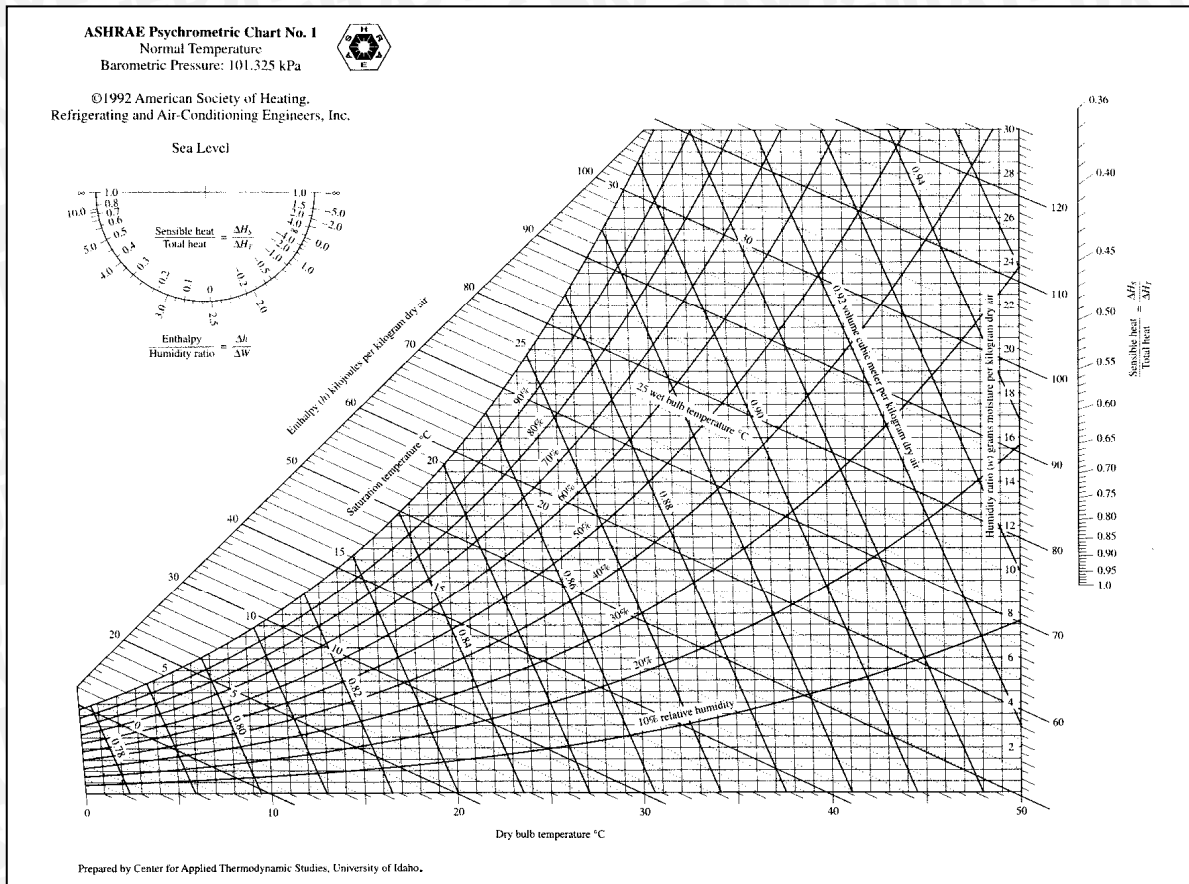
- Sektor hunian meliputi hotel, motel, apartemen, perumahan, dan lain-lain.
- Sektor kesehatan seperti rumah sakit.
- Sektor transportasi seperti pada pesawat terbang, mobil, kereta api, bus, dan lain-lain.

2. Pengkondisian udara proses (*process air conditioning*).

Sistem pengkondisian udara jenis ini lebih banyak diaplikasikan/digunakan pada industri (segala sesuatu yang berhubungan dengan proses manufaktur). Hal ini dikarenakan sistem pengkondisian udara proses selain bertujuan untuk kenyamanan bagi para pekerja yang ada di dalam industri, juga untuk pengaturan kualitas udara lingkungan untuk manufaktur, penyimpanan produk, serta kegiatan riset dan penelitian. Aplikasi dari pengkondisian udara proses banyak dijumpai dalam industri tekstil dimana tingkat kelembaban udara berpengaruh besar pada kekuatan benang dan kain selama pemrosesan, industri barang-barang elektronik, industri obat-obatan yang membutuhkan pengaturan temperatur, kelembaban, dan kebersihan udara, gudang penyimpanan barang, dan lain-lain.

2.3 Psikrometri dan Diagram Psikrometrik

Psikrometri merupakan kajian tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air (Stoecker, 1996:38). Udara yang merupakan suatu campuran antara udara kering (*dry air*) dengan uap air (*moisture/water vapor*). Komposisi udara kering berdasarkan volume adalah seperti berikut: 78,08% nitrogen, 20,95% oksigen, 0,93% argon, 0,03% karbondioksida, dan 0,01% gas-gas lain (Sherif, 2002). Komposisi udara kering relatif konstan, sedangkan jumlah uap air di udara berubah dikarenakan kondensasi dan evaporasi yang berasal dari lautan, danau, sungai, bahkan tubuh manusia. Meskipun jumlah uap air di udara kecil, tetapi keberadaannya memiliki peranan yang sangat penting sehingga merupakan suatu pertimbangan dalam aplikasi pengkondisian udara.



Gambar 2.1 : Diagram Psikometrik
Sumber : Cengel, 1998 : 966

Diagram psikometrik pada gambar 2.1 menunjukkan sifat-sifat dan *properties* dari udara yang merupakan campuran antara udara kering dan uap air. Berdasarkan diagram ini maka akan dapat ditentukan sifat-sifat dan *properties* dari udara yang akan diinginkan.

2.3.1 Istilah dan Parameter dalam Diagram Psikometrik

Istilah-istilah dan parameter yang menunjukkan sifat udara dalam diagram Psikometri, yaitu:

1. Tekanan barometrik (*barometric pressure*)

Tekanan atmosfer diukur menggunakan alat yang disebut barometer sehingga sering juga disebut tekanan barometrik (Cengel, 1994:20). Tekanan barometrik standar adalah 101,325 kPa atau sama dengan tekanan yang ditimbulkan oleh kolom air raksa setinggi 760 mm pada 0 °C. Tekanan barometrik semakin berkurang nilainya tergantung dari ketinggian suatu tempat. Tekanan barometrik dinotasikan dengan P_{bar} .

2. Temperatur bola kering (*dry bulb temperature*)

Temperatur bola kering didapatkan dari bacaan pada termometer bola kering (termometer air raksa yang tidak dibasahi) (Sherif, 2002). Dalam satuan Sistem Internasional (SI), titik beku air adalah 0°C dan titik didih air adalah 100°C . Temperatur bola kering sering disebut temperatur saja dan dinotasikan dengan T_{db} .

3. Temperatur bola basah (*wet bulb temperature*)

Temperatur bola basah adalah temperatur yang diukur menggunakan termometer bola basah setelah pembacaan stabil pada aliran udara (Sherif, 2002). Secara sederhana, termometer bola basah adalah termometer air raksa yang pada bagian bawahnya ditutupi oleh sumbu yang selalu basah. Karena pengaruh pendinginan evaporatif, bacaan termometer bola basah akan lebih rendah dari bacaan termometer bola kering, kecuali udara telah jenuh. Temperatur bola basah biasanya dinotasikan dengan T_{wb} .

4. Titik embun/suhu jenuh (*dew point temperature*)

Titik embun adalah temperatur dimana uap air akan mulai terkondensasi ketika udara didinginkan pada tekanan konstan (Cengel, 1994:695). Titik embun berhubungan dengan tekanan uap air parsial. Titik embun dinotasikan dengan T_{dp} .

5. Rasio kelembaban (*humidity ratio/absolute humidity/specific humidity*)

Rasio kelembaban adalah perbandingan massa air yang terkandung dalam setiap satuan massa udara kering (Cengel, 1994), sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \text{ [kg uap air/kg udara kering]} \quad (\text{Cengel, 1994:693}) \quad (2-1)$$

Rasio kelembaban dapat juga dinyatakan dengan hubungan seperti berikut.

$$\omega = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0,622 \frac{P_v}{P_a} \quad (\text{Cengel, 1994:693}) \quad (2-2)$$

atau

$$\omega = \frac{0,622 P_v}{P - P_v} \text{ [kg uap air/kg udara kering]} \quad (\text{Cengel, 1994:693}) \quad (2-3)$$

dengan:

ω = rasio kelembaban [kg uap air/kg udara kering]

m_v = massa uap air [kg]

m_a = massa udara kering [kg]

P_v = tekanan uap air parsial [Pa]

- P_a = tekanan udara kering parsial [Pa]
 P = tekanan total = $P_v + P_a$ [Pa]
 V = volume campuran udara kering-uap air [m^3]
 R_v = tetapan gas uap air [J/kg·K]
 R_a = tetapan gas udara kering [J/kg·K]
 T = temperatur absolut campuran udara kering-uap air [K]

6. Kelembaban relatif (*relative humidity*)

Kelembaban relatif adalah perbandingan massa uap air yang terkandung dalam udara dengan massa uap air maksimum yang mampu dikandung udara pada temperatur yang sama. Kelembaban relatif dapat juga didefinisikan sebagai perbandingan molekul uap air di dalam udara terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada temperatur dan tekanan yang sama. Dari definisi tersebut, kelembaban relatif dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\Phi = \frac{P_v}{P_{sat}} \quad (\text{Cengel, 1994:694}) \quad (2-4)$$

dengan:

- Φ = kelembaban relatif [%]
 P_v = tekanan uap air parsial [Pa]
 P_{sat} = tekanan jenuh air pada temperatur yang sama [Pa]

7. Entalpi (*Enthalpy*)

Entalpi campuran udara kering dan uap air adalah jumlah dari entalpi udara kering dan entalpi uap air. Entalpi dinotasikan dengan h .

8. Volume spesifik (*specific volume*)

Volume spesifik adalah volume udara campuran dengan satuan meter kubik per kilogram udara kering. Dari persamaan keadaan gas ideal, volume spesifik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \frac{R_a T}{P_a} \quad [\text{m}^3/\text{kg udara kering}] \quad (\text{Stoecker, 1989:43}) \quad (2-5)$$

9. Kalor sensibel (*sensible heat*)

Kalor sensibel adalah kalor yang berhubungan dengan perubahan temperatur udara antara dua titik keadaan (Wang, 1999:9-13).

10. Kalor laten (*latent heat*)

Kalor laten adalah kalor yang berhubungan dengan perubahan fase uap air (Wang, 1999:9-13). Kalor laten penguapan mengindikasikan jumlah kalor yang diperlukan

untuk menguapkan air menjadi uap air. Kalor laten pengembunan/kondensasi mengindikasikan jumlah kalor yang dipindahkan untuk mengembunkan uap air menjadi air. Ketika uap air ditambahkan atau dikurangi dari udara, selalu ada kalor laten yang terlibat di dalam proses tersebut.

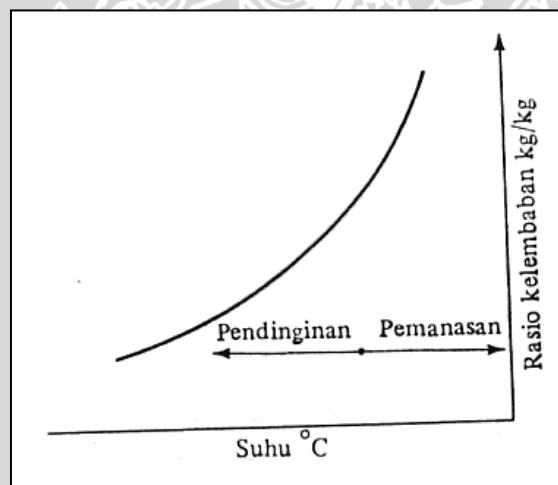
11. Udara jenuh (*saturated air*)

Udara jenuh adalah kondisi dimana udara tidak dapat menerima uap air pada temperatur yang diberikan. Penurunan pada temperatur tersebut akan menghasilkan kondensasi. Peningkatan pada temperatur ini akan membuat udara menjadi tak jenuh, sehingga dapat menerima uap air lagi.

2.3.2 Proses-Proses dalam Diagram Psikrometrik

Proses-proses yang terjadi pada udara yang berakibat pada perubahan sifat-sifat udara seperti, temperatur, rasio kelembaban, dan entalpi, dapat digambarkan dalam diagram psikrometrik. Beberapa proses dasar dalam diagram psikometrik akan dijelaskan sebagai berikut:

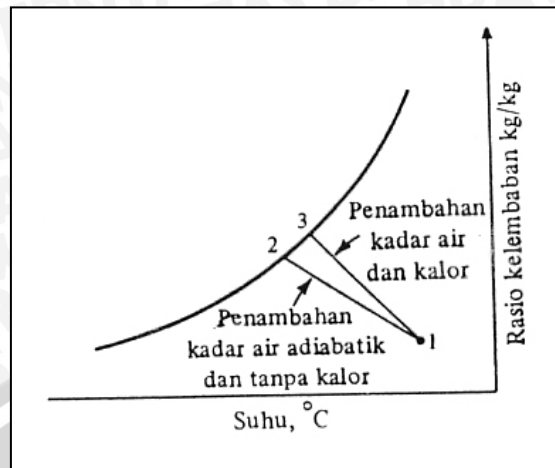
1. Pemanasan atau pendinginan sensibel (*sensible heating or cooling*)



Gambar 2.2 : Pemanasan dan pendinginan sensibel
Sumber : Stoecker, 1989:48

Pemanasan atau pendinginan sensibel adalah proses pemanasan atau pendinginan udara tanpa mengubah kandungan uap airnya, sehingga temperatur bola kering udara berubah sedangkan rasio kelembabannya tetap. Pemanasan sensibel biasanya dilakukan dengan melewati udara pada koil pemanas. Pendinginan sensibel dilakukan dengan melewati udara pada koil pendingin yang temperatur permukaannya di atas titik embun udara. Dalam diagram psikrometrik proses ini digambarkan seperti pada gambar 2.2

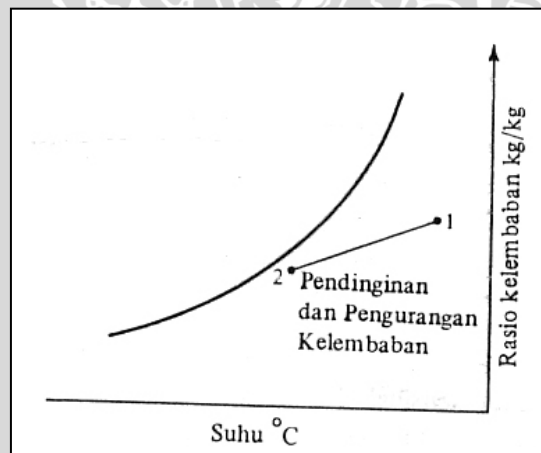
2. Pelembaban (*humidification*)



Gambar 2.3 : Pelembaban
Sumber : Stoecker, 1989:48

Pelembaban adalah proses menambahkan uap air ke dalam udara. Pelembaban biasanya dilakukan dengan menyemprotkan air atau uap air ke aliran udara. Dalam diagram psikrometrik proses ini digambarkan seperti pada gambar 2.3.

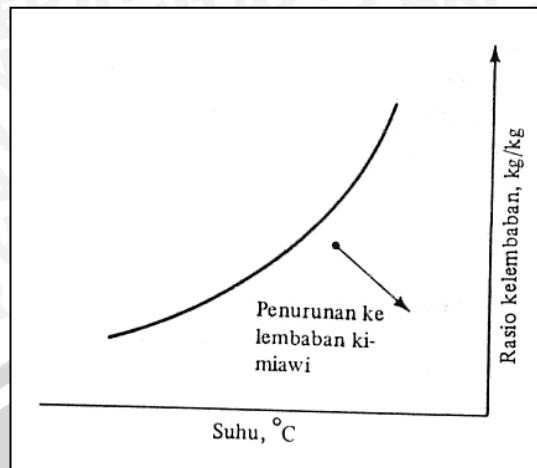
3. Pendinginan dan penurunan kelembaban (*cooling and dehumidification*)



Gambar 2.4 : Pendinginan dan penurunan kelembaban
Sumber : Stoecker, 1989:49

Pendinginan dan penurunan kelembaban menurunkan temperatur bola kering dan rasio kelembaban. Proses ini biasanya dilakukan dengan melewati udara pada koil pendingin yang temperatur permukaannya di bawah titik embun udara. Dalam diagram psikrometrik proses ini digambarkan seperti pada gambar 2.4

4. Pemanasan dan penurunan kelembaban (*heating and dehumidification*)



Gambar 2.5 : Pemanasan dan penurunan kelembaban
Sumber : Stoecker, 1989:49

Proses pemanasan dan penurunan kelembaban disebut juga *chemical dehumidification*. Proses inilah yang terjadi pada penurunan kelembaban dengan menggunakan *desiccant*. Mekanisme penurunan kelembabannya dapat terjadi secara *absorption* (jika ada perubahan fisik atau kimiawi) maupun secara *adsorption* (tanpa perubahan fisik atau kimiawi). Selama proses *sorption*, sejumlah kalor dilepaskan. Kalor ini merupakan jumlah kalor laten akibat kondensasi uap air yang diserap menjadi air dan kalor lain. Dalam diagram psikrometrik proses ini digambarkan seperti pada gambar 2.5

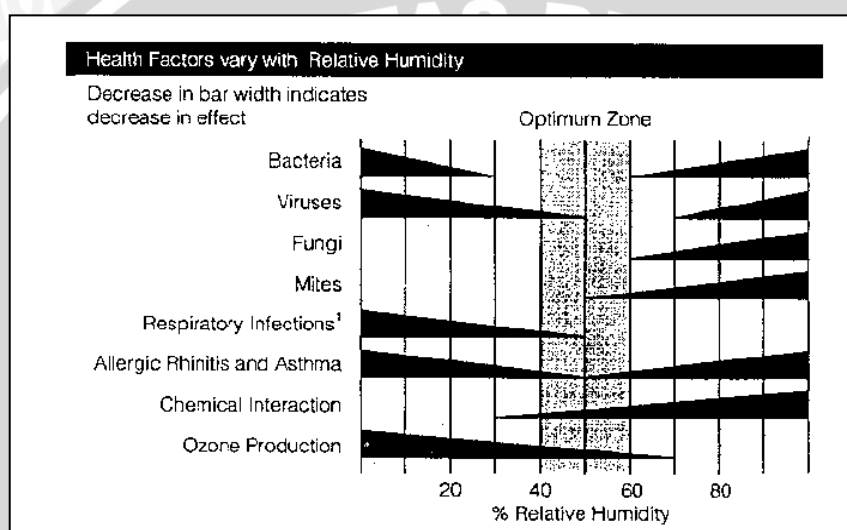
2.4 Sistem Penurunan Kelembaban Udara (*Dehumidification System*)

Dehumidification system merupakan suatu sistem pengkondisian udara yang mengatur keadaan kelembaban udara dalam suatu ruangan tertentu. Dalam *dehumidifying system* kelembaban udara dalam suatu ruangan diturunkan dengan menggunakan alat *dehumidifier*. Pada umumnya *dehumidifying system* untuk menghasilkan efek penurunan kelembaban udara menggunakan material yang bersifat higroskopik yang memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan uap air yang berada di udara. Keuntungan dalam mengatur kelembaban adalah sebagai berikut :

- Kenyamanan bagi penghuni yang berada di dalamnya
- Penghematan energi
- Pengurangan sumber emisi
- Peningkatan kualitas udara ruangan

- Mencegah kerusakan akibat adanya kandungan *moisture* dalam udara (misalnya: korosi)

Kelembaban merupakan suatu parameter yang penting dalam pengkondisian udara. Udara yang memiliki tingkat kelembaban yang rendah dirasa lebih nyaman, tetapi jika terlalu rendah juga akan membahayakan kesehatan manusia itu sendiri. Kelembaban udara yang tinggi disamping kurang nyaman, juga dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme. Pada gambar 2.6 berikut ditunjukkan hubungan antara kelembaban relatif terhadap berbagai faktor yang mempengaruhi kualitas udara seperti bakteri, virus, jamur, alergi, dan lain-lain.

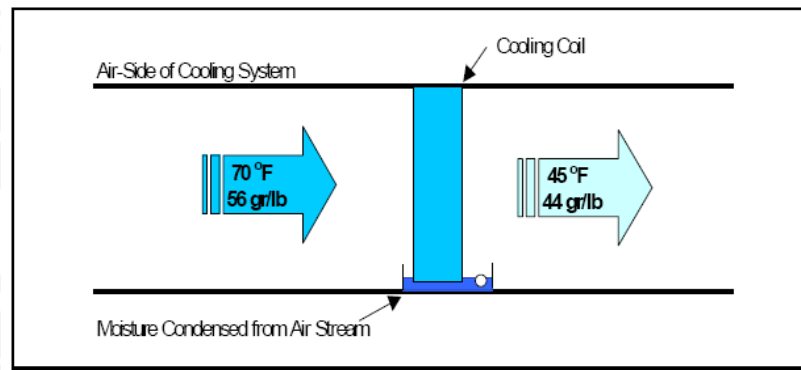


Gambar 2.6 : Hubungan Faktor Kesehatan dengan Kelembaban Relatif
Sumber : Rona, 2004:3

Secara umum sistem kelembaban udara dibagi menjadi dua, yaitu:

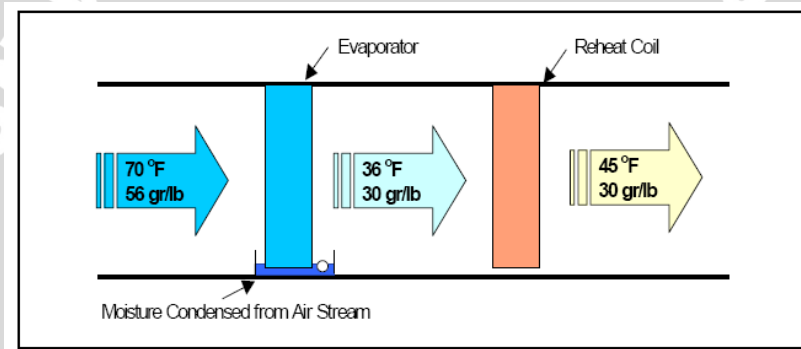
1. Sistem penurunan kelembaban konvensional

Pada sistem ini penurunan kelembaban udara dengan cara melewati udara pada koil pendingin yang temperatur permukaannya di bawah titik embun udara, sehingga uap air yang terkandung di udara akan terkondensasi dan terkumpul. Udara yang melewati koil pendingin seperti ini akan berada pada kondisi hampir jenuh karena uap air pada udara tersebut terkondensasi, maka temperatur dan rasio kelembabannya akan menurun, sedangkan kelembaban relatifnya akan naik.



Gambar 2.7 : Skema Penurun Kelembaban Udara Konvensional
 Sumber : *Desiccant Cooling Technology*, 2000:6

Untuk melengkapi sistem di atas maka biasanya akan dilakukan pemanasan sensibel agar temperaturnya sesuai dengan yang diinginkan dan kelembaban relatifnya akan turun juga.



Gambar 2.8 : Skema Penurun Kelembaban Konvensional dengan Pemanasan Sensibel
 Sumber : *Desiccant Cooling Technology*, 2000:9

2. Sistem penurunan kelembaban dengan menggunakan *desiccant* (*desiccant dehumidification system*)

Pada sistem ini penurunan kelembaban menggunakan suatu material yang disebut *desiccant*. *Desiccant* adalah suatu material yang dapat menarik/mengikat uap air (*moisture*) akibat adanya perbedaan tekanan uap air parsial (*Desiccant Cooling Technology*, 2000:2). Metode yang terjadi adalah dengan kontak langsung antara udara dan *desiccant*, sehingga *desiccant* dapat menyerap/mengikat uap air (*moisture*). *Desiccant* memiliki tekanan uap air parsial yang lebih rendah dari udara yang akan diturunkan kelembabannya, sehingga ketika udara melewatinya maka uap air dari udara akan berpindah ke *desiccant*. Setelah menyerap uap air, maka *desiccant* akan semakin jenuh sehingga perlu diregenerasi kembali dengan melewatkannya pada udara panas. *Desiccant* dapat berbentuk padat maupun cair

(larutan). Jenis *desiccant* yang umum digunakan antara lain; LiBr (*lithium bromide*), LiCl (*lithium chloride*), *silica gel*, CaCl₂ (*calcium chloride*), dan lain-lain.

Sistem penurunan kelembaban udara menggunakan *desiccant* memiliki potensi yang besar sebagai alternatif dari penurunan kelembaban udara secara konvensional. Beberapa keuntungan yang bisa diperoleh dari *desiccant dehumidification system* antara lain:

- Sistem penurunan kelembaban udara dengan *desiccant* dapat mencapai tingkat kelembaban yang lebih rendah dengan lebih baik. Sedangkan pada sistem konvensional penurunan kelembaban yang lebih jauh dicapai dengan menurunkan temperatur coil pendingin lebih jauh lagi.
- Konsumsi energi listrik lebih rendah dibandingkan dengan sistem penurunan kelembaban udara konvensional, karena sistem penurunan kelembaban dengan *desiccant* dapat menggunakan sumber energi dari panas buangan dan energi surya.
- Lebih ramah lingkungan, karena sistem penurunan kelembaban dengan *desiccant* tidak menggunakan refrigeran, misal CFC (*chlorofluorocarbon*) seperti pada sistem konvensional, CFC dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan ozon di atmosfer dan menyebabkan pemanasan global.

2.5 *Desiccant Dehumidification System*

Desiccant dehumidification system merupakan sistem penurunan kelembaban udara dengan menggunakan suatu material (umumnya disebut *desiccant*) yang memiliki sifat higroskopik, yaitu sifat yang dapat menarik/menyerap uap air karena perbedaan tekanan parsial uap air. Tekanan parsial uap air adalah tekanan yang dimiliki oleh uap air ketika berada sendiri pada temperature dan volume dari udara atmosfer (Cengel, 1994:669). Tekanan uap air dari suatu zat merupakan fungsi temperaturnya. Dalam keadaan terlarut, tekanan ini juga tergantung dari konsentrasi zat tersebut dalam larutan. Udara yang lembab dan panas memiliki tekanan uap air parsial yang tinggi.

Proses penyerapan uap air yang disebut *sorption* terjadi saat udara kontak langsung dengan *desiccant*. Penyerapan ini dapat terjadi karena terdapat perbedaan tekanan parsial uap air di permukaan *desiccant* dan uap air dalam udara. Proses *sorption* ini dapat berlangsung dalam dua mekanisme, yaitu *absorption* dan *adsorption*. *Absorption* adalah mekanisme penyerapan uap air oleh *desiccant* yang disertai oleh perubahan fisik atau kimiawi *desiccant*. *Adsorption* adalah mekanisme penyerapan uap

air oleh *desiccant* yang tidak disertai perubahan fisik atau kimiawi *desiccant*. Pada umumnya proses *absorption* berlangsung pada *liquid desiccant* dan proses *adsorption* berlangsung pada *solid desiccant*. Pada *liquid desiccant*, dalam hal ini CaCl_2 perubahan fisik dan kimiawi dapat diindikasikan dengan perubahan warna dan temperatur *desiccant*. Hal ini mengindikasikan adanya transfer massa dan kalor antara *desiccant* dengan udara, sehingga larutan *desiccant* mengalami perubahan konsentrasi dan perlu untuk dilakukan regenerasi.

Selama proses *sorption* terjadi proses pelepasan sejumlah kalor. Kalor ini disebut dengan *heat of sorption*, yang merupakan jumlah dari:

1. Kalor laten akibat kondensasi dari uap air yang diserap menjadi wujud cair.
2. Kalor pembasahan (*heat of wetting*) ketika permukaan *solid desiccant* dibasahi oleh molekul air yang tertangkap atau kalor larutan (*heat of solution*) ketika uap air diserap oleh *liquid desiccant*.

Dengan adanya *heat of sorption*, maka temperatur *desiccant* akan naik dan juga akan menaikkan temperatur udara, sehingga proses penurunan kelembaban dengan menggunakan *desiccant* akan menyebabkan terjadinya pemanasan juga.

Proses *dehumidifikasi* pada *desiccant dehumidification system* akan menyebabkan kandungan uap air dalam *desiccant* akan meningkat. Dengan bertambahnya kandungan uap air pada *desiccant*, maka laju penyerapan (*sorption rate*) *desiccant* menurun sehingga akan berakibat pada kemampuan *desiccant* dalam menyerap uap air berikutnya akan berkurang bahkan hilang. *Sorption* akan terhenti apabila telah mencapai titik kesetimbangan penyerapan (*equilibrium sorption*). Oleh karena itu maka diperlukan proses regenerasi, yaitu pengambilan kembali kandungan uap air pada *desiccant*. Pada regenerasi tekanan udara regenerasi lebih rendah daripada *desiccant*, sehingga uap air pada *desiccant* akan berpindah ke udara regenerasi. Dengan proses ini maka *liquid desiccant* dapat digunakan kembali.

Berdasarkan jenis *desiccant* yang digunakan, sistem penurunan kelembaban udara dengan menggunakan *desiccant* (*Desiccant Dehumidifying System*) dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Sistem *desiccant* padat

Sistem penurunan kelembaban jenis ini menggunakan *desiccant* padat. *Desiccant* padat adalah material *desiccant* yang proses penurunan kelembaban udaranya melalui mekanisme *adsorption*. Material *desiccant* yang sering digunakan antara lain *silica gel* (SiO_2), alumina aktif (*activated alumina*), carbon aktif

(*activated carbon*), dan *zeolites (molecular sieves)*. Beberapa macam instalasi pada sistem *desiccant* padat, antara lain :

a) *Solid packed tower*

Instalasi pada gambar 2.9a menggunakan dua buah menara (*tower*) yang diisi oleh *desiccant* padat. Udara proses dilewatkan pada saluran (*duct*) dimana di dalamnya berisi *desiccant* padat, demikian halnya dengan proses regenerasi.

b) *Rotating horizontal bed*

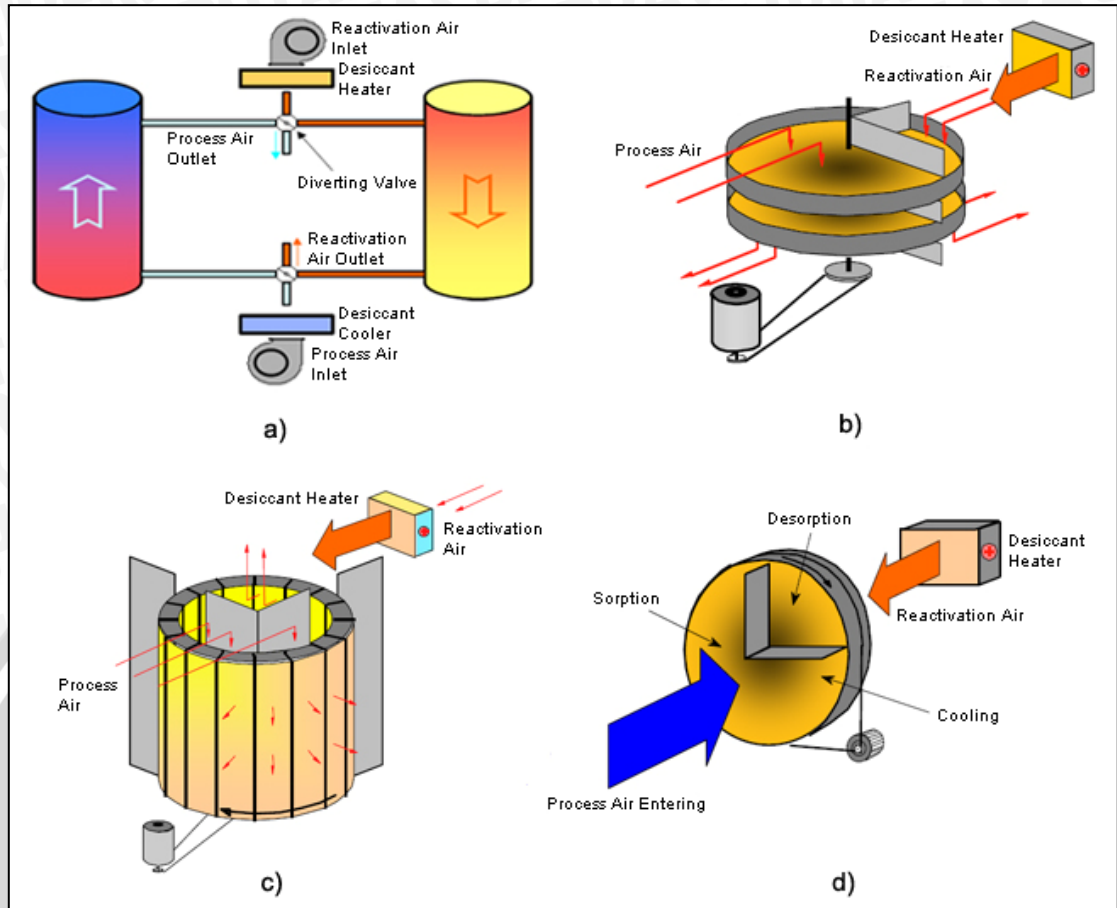
Desiccant padat pada instalasi ini terletak pada wadah yang berputar (berotasi). Pada wadah tersebut terdapat sekat yang memisahkan antara daerah dehumidifikasi dan daerah regenerasi. Daerah *dehumidifikasi* dilewati oleh udara proses, sedangkan daerah regenerasi dilewati oleh udara regenerasi. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9b.

c) *Multiple vertical bed*

Jenis instalasi ini merupakan kombinasi dari *solid packed tower* dan *rotating horizontal bed*. Sistem ini menggunakan model instalasi menara (*tower*) yang berputar. Instalasi ini ditunjukkan pada gambar 2.9c.

d) *Rotating desiccant wheel*

Model instalasi ini serupa dengan *rotating horizontal bed*, hanya saja wadah berputarnya diletakkan secara vertikal tidak secara horisontal. Udara proses dan regenerasi dilewatkan pada rongga-rongga berbentuk *hexagonal* atau *sinusoidal* pada wadah yang berputar, seperti ditunjukkan pada gambar 2.9d. Instalasi ini paling umum digunakan pada *desiccant* padat.



Gambar 2.9 : Berbagai Macam Instalasi pada Sistem *Desiccant* Padat
 Sumber : *Desiccant Cooling Technology*, 2000:12-15

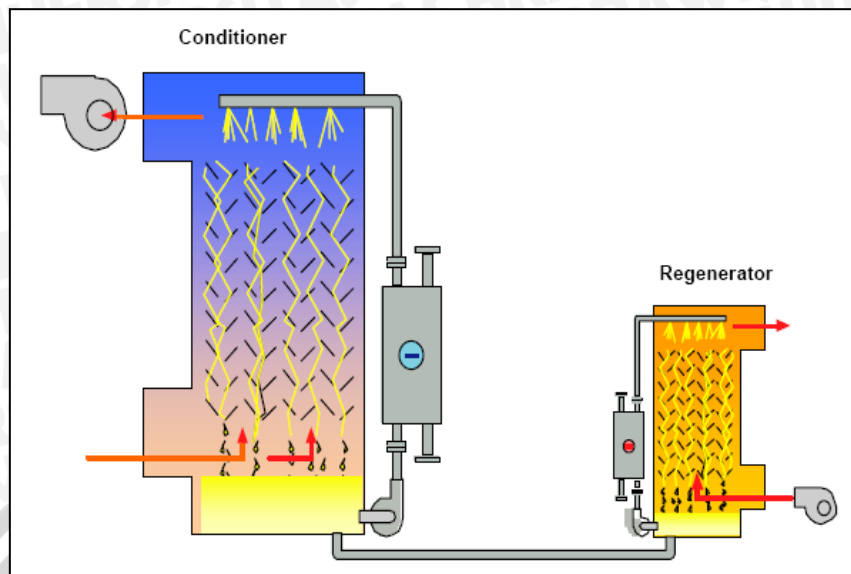
2. Sistem *desiccant* cair

Sistem penurunan kelembaban jenis ini menggunakan *desiccant* cair dalam bentuk larutan sebagai fluida kerjanya. *Desiccant* cair (*liquid desiccant*) adalah jenis *desiccant* yang proses penurunan kelembaban udaranya melalui mekanisme *absorption*. Secara lebih lengkap sistem ini akan dijelaskan pada sub bab 2.6 berikut.

2.6 Liquid Desiccant Dehumidification Systems

Sistem penurun kelembaban udara dengan menggunakan *desiccant* cair (*liquid desiccant dehumidification system*) biasanya dirancang dengan menggunakan model instalasi yang disebut *liquid spray tower*. Skema dari sistem instalasinya secara sederhana ditunjukkan pada gambar 2.10 berikut ini.





Gambar 2.10 : Instalasi *Liquid Spray Tower*

Sumber : *Desiccant Cooling Technology*, 2000:11

Liquid desiccant yang biasa digunakan adalah LiCl (*lithium chloride*), LiBr (*lithium bromide*), CaCl₂ (*calcium chloride*), atau TEG (*triethylene glycol*). *Desiccant* memiliki tekanan uap air parsial yang lebih rendah dari udara proses sehingga mampu menyerap uap air dari udara proses. Dalam penelitian ini, *desiccant* yang digunakan adalah larutan CaCl₂ 50% dengan basis massa. Artinya bahwa dalam 1 kg larutan *desiccant* terdapat 0,5 kg CaCl₂. Cara pembuatannya adalah dengan melarutkan tiap 0,5 kg CaCl₂ dengan pelarut berupa air seberat 0,5 kg untuk mendapatkan 1 kg larutan CaCl₂ 50%. CaCl₂ digunakan karena material ini merupakan material yang paling murah, mudah didapat, tidak beracun dan memiliki kemampuan menyerap uap air yang cukup baik.

Pada gambar 2.10 tersebut ditunjukkan bahwa pada instalasi *liquid desiccant dehumidification system* terdapat dua bagian utama, yaitu menara pengkondisian udara (*dehumidifiers tower*) dan menara regenerasi (*regenerator tower*). Pada *dehumidifier tower* terjadi proses penurunan kelembaban udara oleh *desiccant* cair yang disemprotkan di dalam tower. Sedangkan pada *regenerator tower* terjadi proses yang berkebalikan dari proses pada *dehumidifier tower*, yaitu proses regenerasi *desiccant* sehingga aliran *desiccant* dapat kontinyu terjadi dalam sistem.

Proses penurunan kelembaban udara terjadi pada menara pengkondisi udara. Udara masuk ke menara pengkondisian udara melalui bagian bawah menara dengan bantuan *fan* maupun *blower*. Kemudian terjadi kontak udara dengan *desiccant* cair yang

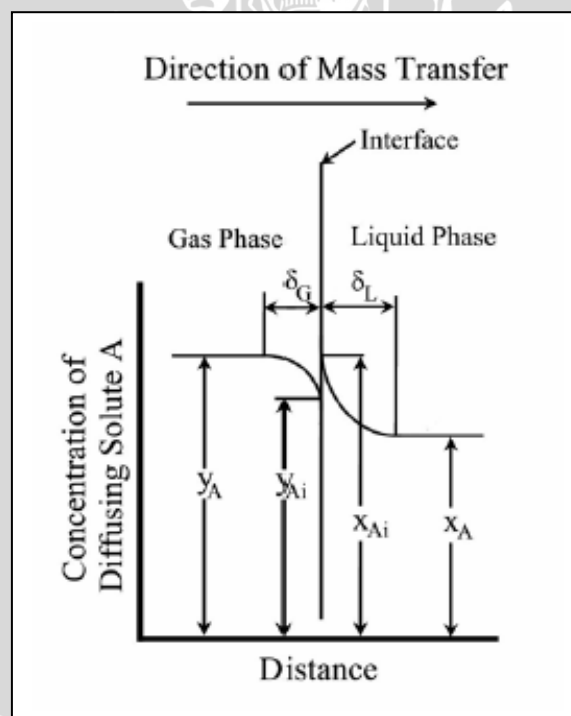
didistribusikan oleh *spray nozzle* pada bagian atas *dehumidifier tower*. Kontak yang terjadi antara udara dengan *desiccant* adalah secara *counter flow*. Karena *desiccant* cair yang didistribusikan pada menara pengkondisi udara memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah daripada yang dimiliki udara proses, maka proses penurunan kelembaban udara akan terjadi yang disebabkan terjadinya proses transfer massa uap air dari udara ke *desiccant*. Untuk memperluas area kontak antara udara dengan *desiccant*, maka dapat digunakan *filler (packing material)*, sehingga penurunan kelembaban udara dapat lebih besar. Karena aliran *counter flow* antara udara dan *desiccant* cair yang didistribusikan, maka terdapat kemungkinan *desiccant* akan ikut terhanyut keluar bersama udara. Untuk itu dipasang *drift eliminator* yang berupa sekat-sekat dengan susunan tertentu, sehingga *droplet-droplet desiccant* yang ikut terbawa udara akan menabrak *drift eliminator* dan akan jatuh kembali. Udara yang keluar akan dialirkan ke lingkungan atau dialirkan ke sistem instalasi pendingin lain untuk diturunkan temperaturnya sebelum memasuki ruangan (lingkungan).

Desiccant yang telah menyerap uap air dari udara proses pada menara pengkondisi udara akan menjadi semakin encer sehingga akan mengurangi kemampuannya untuk menyerap uap air. Oleh karena itu, *desiccant* perlu diregenerasi. Proses regenerasi ini berlangsung pada menara regenerasi. Proses ini membutuhkan sumber panas yang dapat diperoleh dari sumber bertemperatur rendah seperti energi surya atau panas buangan. Menara regenerasi ini mirip dengan menara pengkondisi udara, hanya saja proses yang terjadi adalah kebalikannya. Udara yang dipanasi oleh sumber panas tersebut dialirkan ke dalam menara regenerasi, sedangkan *desiccant* yang telah menyerap uap air dari menara pengkondisi udara disemprotkan di dalamnya. Udara tersebut akan memanasi *desiccant* sehingga tekanan parsial uap air pada *desiccant* akan meningkat. Dengan demikian, air pada *desiccant* dapat berpindah ke udara yang memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah. Temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan regenerasi biasanya berkisar antara 50-80 °C (Rona, 2004:61). Setelah *desiccant* diregenerasi, maka *desiccant* akan dialirkan kembali ke menara pengkondisi udara.

Pada penelitian ini, *desiccant* yang digunakan tidak mengalami proses regenerasi. Untuk menjaga agar *desiccant* yang digunakan pada menara pengkondisi udara selalu sama kondisinya, maka *desiccant* didistribusikan secara kontinu dari *reservoir*.

2.7 Transfer Massa dan Kalor pada *Liquid Desiccant Dehumidification System*

Pada menara pengkondisi udara, udara lembab masuk melalui dasar menara dan *desiccant* cair yang terkonsentrasi masuk dari atas menara. Fenomena transfer massa terjadi pada lapisan batas (*interface*) gas-cairan (udara-*desiccant*) seperti diilustrasikan pada gambar 2.11 Gambar tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata terdapat pada fase inti gas, y_A , dan pada fase inti cairan (*bulk liquid phase*), x_A . Ketika fase inti gas mendekati konsentrasi lapisan batas, y_{Ai} , suatu *film* tipis, d_G , terbentuk dan terjadi penurunan konsentrasi zat terlarut (uap air) dari fase gas. Di seberang lapisan batas, dianggap tidak ada tahanan terhadap transfer massa, sehingga keseimbangan konsentrasi tercapai pada lapisan batas antara dua fase pada konsentrasi y_{Ai} dan x_{Ai} masing-masing untuk fase gas dan fase cairan. Zat terlarut dipindahkan ke fase cairan juga melalui *film* tipis, d_L , dan terjadi penurunan konsentrasi cairan dari lapisan batas menuju inti cairan. Interpretasi dari transfer massa antara fase gas dan fase cairan ini dikenal sebagai *two-film theory*.



Gambar 2.11 : Ilustrasi proses transfer massa
Sumber : Long, Mark Alan (2005:12)

Meninjau konsentrasi dari zat terlarut yang terdifusi pada lapisan batas, konsentrasi zat terlarut tampak meningkat ketika zat terlarut berdifusi melewati lapisan batas ke fase cairan. Hal ini terjadi karena perbedaan penggunaan satuan konsentrasi

antara fase gas dan cairan dan tidak menandakan lonjakan konsentrasi pada lapisan batas.

Seperti telah dijelaskan di atas, bahwa transfer massa terjadi dari udara ke *desiccant* cair, dimana uap air dari udara lembab berpindah ke *desiccant*. Perpindahan uap air ini disertai oleh pelepasan sejumlah kalor, sehingga proses ini berlangsung secara eksotermis. Kalor ini, disebut dengan *heat of sorption*, merupakan jumlah dari:

1. Kalor laten akibat kondensasi dari uap air yang diserap menjadi wujud cair.
2. Kalor pembasahan (*heat of wetting*) ketika permukaan *desiccant* padat dibasahi oleh molekul air yang tertangkap atau kalor larutan (*heat of solution*) ketika uap air diserap oleh *desiccant* cair.

Proses transfer massa ini membutuhkan kontak antara udara dan *desiccant* cair, sehingga jumlah *desiccant* yang kontak dengan udara sangat mempengaruhi transfer massa yang terjadi. Dengan semakin besarnya transfer massa, maka kalor yang muncul akibat kondensasi juga semakin besar.

Pada penelitian ini akan meninjau seberapa besar terjadinya transfer massa yang berupa perubahan kelembaban udara. Di samping itu, transfer kalor juga muncul sebagai akibat adanya transfer massa dari udara ke *desiccant* dan hal ini ditandai dengan meningkatnya temperatur udara dan *desiccant* itu sendiri.

2.8 Hipotesis

Dari uraian di atas dapat dirumuskan hipotesis bahwa penambahan debit *desiccant* yang bersirkulasi pada *dehumidifier* tower akan meningkatkan massa alir *desiccant* yang akhirnya akan meningkatkan terjadinya kontak antara *desiccant* dan udara sehingga transfer massa dan kalor yang terjadi akan semakin besar.