

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kelembaban Udara

Definis tentang kelembaban udara adalah banyaknya jumlah kandungan uap air yang ada dalam udara, jumlah uap air dalam udara hanya merupakan bagian kecil saja dari atmosfer. Kira-kira 2 % dari jumlah masa. Tetapi jumlah ini tidak konstan, bervariasi antara 0-5%.



Gambar 2.1 *Psychrometer*

(sumber :Agus Nanto, 2014)

Pada gambar diatas alat tersebut merupakan psikrometer, psikrometer merupakan alat dengan pembacaan analog. Alat tersebut contoh dari sekian alat pengukur kelembapan udara.

- Walaupun jumlahnya kecil, tetapi kelembapan udara mempunyai arti penting karena besar uap air di udara merupakan sebuah salah satu indikator akan terjadinya hujan.
- Uap air tersebut juga menyerap radiasi bumi, sehingga kelembapan udara juga ikut berperan mengatur suhu. Semakin besar jumlah uap air dalam suatu udara, maka semakin besar energi potensial yang tersedia dalam suatu atmosfer dan dapat merupakan sumber terjadinya hujan angin, sehingga berarti menentukan udara itu kekal atau tidak kekal.

2.1.1 Pengertian Kapasitas Udara

Kapasitas Udara adalah jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung oleh udara pada suatu suhu. Semakin tinggi suhu makin besar kapasitas udara. Kapasitas udara dicapai berarti udara jenuh uap air. Begitu pula sebaliknya, kejenuhan udara dapat dicapai melalui dua cara, yaitu :

- Dengan menambah uap air melalui penguapan, pada keadaan suhu dan tekanan yang sama. Jika suhu naik, berarti kapasitas udara juga akan naik, maka untuk mencapai kejenuhan tetap dengan menambah uap air.
- Dengan menurunkan suhu atau apabila suhu turun sebab dengan turunnya suhu maka kapasitas udara akan turun, sehingga apabila suhu turun terus maka pada suatu saat akan dicapai keadaan udara jenuh (atau kapasitas udara akan sama dengan jumlah uap air yang ada di atmosfer).

2.1.2 Jenis-jenis Kelembaban Udara

Adapun kelembaban udara memiliki jenis jenis tertentu yang dibagi dalam 3 bentuk, yaitu:

a) Kelembaban Spesifik

Kelembaban spesifik adalah berat uap air persatuan berat udara (termasuk berat uap airnya) dengan satuan gr/kg (hampir sama dengan tekanan udara). Diatas lautan mengikuti tekanan udara (pada saat tekanan udara tinggi, kelembaban Spesifik tinggi). Didarat mengalami 2 kali maksimum kelembabannya dan 2 kali minimum kelembabannya selama 24 jam:

1. Minimum kelembaban pertama, saat Tekanan minimum
2. Maksimum kelembaban pertama, menjelang tengah hari
3. Minimum kelembaban kedua, pada senja hari
4. Maksimum kelembaban kedua, saat Tekanan maksimum

Kelembaban tahunan biasanya tertinggi pada musim panas dan terendah pada musim dingin. Kelembaban tahunan pada daerah bermusim hujan dan kemarau, tertinggi musim hujan dan terendah musim kemarau.

a) Kelembaban *Absolut*

Kelembaban absolut adalah Berat uap air persatuan volume udara dengan satuan g/m³.

b) Kelembaban Udara Nisbi (relatif)

Kelembaban udara nisbi (relatif) adalah perbandingan antara uap air yang betul-betul ada di udara dengan jumlah uap air dalam udara tersebut, jika pada *temperature* dan tekanan yang sama udara tersebut jenuh dengan uap air. Kelembaban udara nisbi harian umumnya berlawanan dengan suhu maksimum pagi hari dan minimum sore hari. Kelembaban tahunan bervariasi menurut lintang.

2.1.3 Adapun Tambahan Pengertian Dalam Istilah di Kelembaban Udara

➤ RH (*Relative Humidity*)

Adalah kelembaban udara atau kapasitas udara atau kelembaban spesifik atau kapasitas udara. Satuan dari RH sama, yaitu %.

➤ Titik Embun

Adalah suhu yang bertepatan dengan jenuhnya udara. Jika udara didinginkan melampaui titik embun, maka kelebihan yang tidak dapat dikandung oleh udara akan dilepas.

➤ Kondensasi

Adalah perubahan air dari bentuk uap ke cair.

➤ Sublimasi

Adalah perubahan bentuk uap ke padat.

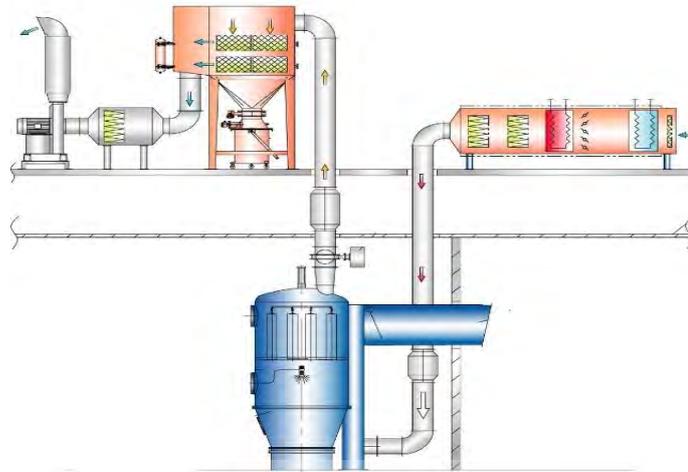
2.2 Fluidized Bed Dryer (FBD)

Pengeringan menurut Henderson dan Perry, 1976 adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari bahan dengan menggunakan media pengering, sampai tingkat kadar air kesetimbangan dengan kondisi udara luar (atmosfer) normal atau tingkat kadar air yang setara dengan aktifitas air yang aman dari kerusakan mikrobiologi, enzimatik dan kimiawi.

Fluidized Bed Dryer (FBD) adalah mesin pengeringan dengan menggunakan aliran udara panas yang ditemui di industri farmasi berguna untuk mengeringkan bahan-bahan setelah granulasi sehingga mendapatkan kandungan air / kelembapan dalam granul sesuai yang diinginkan.

2.2.1 Prinsip Kerja FBD

Udara panas yang dihasil dari proses AHU akan berhembus dari bawah menembus suatu bed (hamparan material yang dikeringkan) yang berisi material granul basah. Material granul basah akan dihembuskan ke udara dan menjadi tersuspensi dalam gelombang udara. Material serbuk/granul akan seperti air yang mendidih, tahap ini disebut *Fluidised*. Penggunaan udara panas untuk memfluidisasi bed akan meningkatkan tingkat pengeringan material granul.



Gambar 2.2 *Fluidized Bed Dryer*

FBD terbuat dari *stainless Steel* dan material kontak dengan produk menurut CPOB 2012 harus terbuat dari SS 316, SS 316L. Salah satu bagian FBD adalah container, container mempunyai dasar yang berlubang. Container ini bisa dipindah, biasanya dilengkapi dengan roda. Material yang akan dikeringkan ditempatkan dalam container ini. Udara panas dihembuskan dari bawah container. Pada area container terdapat lubang kecil atau mesh yang berfungsi untuk jalur *airflow*. *Airflow* akan meniup atau mengangkat produk yang berada pada container dari bawah keatas sehingga produk akan mengering akibat dari *airflow* yang mempunyai suhu tinggi.

Udara yang berhembus berasal dari motor induksi *blower* yang ditempatkan diatas FBD atau berada di roof top. Kecepatan udara dapat diatur dalam control panel mesin FBD dengan menggunakan *inverter* dan *dumper valve*. Kecepatan udara selama pengoperasian akan meningkat sehingga kantung pada filter FBD mengembang sehingga partikel serbuk mulai bergerak *turbulent*. Karena granul serbuk berada dalam udara panas, maka granul akan kering. FBD mempunyai tingkat pengeringan yang tinggi dan dapat mengeringkan dalam waktu singkat. Material tetap bebas mengalir dan seragam. Kantung Filter FBD ini berguna untuk meningkatkan area pengeringan dari *drying bed* dan menyaring agar udara proses pada container fbd yang keluar dalam keadaan bersih. Ukuran partikel yang kecil yang lolos pada kantung filter FBD akan tetap terfilter karena pada FBD terhadap *dustcollector* yang berada diatas FBD atau di rooftop. *Dustcollector* ini berfungsi

untuk menyaring ukuran partikel yang ukurannya kecil dengan menggunakan filter *HEPA* dan *dustcollector* ini berfungsi juga menampung granul yang lolos pada kantung filter FBD. Sehingga setiap *preventive maintenance* selalu dilakukan pembersihan. Dalam pengeringan terdapat pengecekan kadar air/kelembapan yang disebut parameter LOD (*Loss of Drying*). Biasanya FBD sudah terdapat tempat sampling dalam mesin sehingga operator tinggal mencatat dari mesin kemudian ambil sampel. Sampel kemudian diukur LOD (*Loss of Drying*) menggunakan *moisture halogen analyzer*. Parameter LOD (*Loss of Drying*) ini sebagai titik akhir dalam pengeringan, bila sudah masuk rentang yang dipersyaratkan, pengeringan akan dihentikan. Biasanya LOD ini ditulis dalam *batch record* atau *log book* pengeringan FBD.

2.3 Air Handling Unit Pada Fluidized Bed Dryer (FBD)

Pengertian *air handling unit* adalah alat yang digunakan untuk mengolah udara. Biasanya *air handling unit* terdiri dari *prefilter*, *medium filter*, *cooling coil*, *heating coil* dan *hepa filter*. Pada sistem *air handling unit* ini udara bebas akan masuk jalur *inlet AHU (Air Handling Unit)*, kemudian udara bebas di saring atau difilter pada *prefilter* dan *medium filter*. Setelah itu udara akan melewati *cooling coil* yang berfungsi untuk menyerap kalor dari udara yang akan didinginkan. Karena kalor dari udara telah diserap oleh air maka udara tersebut akan mengalami penurunan *temperature* air juga akan mengalami penurunan kelembapan uap air (dehumifikasi). Pengertian dehumifikasi adalah perpindahan uap air dari campuran uap air dan udara ke dalam air pada fase cair. Udara yang telah mengalami penurunan *temperature* selanjutnya diskrikulasikan ke proses selanjutnya yaitu masuk ke *heating coil* atau HE (*heat exchanger*) melalui saluran udara dengan bantuan *exhaust fan*. Pada *heat exchanger* udara yang dingin menjadi udara panas karena pertukaran kalor sesuai kebutuhan mesin. Proses pemanasan dan dehumifikasi pada udara adalah proses untuk menaikkan *temperature* udara dan juga mengurangi kandungan uap air yang ada di udara. Dengan proses pemanasan dan dehumifikasi maka akan menghasilkan udara yang panas dan kering. Selain

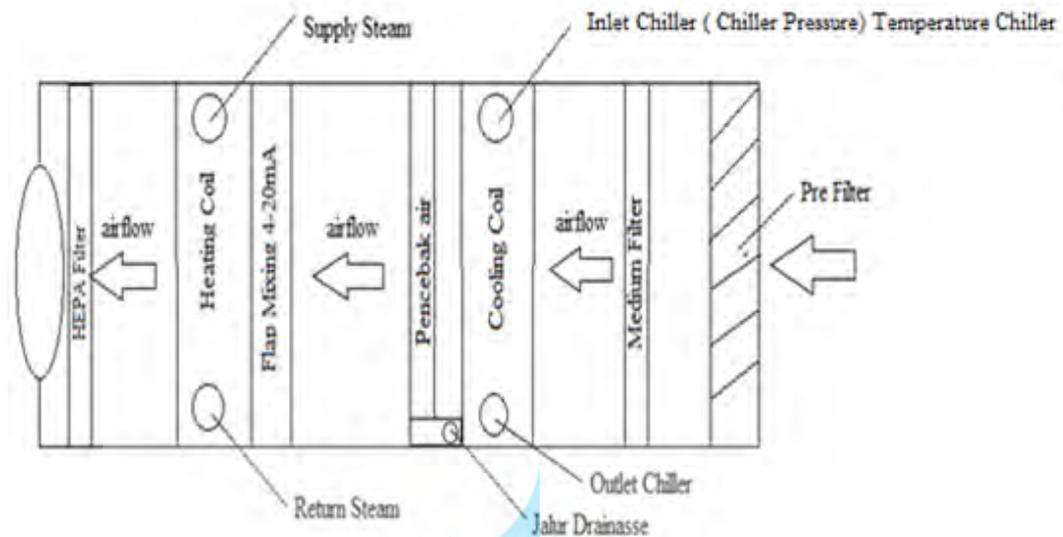
mengurangi kandungan uap air yang ada diudara proses pemanasan dan dehumidifikasi juga akan menurunkan *relative humidity* dari udara yang diproses. Selanjutnya udara yang sudah diproses akan melewati jalur filter hepa, merupakan *filter high temperature* dan mempunyai daya filterisasi yang sangat baik. Setelah itu akan masuk ke jalur FBD sebagai pengirangan granul dalam perusahaan farmasi.



Gambar 2.3 Air Handling Unit

2.4 Parameter Pada Mesin FBD

Nilai suatu parameter pada proses pengeringan merupakan nilai yang kritikal karena akan mempengaruhi suatu proses untuk mendapatkan hasil baik. Pada mesin FBD terdapat tiga parameter penting yaitu *temperature*, *airflow* dan *relative humidity*. Masing masing parameter tersebut termonitoring dengan menggunakan sensor. Adapun faktor faktor yang mempengaruhi dari tinggi rendahnya kelembaban udara pada mesin pengeringan sangat bergantung pada beberapa faktor sebagai berikut, yaitu :



Gambar 2.4 Bagian Air Handling Unit

- *Temperature* (suhu)
- *Airflow* (pergerakan laju udara)
- Tekanan (*chiller pressure*)
- *Flap Mixing* 4-20 mA
- *Output Sensor* THD

2.4.1 Suhu (*Temperature*)

RTD (*Resistance Thermal Detector*) adalah salah satu komponen elektronika yang merupakan sensor yang sering digunakan membaca suhu. RTD dibuat dari bahan kawat tahan korosi, kawat tersebut dililitkan pada bahan keramik isolator. Bahan kawat untuk RTD tersebut antara lain; platina, emas, perak, nikel dan tembaga, dan yang terbaik adalah bahan platina karena dapat digunakan menyensor suhu sampai 1500°C. Tembaga dapat digunakan untuk sensor suhu yang lebih rendah dan lebih murah, tetapi tembaga mudah terserang korosi.



Gambar 2.5 Sensor *Temperature*

Hubungan kelembapan dengan suhu udara:

1. Apabila didinginkan, udara mengembun. Udara yang telah mengembun menjadi lebih ringan sehingga naik. Maka akibatnya, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Dan udara terpisah dari uap air.
2. Volume berbanding terbalik dengan tekanan
3. Kelembapan adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembapan absolut, kelembapan spesifik atau kelembapan relatif.

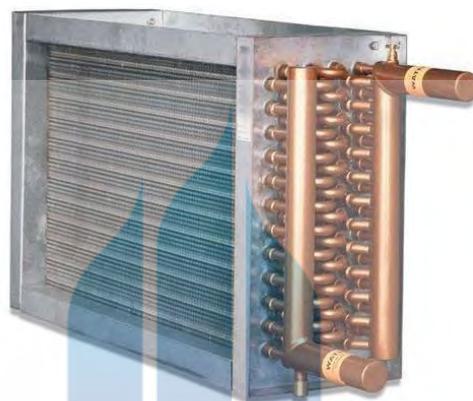
Temperature cooling coil berfungsi juga sebagai sistem pendinginan udara sehingga mengakibatkan udara mengembun. Semakin kecil nilai suhu air *chiller* yang masuk ke *cooling coil* maka udara yang diembunkan akan semakin banyak.



Gambar 2.6 Termometer *Cooling Coil*

Dengan pengembunan ini udara yang mempunyai kandungan air maka akan menjadi titik titik air. Udara yang terdapat titik titik air akan terpisah dengan adanya

laju udara atau *airflow* lewat membawa air ke sistem pencebak air sehingga terjadi dehumifikasi. Proses terjadi pengembunan air terjadi pada *cooling coil*, karena pada *cooling coil* ada supply air *chiller* yang masuk dengan suhu tertentu. Pada suhu yang masuk mempunyai nilai suhu yang rendah agar proses pengembunan maksimal. Pada *cooling coil* terdapat kisi-kisi yang berfungsi untuk pendinginan udara agar hasilnya proses pengembunan udara dapat maksimal.



Gambar 2.7 *Cooling Coil*
(sumber: Johnson, 2020)

2.4.2 Pergerakan Angin (*Airflow*)

Flowmeter atau *airflow transmitter* udara adalah alat yang mengukur aliran udara, yaitu berapa banyak udara yang mengalir melalui tabung. Itu tidak mengukur volume udara yang melewati *ducting*, itu mengukur massa udara yang mengalir melalui perangkat per unit waktu. Biasanya, pengukuran aliran udara massal dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s). *Output* dari sensor tersebut bernilai mili ampere atau volt dc, yang kemudian diteruskan kemasukan inputan PLC untuk sinyal dari motor induksi 3 fasa *blower* agar mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan flownya.

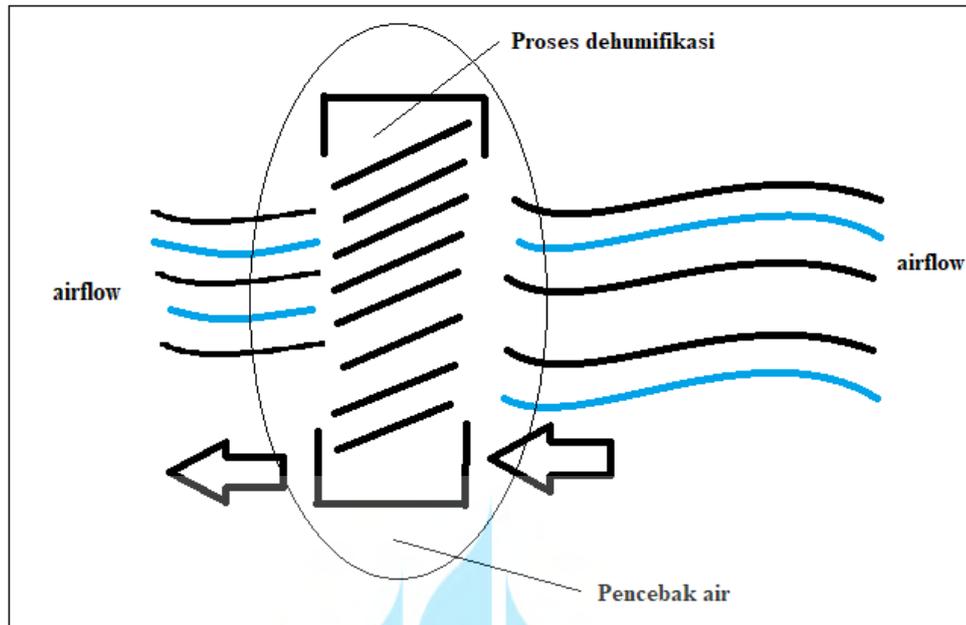


Gambar 2.8 *Airflow Sensor*

Kerapatan aliran udara yang dipengaruhi kecepatan udara yang masuk ke luas penampang ruang pengeringan dan massa jenis udara. Aliran udara yang melewati *ducting, filter, cooling coil* serta *heating coil* akan mempengaruhi nilai kelembaban udara (RH). Jika suatu pergerakan *airflow* dengan nilai rendah akan mendapatkan nilai RH yang tinggi, ini disebabkan karena udara yang mengalir yang lewati sistem penjembat air yang berada didalam air handling unit melaju dengan pelan sehingga sistem dehumifikasi akan kurang efektif. Kurang efektifnya sistem dehumifikasi maka udara yang mengalir dalam ducting akan mempunyai kandung air. Pada proses dehumifikasi udara harus terpisah dengan air saat melawati sistem pencebak air yang berada didalam *air handling unit*. Jika udara atau *airflow* rendah dalam *ducting* dan *air handling unit* sistem tabrakan udara dengan pencebak air kurang maksimal.

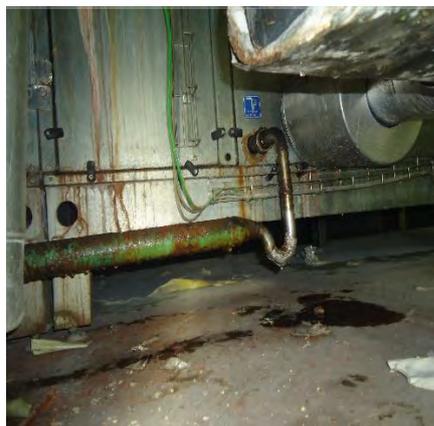


Gambar 2.9 Pencebak *Air Handling Unit*



Gambar 2.10 Sistem Dehumifikasi Pada Pencebak Air

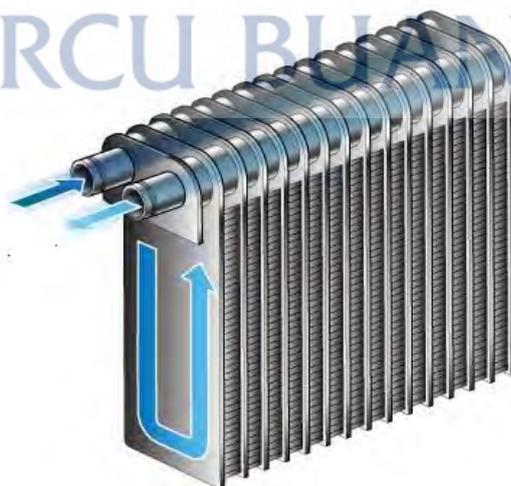
Pada sistem dehumifikasi udara yang mempunyai *airflow* tinggi maka udara dengan kandungan air akan menghantam dengan kuat pada area pencebak air, sehingga udara dan air akan terpisah. Maka setelah udara melewati area pencebak air udara tersebut akan terpisah dengan kandungan air sehingga kelembaban udara tersebut akan mempunyai nilai yang rendah atau RH kecil. Dan air yang terpisah tersebut akan terbuang dari *air handling unit* (AHU) lewat sistem *drainase*.



Gambar 2.11 Jalur *Drainase* Pada AHU Pembuangan Proses Dehumifikasi

2.4.3 Tekanan (*Chiller Pressure*)

Chiller adalah suatu cairan yang digunakan untuk melakukan proses dehumifikasi atau pengembunan. *Chiller* mempunyai suhu rendah, karena dengan suhu rendah ini maka akan dapat menghasilkan nilai kelembaban udara yang baik. *Chiller pressure* adalah tekanan cairan yang bergerak atau melaju dari satu tempat ketempat yang lain dengan satuan bar. Hubungan antara *chiller pressure* yang masuk pada *cooling coil* adalah dinamakan air yang masuk dengan tekanan air kuat maka akan mempunyai nilai tekanan keluar yang kuat juga. Dengan tekanan air yang besar maka air *chiller* yang masuk dapat melakukan sistem *looping* air *chiller* yang berada pada pipa-pipa kapiler *cooling coil* atau *evaporator* agar bergerak dengan cepat. Pergerakan cepat ini maka akan menjadi hasil dimana nilai kelembaban udara agar menjadi kelembaban kering atau RH rendah. Karena dalam sistem *looping* air *chiller* pada *evaporator* atau *cooling coil*, air *chiller* digunakan sebagai pendingin udara agar bisa terjadi proses pengembunan atau dehumifikasi. Jika tekanan air *chiller* kuat maka pertukaran air *chiller* akan menjadi cepat. Pada jalur keluaran *cooling coil* yang keluar pada *cooling coil* suhu akan menjadi naik, tetapi naiknya suhu pada keluaran *cooling coil* tidak besar melainkan kecil karena sistem *looping* air *chiller* cepat. Akibat dari nilai *chiller pressure* besar.



Gambar 2.12 *Cooling Coil* atau *Evaporator*

(sumber: Johnson, 2020)

Contoh jika air *chiller* yang masuk pada *cooling coil* dengan suhu 11°C dengan laju air besar atau tekanan besar maka keluaran air *chiller* akan menjadi 17°C karena air *chiller* digunakan untuk sistem pengembunan atau dehumifikasi. Kerena udara sebelum melewati *cooling coil* suhu 39°C dan setelah proses masuk ke *evaporator* atau *cooling coil* maka akan menjadi 14°C . Sebaliknya jika laju air *chiller* kecil maka sistem looping akan lambat kerana air *chiller* yang masuk pada pipa-pipa kapiler berjalan dengan pelan. Sehingga proses pengembunan dan dehumifikasi udara kurang maksimal dan mengakibatkan sistem nilai kelembanan udara mejadi tinggi.



Gambar 2.13 *Valve Pengatur Chiller Pressure*



Gambar 2.14 *Pressure Gauge Chiller*

2.4.4 Flap Mixing 4-20 mA

Flap mixing pada *air handling unit* berfungsi untuk mengatur buka tutup jalur *airflow* pada *air handling unit*, buka tutup pada *flap mixing* ini juga berperan untuk mengatur suhu pengeringan dan kelembaban udara pada proses pengeringan. Proses buka tutup *flap mixing* diatur dari PLC yang mengeluarkan output untuk memerintah buka tutup *flap mixing*. Buka tutup *flap mixing* diberikan sinyal mili *ampere* yaitu dari 4-20 mili ampere.

Tabel 2.1 Persamaan Nilai Ampere Dengan Presentase

Sinyal PLC (mili Ampere)	Presentase Buka Flap
4 mA	0%
8 mA	25%
12 mA	50%
16 mA	75%
20 mA	100%

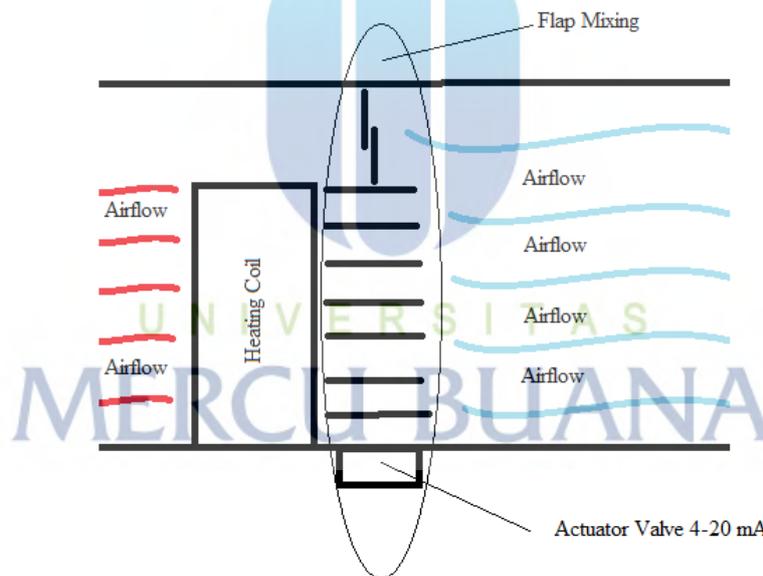
Flap Mixing bekerja sesuai dengan perintah perintah plc, dan plc dapat sinyal dari *thermocouple* suhu *inlet* sehingga jika suhu tidak tercapai maka plc akan mengeluarkan *output* dari 4-20 mA. Buka tutup *flap mixing* dari 0% sampai 100%. Dengan status 0% menutup rapat dan 100% membuka penuh.



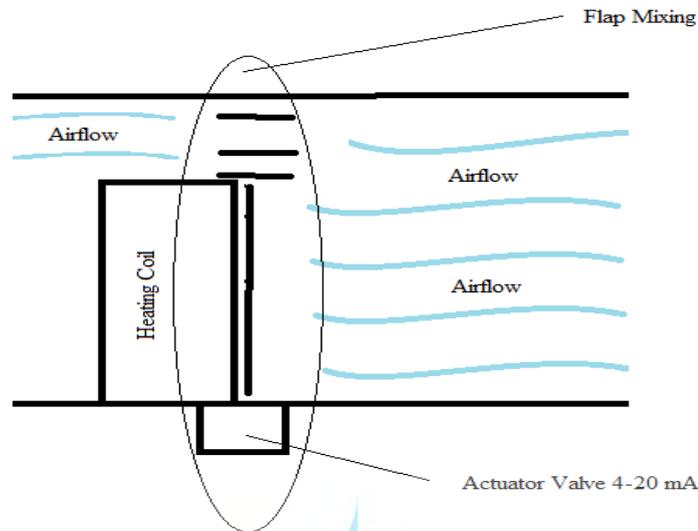
Gambar 2.15 *Flap Mixing* 4-20 mA

(sumber: Johnson, 2020)

Untuk proses buka tutup *flap mixing* secara manual dilakukan dengan menggunakan instrumen process meter yaitu alat yang digunakan untuk menginject arus dari 4 mA sampai 20 mA. Pada sistem kerja *flap mixing* ini, berpengaruh terhadap nilai kelembaban udara. Karena *flap mixing* ini digunakan untuk mengatur suhu pada mesin pengeringan atau mesin *fluidized bed dryer*. Jika flap mixing membuka penuh maka suhu akan mendapat hasil nilai yang tinggi sehingga nilai kelembaban udara akan bertambah, bertambahnya kelembaban udara karena aliran udara melewati *heating coil* yang sebagai pemanas. Karena di area *heating coil* terdapat steam pada pipa kapiler yang juga terdapat kisi-kisi *heating coil*. Sebaliknya jika aliran udara tidak melewati *heating coil* karena *flap mixing* tertutup rapat maka nilai kelembaban udara akan rendah karena tidak masuk jalur kisi-kisi *heating coil*.



Gambar 2.16 *Flap Mixing* Dengan Pembukaan 100% 20 mA Pada AHU



Gambar 2.17 *Flap Mixing* Dengan Penutupan Penuh 4 mA Pada AHU

2.4.5 Sensor *Hygrometer* (THD)

Higrometer (*hygrometer*) adalah perangkat untuk menentukan kelembaban atmosfer yang dapat menunjukkan kelembaban relatif (persentase kelembaban di udara), kelembaban mutlak (jumlah kelembaban) atau keduanya. Beberapa higrometer standar hanya mampu menginformasikan dua keadaan seperti pada kondisi udara kering atau basah. Sedangkan jenis higrometer lainnya merupakan bagian dari perangkat yang disebut humidistats, yang digunakan untuk mengontrol pelembab udara atau pengering untuk mengatur kelembaban udara.



Gambar 2.18 Sensor THD *Hygroflex*

Hygroflex dapat mengukur kelembaban udara, suhu relative dan menghitung semua parameter psikrometri dibidang HVAC dan industri farmasi. *Output* dari sensor ini adalah sinyal analog yaitu sinyal 4-20 mA atau 0-10 Vdc. Sehingga sinyal output

sensor ini ditransmitterkan ke plc dan diolah plc kemudian ditampilkan ke monitor mesin atau HMI. Dari *output* sinyal sensor *hygrometer* disambungkan dengan kabel sebagai transfer sinyal ke plc. Agar sinyal 4-20 mA atau 0-10 Vdc bisa diolah ke plc dan menampilkan nilai Rh (%) dari nilai 0 % hingga 100%.

Faktor yang mempengaruhi sinyal sensor ke plc adalah

1. Resistansi Kabel
2. *Noise*
3. Panjang Kabel
4. *Grounding* Mesin
5. Jenis *Output* sensor (*milliampere* atau *voltage*)

