

## UNIT 4

### SIKLUS REFRIGERASI

Unit lalu menguraikan komponen atau bagian-bagian dari siklus udara pada sistem pengkondisian udara. Pada satu titik/point dalam suatu sistem, udara mengalir melawati permukaan koil pendingin apabila diperlukan udara dingin, dan jika diperlukan udara hangat/panas, maka harus dilewatkan melalui sebuah permukaan koil pemanas.

Unit ini menguraikan siklus refrijerasi secara singkat dan menunjukkan bahwa koil pendingin (evaporator) bukan saja sebagai bagian penting dari siklus udara, tetapi juga merupakan komponen penting dari siklus refrijerasi. Pada kenyataannya, koil pendingin (evaporator) merupakan kunci dari kedua siklus tersebut. Pada koil inilah panas dibuang/dikurangi dari udara dan dipindahkan melalui dinding koil ke refrijeran yang mengalir di dalamnya.

Siklus refrijerasi memperlihatkan apa yang terjadi atas panas setelah dikeluarkan dari udara oleh refrijeran di dalam koil. Siklus ini didasari oleh dua prinsip, yaitu:

1. Saat refrijeran cair berubah menjadi uap, maka refrijeran cair itu mengambil atau menyerap sejumlah panas.
2. Titik didih suatu cairan dapat diubah dengan jalan mengubah tekanan yang bekerja padanya. Hal ini sama artinya bahwa temperatur suatu cairan dapat ditingkatkan dengan jalan menaikkan tekanannya, begitu juga sebaliknya.

Komponen utama sebuah siklus refrijerasi yaitu koil pendingin (evaporator), kompresor, kondenser dan katup ekspansi.

#### **Siklus Umum Refrijerasi**

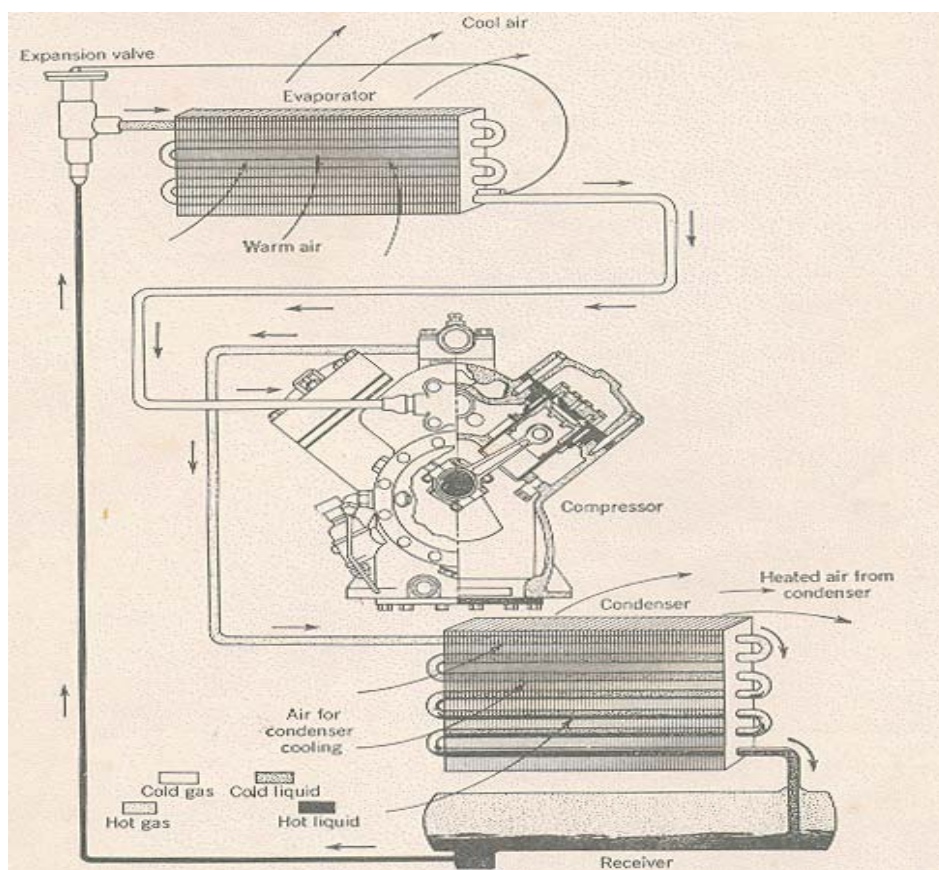
Ingat selalu bahwa refrijeran yang digunakan dewasa ini dapat mendidih pada temperatur sangat rendah, mencapai  $-21$  F. Refrijeran cari akan mendidih pada temperatur lebih tinggi jika refrijeran tersebut mengalami tekanan.

Pada saat refrijeran cair dingin mengalir melalui koil pendingin, ia akan mengambil panas dari udara yang melewati permukaan koil. Ketika refrijeran cair mengambil panas, maka akan berubah wujud menjadi uap. Refrijeran uap panas itu kemudian ditarik/dihisap masuk ke kompresor, dimana ia akan mengalami tekanan. Hal tersebut mengakibatkan uap refrijeran menjadi naik temperaturnya.

Selanjutnya, refrijeran uap yang bertekanan tinggi, juga tekanannya mengalir ke dalam kondenser dimana panasnya akan dibuang. Ketika kondenser membuang panas, refrijeran uap

berubah wujud menjadi cairan kembali tetapi tekannya tetap tinggi. Kemudian refrijeran cair dialirkan ke katup ekspansi. Ketika cairan refrijeran mengalir melalui katup ekspansi, tekanannya berubah menjadi turun. Tekanan refrijeran cair turun, diikuti oleh turunnya temperatur, sehingga refrijeran itu siap kembali menerima panas.

Refrijeran cair dingin bertekanan rendah mengalir ke koil pendingin (evaporator). Tekanan di dalam evaporator cukup rendah sehingga memungkinkan refrijeran mendidih dan menjadi uap setelah mengambil panas kembali dari udara yang melewati permukaan evaporator. Siklus mulai diulang ketika refrijeran uap dihisap masuk ke kompresor. Pada bagian berikut akan dijelaskan fungsi masing-masing alat utama sistem refrijerasi.



Gambar 17 Siklus Refrigrerasi

## Evaporator

Evaporator adalah komponen yang umum digunakan baik untuk refrijerasi atau tata udara (AC). Tujuan utama dari evaporator yang menyediakan permukaan agar dapat dilewati udara yang akan didinginkan. Pada saat yang sama, di dalam pipa evaporator mengalir refrijeran cair. Kombinasi antara udara hangat mengalir diatas refrijeran dingin mengakibatkan terjadi pertukaran panas. Refrijeran cair dingin akan menyerap panas dari

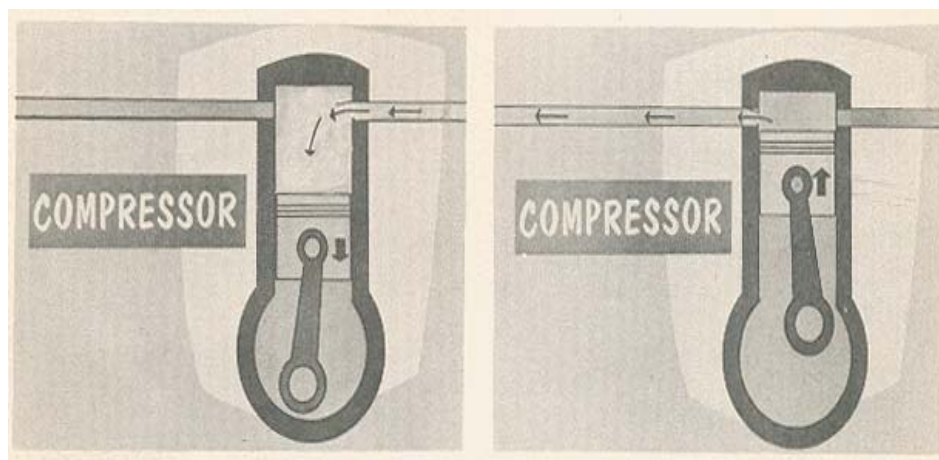
udara hangat, dan udara hangat akan melepas panas kepada refrigeran cair. Dengan demikian, refrigeran cair dingin berubah wujud menjadi uap dan udara hangat menjadi dingin.

Saat udara melewati permukaan evaporator, maka evaporator berfungsi sebagai alat pemindah panas. Panas dipindahkan dari udara panas ke permukaan evaporator dan dari evaporator ke refrigeran di dalamnya. Jadi, panas itu dipindahkan dari udara ke refrigeran melalui permukaan evaporator.

### Kompresor

Kompresor mempunyai dua fungsi, pertama kompresor menghisap refrigeran uap dari evaporator dan menekannya masuk ke dalam kompresor; kedua, kompresor meningkatkan tekanan refrigeran uap.

**Aliran Masuk** (*Suction*). Dengan menghisap refrigeran uap, kompresor merubah tekanan di dalam evaporator dan mempertahankannya pada keadaan yang cukup rendah sehingga memungkinkan refrigeran menguap dan secara tetap mengambil panas selama proses. Refrigeran menguap pada temperatur relatif rendah jika tekanannya diturunkan.



Aliran Masuk

Aliran ke Luar

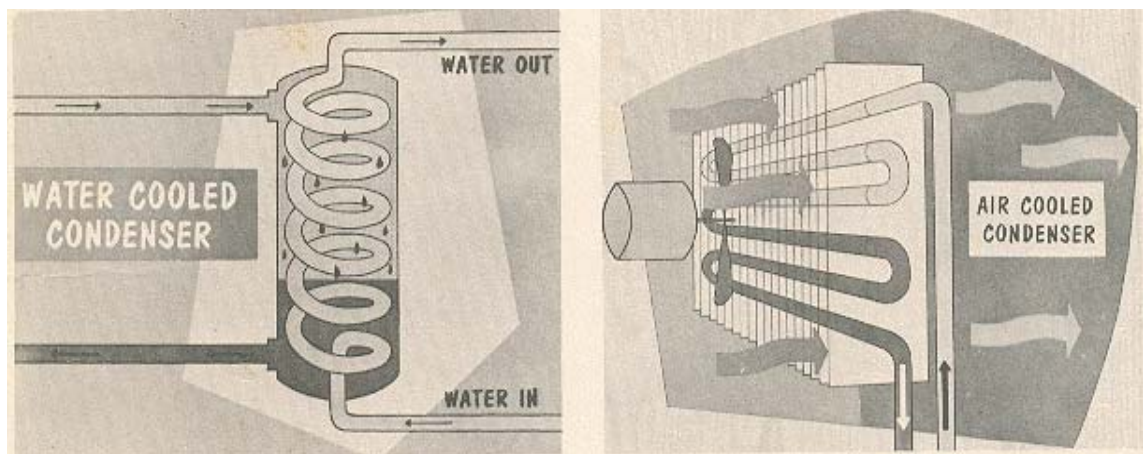
Gambar 18

**Aliran Keluar** (*Discharge*). Dengan menekan refrigeran uap ke dalam kondenser, kompresor menaikkan tekanan refrigeran. Dengan demikian, kompresor sebenarnya meningkatkan temperatur refrigeran uap. Kondisi tersebut akan mempermudah kondenser melaksanakan tugasnya.

## Kondenser

Kondenser mempunyai dua fungsi penting, yaitu: Kondenser membuang panas yang diambil oleh refrijeran dari dalam evaporator dan Kondenser mengkondensasikan refrijeran uap menjadi refrijeran cair. Pemindahan panas dan proses kondensasi di dalam kondenser dapat terjadi dalam dua cara, yaitu:

1. Proses dengan bantuan air. Air digunakan untuk membantu mengambil panas dari refrijeran uap. Refrijeran uap yang mengalir dalam kondenser disimpan dalam suatu tempat atau aiar dilewatkan pada kondenser yang berisi refrijeran uap. Air masuk mempunyai temperatur lebih rendah dibandingkan dengan temperatur refrijeran uap. Panas dari refrijeran uap dipindahkan ke air melalui dinding kondenser. Air tersebut membawa panas dari wadah melalui saluran ke luar.
2. Proses dengan bantuan udara. Udara digunakan untuk membuang panas dari refrijeran uap melalui permukaan kondenser. Udara dihembuskan dengan menggunakan kipas ke permukaan kondenser. Karena udara lebih dingin dari refrijeran uap, maka terjadi perpindahan panas dari refrijeran uap ke udara bebas melalui permukaan kondenser.

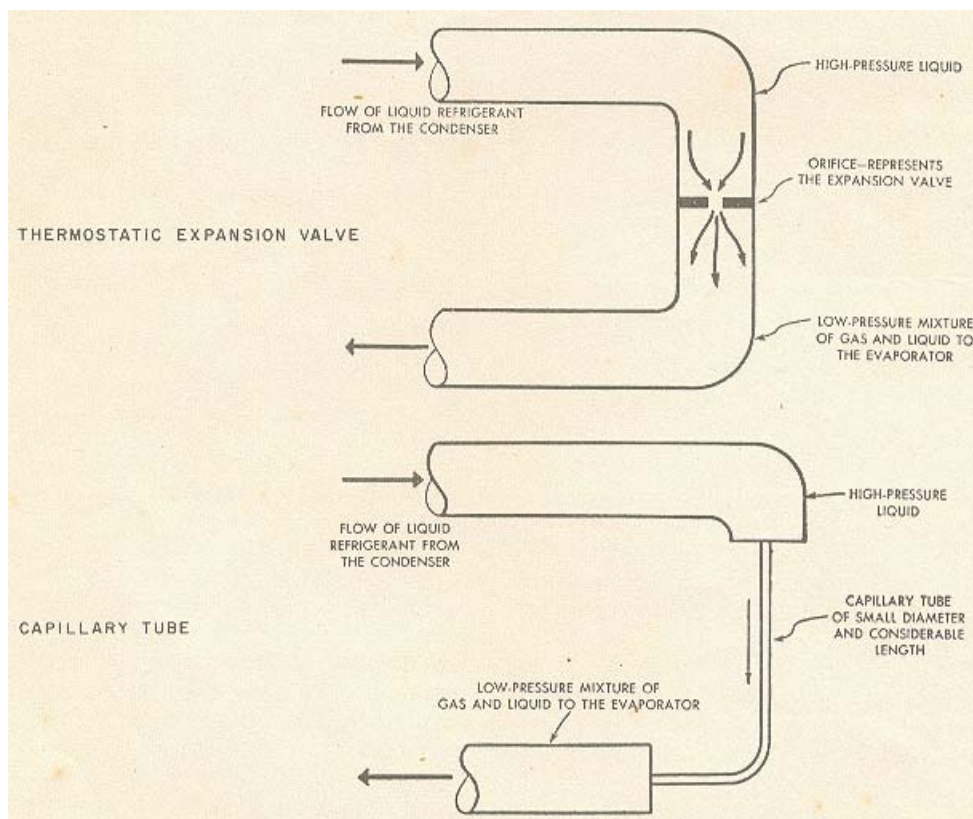
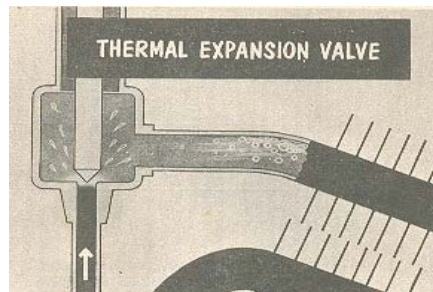


Gambar 19 Kondensor

Dalam proses kondensasi, udara atau air mengambil panas dari refrijeran uap, sedangkan dalam proses pendinginan, refrijeran mengambil panas dari udara ruangan. Kedua contoh tersebut menunjukkan bahwa sebuah koil merupakan permukaan perpindahan panas. Refrijeran masuk ke kondenser dalam keadaan panas dan bertekanan tinggi, kemudian keluar menjadi refrijeran cair yang panas. Kondenser telah membuang panas dari refrijeran hanya cukup untuk merubah wujud dari refrijeran uap panas menjadi refrijeran cair panas.

## Katup Ekspansi

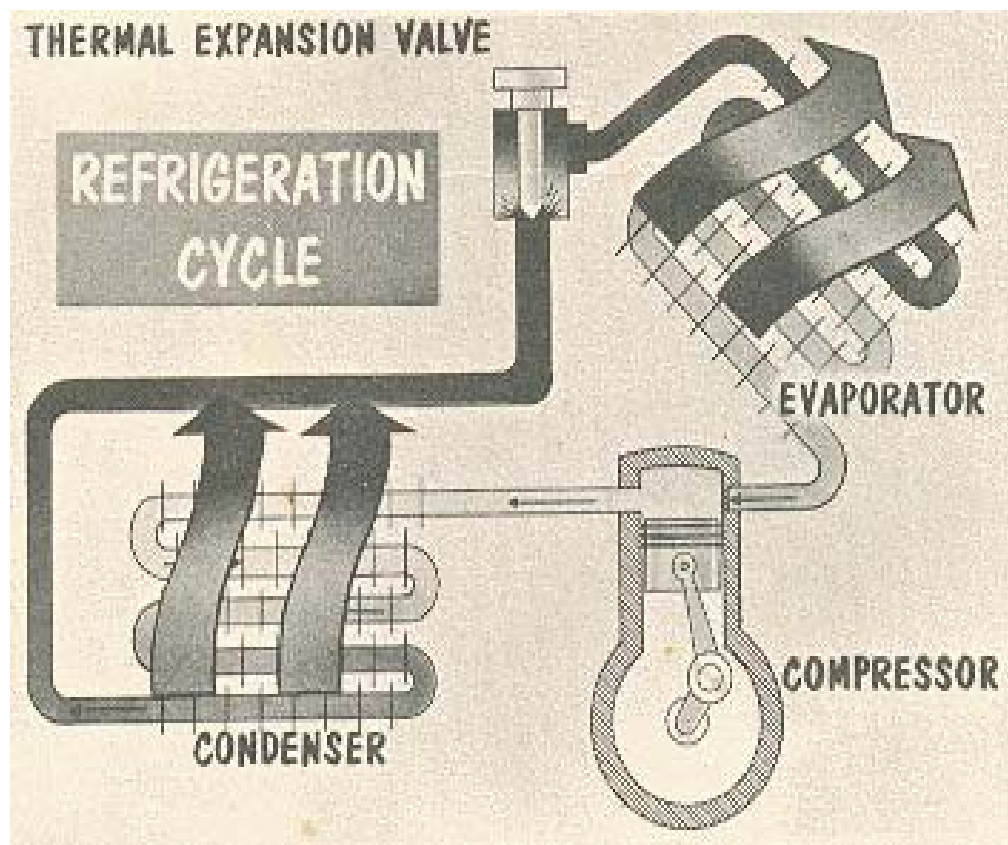
Katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran cair sehingga temperaturnya akan turun dan menjadi dingin. Refrigeran masuk ke katup dalam keadaan bertekanan, ketika masuk ke dalam lubang yang kecil, ia harus memaksa sehingga ketika masuk ke evaporator tekanannya telah rendah. Lubang katup berfungsi sebagai alat pembatas antara daerah tekanan tinggi (kondenser) dan daerah tekanan rendah (evaporator). Seperti telah dikatakan, bahwa titik didih cairan dapat diubah dengan cara mengubah tekanannya. Jika tekanannya berkurang, titik didih atau titik dimana cairan berubah jadi uap, menjadi berkurang juga. Oleh karena itu, setelah refrigeran cair mengalir melalui lubang pembatas katup ekspansi, ia mulai menguap karena berada dalam daerah bertekanan rendah.



Gambar 20 Katup Ekspansi

## Kesimpulan

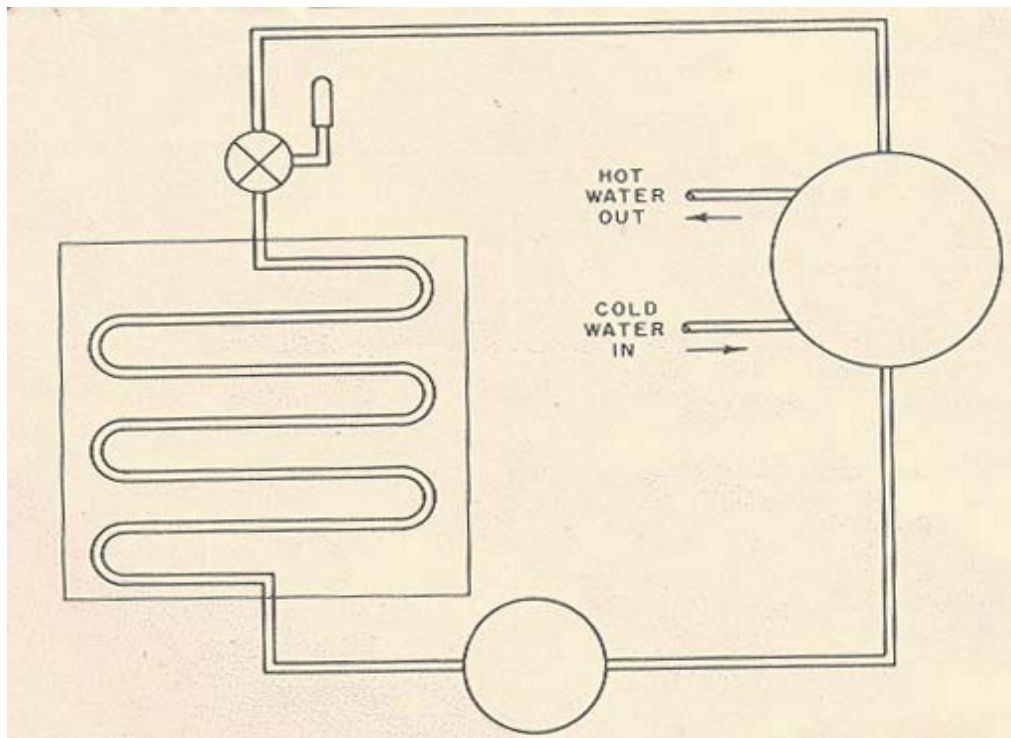
- Evaporator adalah bagian penting baik dalam refrigerasi atau tata udara karena tempat dimana terjadinya pengambilan panas dari ruang sekitarnya oleh refrijeran.
- Ketika refrijeran cair berubah wujud menjadi uap/gas maka telah diambil sejumlah panas.
- Titik didih suatu cairan dapat diubah dengan cara mengubah tekanan yang bekerja atasnya.
- Refrijeran berubah wujud dari cairan ke uap dalam evaporator, dalam prosesnya adalah mengambil atau menyerap panas.
- Kompresor mempertahankan kondisi tekanan rendah di dalam evaporator dan mengakibatkan kondisi bertekanan tinggi di dalam kondenser.
- Kondenser membuang panas dari refrijeran dan dalam prosesnya merubah wujud refrijeran menjadi cair.
- Katup ekspansi membatasi refrijeran cair dan sebagai akibatnya tekanan menjadi berkurang dan refrijeran menjadi dingin.



Gambar 21 Siklus Sistem Refrigerasi

## Tugas

1. Jelaskan apa yang disebut refrijerasi?
2. Apa yang dimaksud Evaporasi (penguapan)?
3. Jelaskan fungsi kondenser?
4. Dimana terdapat pembatas antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah?
5. Apa pengaruhnya bila terjadi penambahan tekanan pada refrijeran?
6. Sebutkan komponen-komponen refrifjerasi dan jelaskan masing-masing fungsinya?



Gambar 22 Siklus Sistem Refrigrerasi

## UNIT 5 PSYCHROMETRICS

Psychrometrics adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat (properties) udara. Dalam bidang teknik tata udara, psychrometrics meliputi pengukuran dan menghitung sifat-sifat udara luar dan udara yang ada di dalam ruangan bangunan yang dikondisikan. Psychrometrics juga digunakan untuk mencari kondisi udara yang pasti akan lebih nyaman dalam ruangan yang dikondisikan.

### **Grafik *Psychrometrics***

Grafik *psychrometrics* merupakan alat penyederhana dalam pengukuran sifat-sifat udara dan mengurangi beberapa perhitungan rumit ketika mencari sifat-sifat udara. Industri pembuat alat tata udara (AC) akan mempunyai bentuk grafik yang sedikit berlainan, yang mungkin disebabkan berlainan lokasi tempat informasi didapat. Namun demikian, tetap mempunyai dasar yang sama bahwa grafik *psychrometrics* merupakan sebuah grafik sederhana yang mewakili kondisi atau sifat-sifat udara. Sifat-sifat udara tersebut seperti: temperatur, kandungan uap air di udara (*humidity*) dan titik kondensasi yang biasa disebut titik pengembunan (*dewpoint*).

### **Bagian (Terms) *Psychrometrics***

Bagian-bagian yang biasa digunakan dalam hubungannya dengan grafik psychrometrics adalah temperatur kering (*dry-bulb temperature*), temperatur basah (*wet-bulb temperature*), kandungan uap air di udara relatif (*relative humidity*), titik pengembunan (*dewpoint*) dan tetes uap air (*grains of moisture*).

Temperatur kering (*dry-bulb temperature*) adalah temperatur udara yang diukur dengan menggunakan thermometer biasa, yaitu thermometer rumah tangga.

Temperatur basah (*wet-bulb temperature*) adalah temperatur udara luar yang diukur dengan menggunakan thermometer biasa berselubung kain basah pada ujung lancipnya. Temperatur dicatat setelah thermometer digoyang secara cepat (diputar) di udara. Sebuah thermometer disebut thermometer basah karena ujung lancipnya dibasahi dengan cara membungkus dengan kain yang dicelupkan ke dalam air. Thermometernya sama dengan thermometer kering. Untuk mengukur temperatur kering atau basah biasa digunakan psychrometer ayun (*sling psychrometer*).

Gambar di bawah ini memperlihatkan 2 buah thermometer yang diletakkan pada sebuah lempeng logam. Thermometer basah yang menggunakan selubung dan lainnya



thermometer kering. Hasil pengukuran thermometer basah biasanya lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran thermometer kering. Oleh karena itu, kedua thermometer diletakkan sedemikian rupa sehingga tidak saling mempengaruhi.

Setelah selubung dibasahi air, maka kedua thermometer itu diputar dengan cepat di udara sehingga sebagian air (di kain basah) akan menguap. Setelah itu hasil pengukuran dapat dibaca, temperatur basah dari thermometer basah dan temperatur kering dari thermometer kering.

Walaupun temperatur udara kering yang melewati kedua thermometer itu sama besarnya, tetapi hasil pengukuran akan berbeda. Thermometer kering akan menunjukkan temperatur udara actual, sedangkan thermometer basah akan memberikan hasil yang lebih rendah. Dalam contoh ini uap air menguap dari kain basah yang terletak di ujung sempit thermometer basah sehingga permukaan thermometer menjadi sejuk. Itulah sebab utama mengapa hasil dari thermometer basah lebih rendah nilainya.

Perbedaan temperatur kering dan basah tergantung pada jumlah uap air yang ada di dalam udara. Jika kandungan uap air tinggi, penguapan yang terjadi di kain basah menjadi rendah. Akibatnya panas yang dipindahkan menjadi sedikit dan temperatur basah menjadi tinggi. Jika kandungan uap air di udara rendah, berarti udara itu kering dan dapat dengan segera mengambil uap air. Oleh karena itu penguapan pada kain basah terjadi dengan cepat dan panas yang dipindahkan dalam jumlah yang lebih besar. Hal ini akan menyebabkan permukaan thermometer basah jadi cepat sejuk. Sebagai hasilnya, hasil pembacaan yang didapat akan lebih rendah dibandingkan udara yang mempunyai kandungan uap air tinggi.

Udara kering atau udara yang mengandung uap air rendah mempunyai temperatur basah yang rendah. Udara lembab atau udara berkandungan uap air tinggi mempunyai temperatur basah yang tinggi. Bila kandungan uap air mencapai 100 % atau relatif humidity mencapai 100 % maka temperatur basah akan sama besarnya dengan temperatur kering. Hal tersebut dapat dilihat dengan mudah di grafik psychrometrics. Pada kondisi seperti ini penguapan terhenti sebab udara tak mampu lagi mengambil uap air. Oleh karena itu, tidak mungkin mengeluarkan panas penguapan dari kain basah pada thermometer basah sehingga kedua thermometer akan memberikan hasil yang sama.

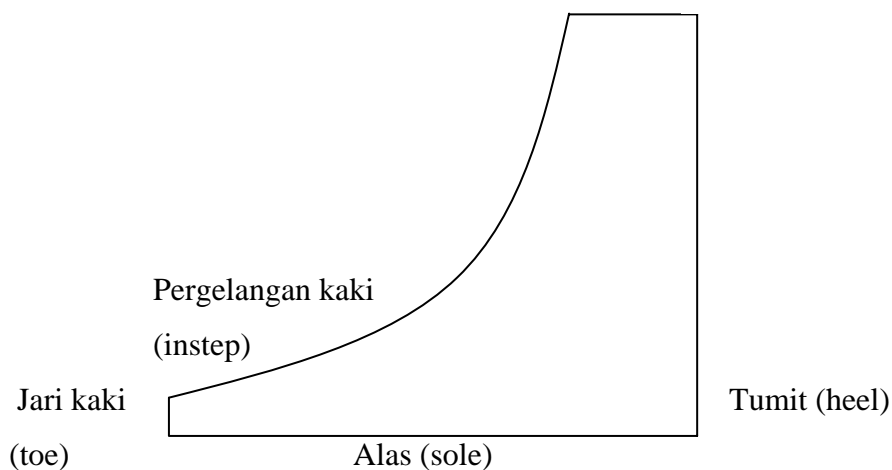
Kandungan uap air relatif adalah jumlah uap air yang ada dalam udara dibandingkan dengan jumlah uap air maksimum yang dapat dimiliki oleh udara pada kondisi yang sama (temperatur dan tekanannya sama).

Tetes uap air atau *grains of moisture* adalah ukuran yang digunakan untuk menghitung jumlah uap air yang ada di udara.

Temperatur titik pengembunan atau *dewpoint temperature* adalah temperatur saat uap air mulai mengembun pada suatu permukaan. Dalam hubungannya dengan grafik psychrometrics, term-term ini dapat bercerita banyak tentang kondisi udara, misalnya :

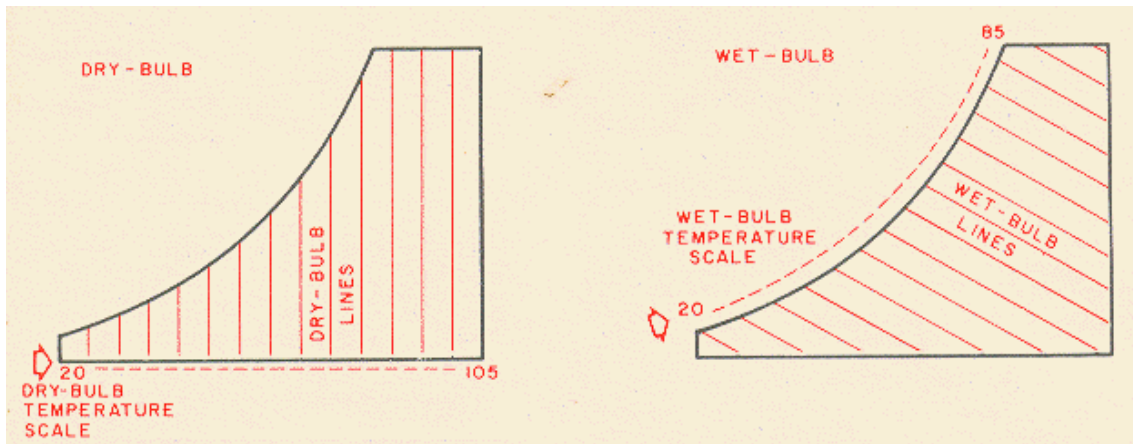
- Jika temperatur kering dan temperatur basah sudah diketahui maka kandungan uap air relatif dapat dibaca di grafik.
- Jika temperatur kering dan kandungan uap air relatif sudah diketahui, maka temperatur basah dapat dicari.
- Jika temperatur basah dan kandungan uap air relatif diketahui maka temperatur kering dapat dicari.
- Jika temperatur kering dan temperatur basah sudah diketahui, maka temperatur pengembunan dapat dicari.
- Jika temperatur basah dan kandungan uap air relatif diketahui, maka temperatur pengembunan dapat dicari.
- Jika temperatur kering dan kandungan uap air relatif diketahui, maka temperatur pengembunan dapat dicari.
- Tetes uap air di udara dapat dicari dari tiap kombinasi sebagai berikut :
  - Temperatur kering dan kandungan uap air relatif (RH)
  - Temperatur kering dan temperatur pengembunan
  - Temperatur basah dan kandungan uap air relatif (RH)
  - Temperatur basah dan temperatur pengembunan
  - Temperatur kering dan temperatur basah
  - Titik pengembunan

### Letak Garis dan Skala Pada Grafik



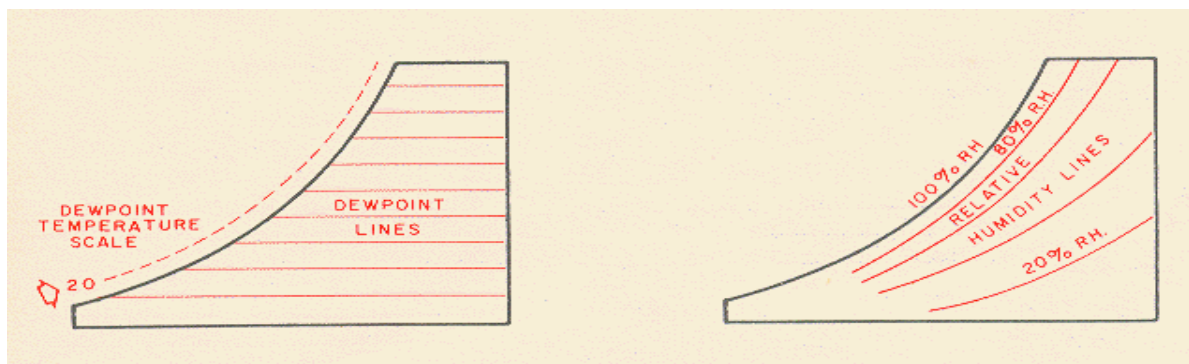
Gambar 23

Ilustrasi pada gambar diatas membantu para pembaca untuk mengetahui letak garis dan skala pada grafik psychrometrics. Gambar grafik seperti sebuah sepatu dengan jari kaki (toe) disebelah kiri, dan tumit (heel) di sebelah kanan. Skala temperatur kering (dry-bulb temperature scale) membentang sepanjang alas (sole) dari jari kaki (toe) sampai tumit (heel). Garis temperatur kering berdiri tegak dari alas (sole) ke satu garis mewakili tiap derajat temperatur.



Gambar 24

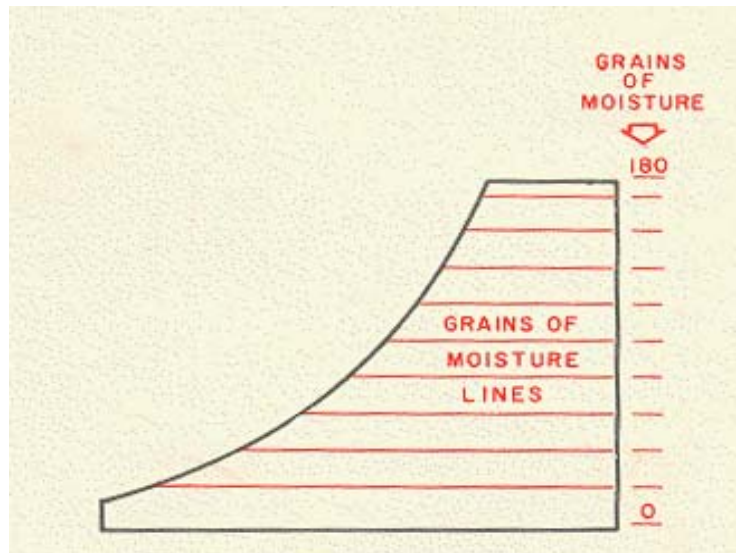
Skala temperatur basah (wet-bulb scale) membentang sepanjang pergelangan kaki (instep) ke puncak sepatu. Garisnya membentang secara diagonal ke bawah ke alas (sole) dan belakang sepatu satu garis satu derajat temperatur.



Gambar 25

Skala titik kondensasi atau titik pengembunan adalah sama dengan skala temperatur basah (wet-bulb scale). Garis titik pengembunan membentang secara horizontal ke bagian belakang sepatu, satu garis satu derajat temperatur.

Garis kandungan uap air relatif berlokasi sepanjang sisi sepatu dan sejajar dengan garis pergelangan kaki (instep). Garis pergelangan kaki (instep) merupakan garis kandungan uap air relatif 100%.



Gambar 26

Skala tetes uap air berada di sepanjang bagian belakang sepatu, mulai dari bawah sampai ke atas. Letak garisnya sama dengan garis pengembunan.

### Hubungan antara Term-Term

Contoh berikut menggambarkan hubungan antar term. Setiap contoh langsung berhubungan dengan grafik psychometrics. Oleh karena itu, grafik seharusnya selalu digunakan untuk memperjelas persoalan.

Contoh 1: Temperatur kering, temperatur basah → kandungan uap air relatif (RH)

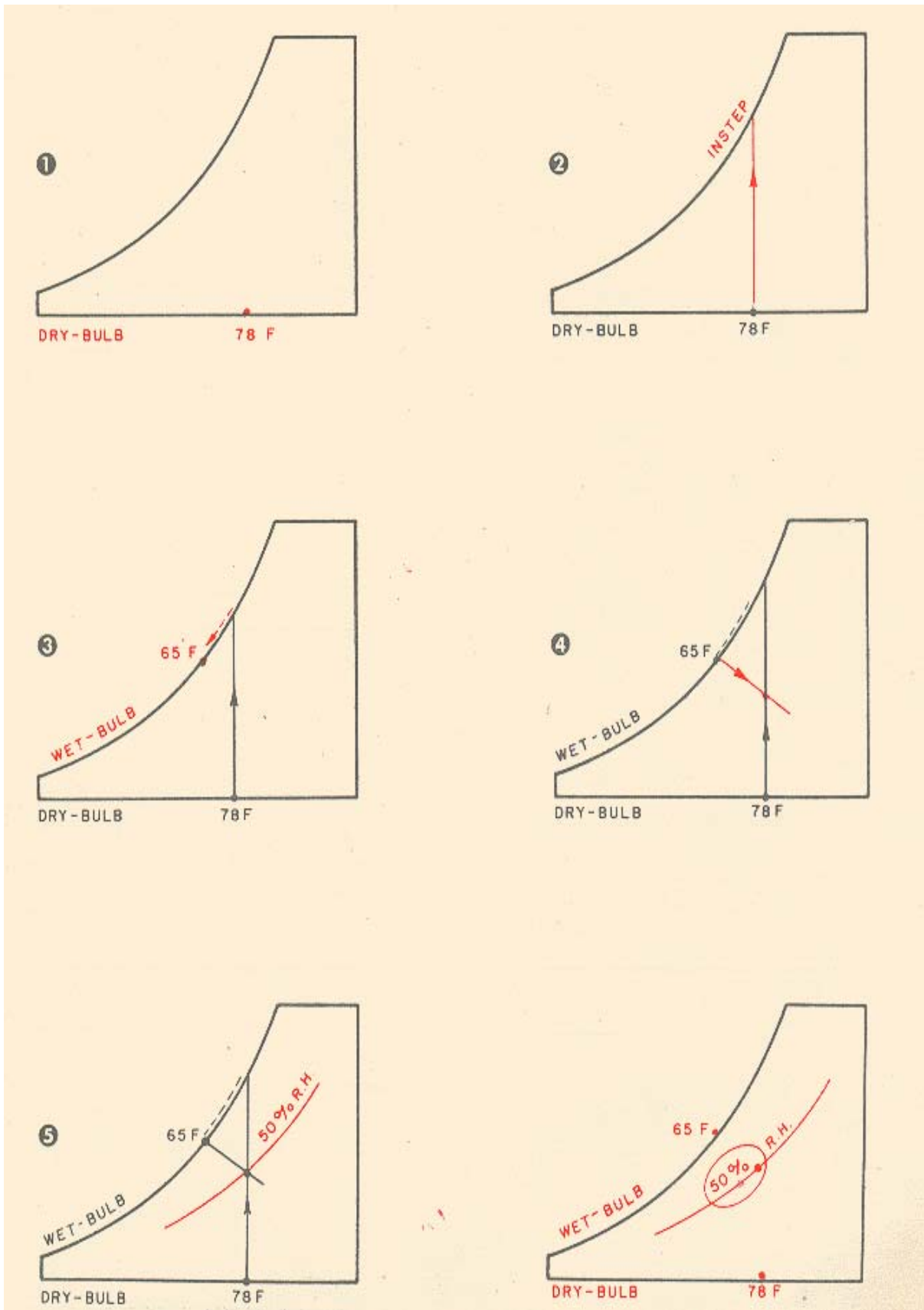
Diketahui : Temperatur kering 78 F

Temperatur basah 65 F

Carilah : Kandungan uap air relatif (RH)

- Jawab:
1. Plot 78 F pada skala temperatur kering, yaitu bagian bawah grafik
  2. Dari titik 78 F tarik garis tegak lurus ke atas sehingga memotong kurva pergelangan kaki (instep).
  3. Dari titik itu, ikuti kurva ke arah menurun sampai pada titik 65 F (skala temperatur basah)
  4. Tarik garis sejajar dengan garis temperatur basah sampai memotong garis 78 F
  5. Dari titik itu didapat garis kurva, garis kandungan uap air relatif yang sesuai yaitu 50%.

Jadi kandungan uap air relatif (RH) untuk 78F db dan 65 F wb adalah 50%.



Gambar 27

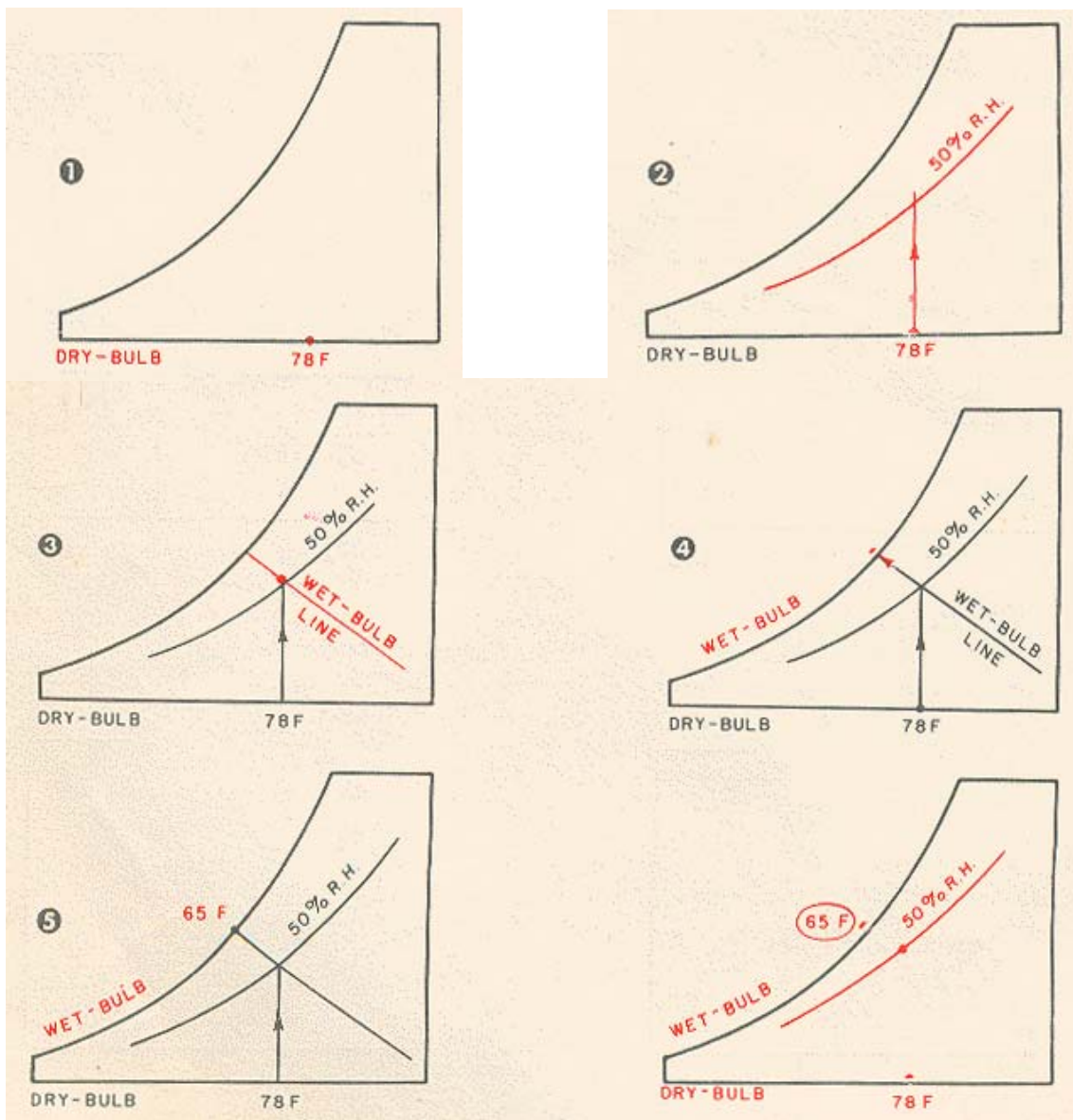
Contoh 2: Temperatur kering, kandungan uap air relatif (RH) → temperatur basah

Diketahui : Temperatur kering 78 F

Kandungan uap air (RH) 50%

Carilah : Temperatur basah

- Jawab:
1. Plot 78 F pada skala temperatur kering, yaitu bagian bawah grafik
  2. Dari titik 78 F tarik garis tegak lurus ke atas sehingga memotong garis RH 50%
  3. Letak titik temperatur basah adalah pada titik pertemuannya
  4. Ikuti garis diagonal ke arah kiri atas dan memotong kurva pergelasan kaki
  5. Disitulah letak titik temperatur basah, yaitu sebesar 65 F



Gambar 28

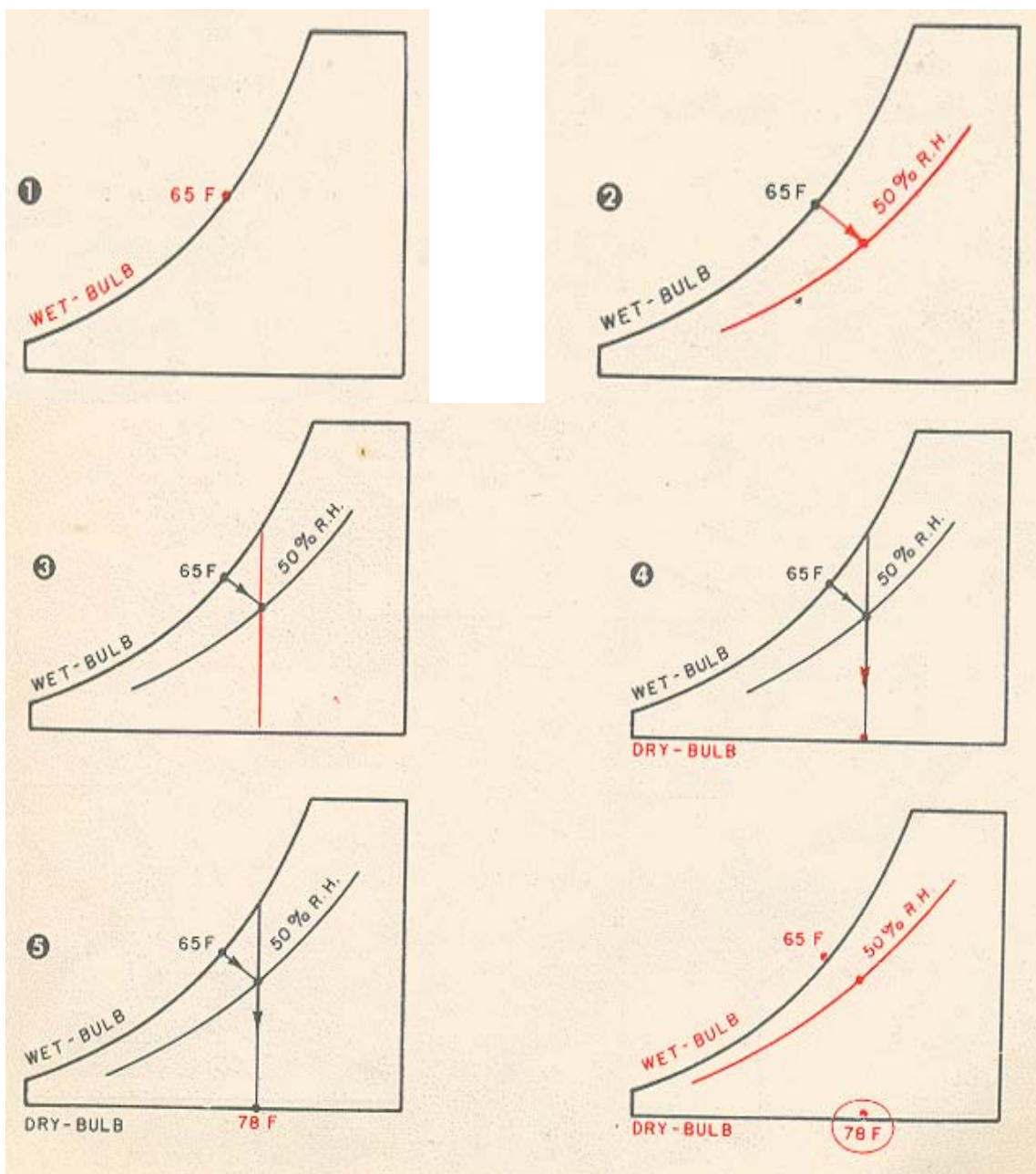
Contoh 3: Temperatur basah, kandungan uap air relatif (RH) → temperatur kering

Diketahui : Temperatur basah 65 F

Kandungan uap air (RH) 50%

Carilah : Temperatur kering

- Jawab:
1. Tetapkan titik 65 F pada skala temperatur basah
  2. Tarik garis diagonal ke bawah sampai memotong garis RH 50%
  3. Tarik garis tegak lurus dari atas ke bawah melalui titik potong pada no. 2 sampai memotong garis skala temperatur kering.
  4. Didapat titik potongnya pada 78 F



Gambar 29

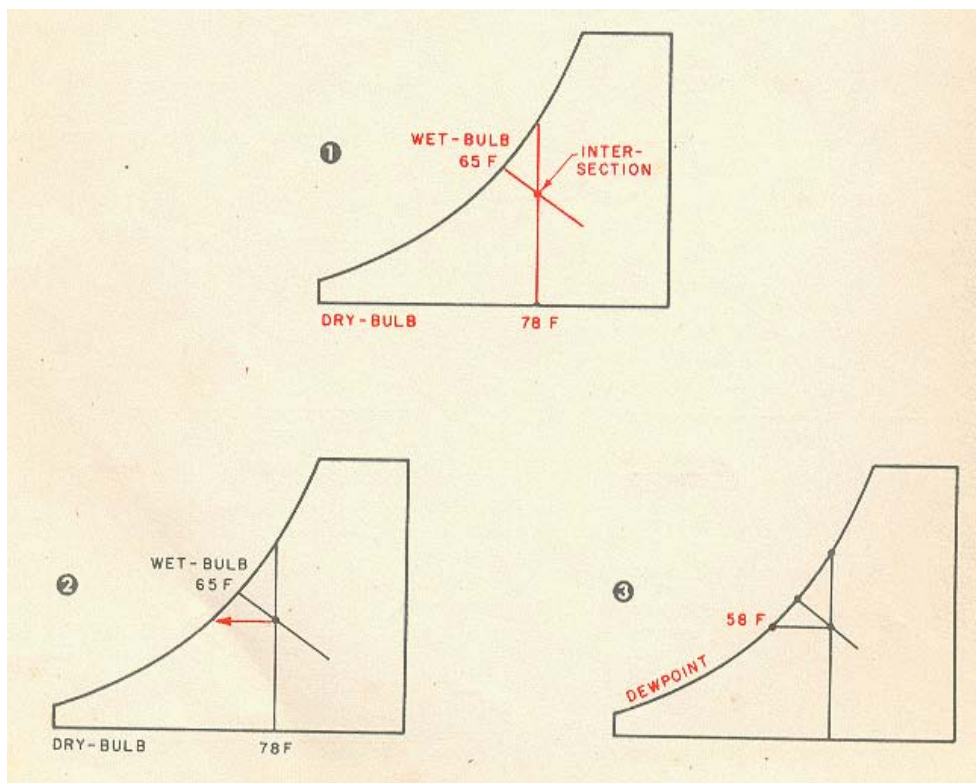
Contoh 4: Temperatur kering, temperatur basah → titik pengembunan

Diketahui : Temperatur kering 78 F

Temperatur basah 65 F

Carilah : Titik pengembunan (dewpoint)

- Jawab:
1. Carilah titik potong 78 F db dengan 65 F wb
  2. Tarik garis horizontal ke kiri sampai memotong kurva pergelangan kaki (instep)
  3. Didapat titik temperatur pengembunan (dewpoint) 58 F



Gambar 30

Contoh 5: Temperatur basah, kandungan uap air relatif (RH) → titik pengembunan

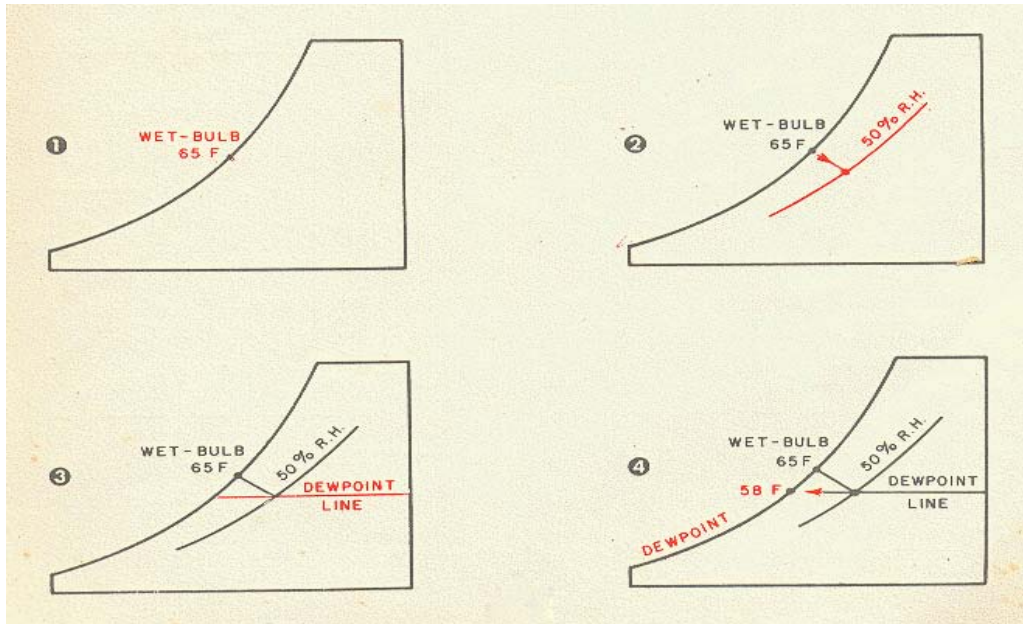
Diketahui : Temperatur basah 65 F

Kandungan uap air (RH) 50%

Carilah : Titik pengembunan (dewpoint)

- Jawab:
1. Cari titik 65 F pada skala temperatur basah
  2. Ikuti garis diagonal ke bawah, mulai dari titik 65 F sampai memotong garis RH 50%
  3. Dari titik perpotongan no. 2, tarik garis horizontal, yaitu garis pengembunan (dewpoint)
  4. Garis di atas memotong kurva di sebelah kiri pada titik 58 F
  5. Garis perpotongan itu adalah titik pengembunan yaitu 58 F





Gambar 31

Seperti ditunjukkan pada contoh 3, temperatur basah 65 F dan RH 50% akan menghasilkan temperatur kering 78 F. Dengan kondisi yang sama, dapat digunakan untuk mencari lebih banyak lagi kondisi lain. Lebih jauh, temperatur basah dan kandungan uap air relatif telah digunakan untuk mencari temperatur kering dan temperatur pengembunan.

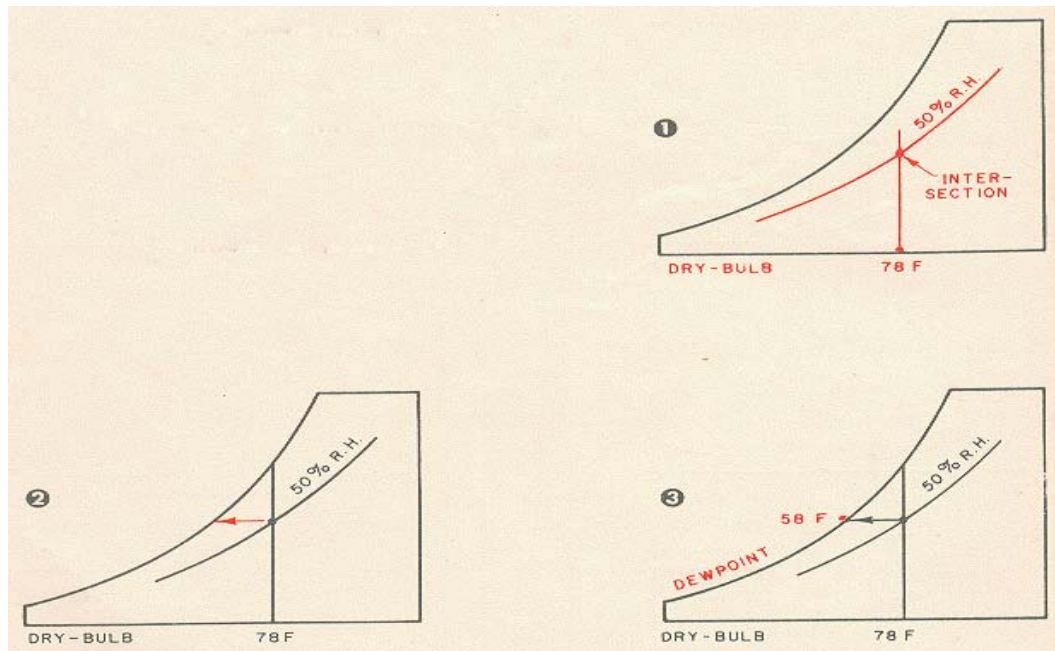
Contoh 6: Temperatur kering, kandungan uap air relatif (RH) → temp. pengembunan

Diketahui : Temperatur kering 78 F

Kandungan uap air (RH) 50%

Carilah : Temperatur pengembunan (dewpoint)

- Jawab:
1. Cari titik perpotongan 78 F db dengan 50% RH
  2. Tarik garis horizontal ke kiri, sampai memotong kurva
  3. Titik perpotongannya yaitu 58 F adalah temperatur pengembunan



Gambar 32

Seperti ditunjukkan pada contoh 2, temperatur kering 78 F db dan RH 50% akan menghasilkan temperatur basah 65 F wb. Dengan kondisi yang sama, dapat digunakan untuk mencari lebih dari satu kondisi tambahan lainnya. Lebih jauh, temperatur kering dan kandungan uap air relatif telah digunakan untuk mencari temperatur basah dan temperatur pengembunan.

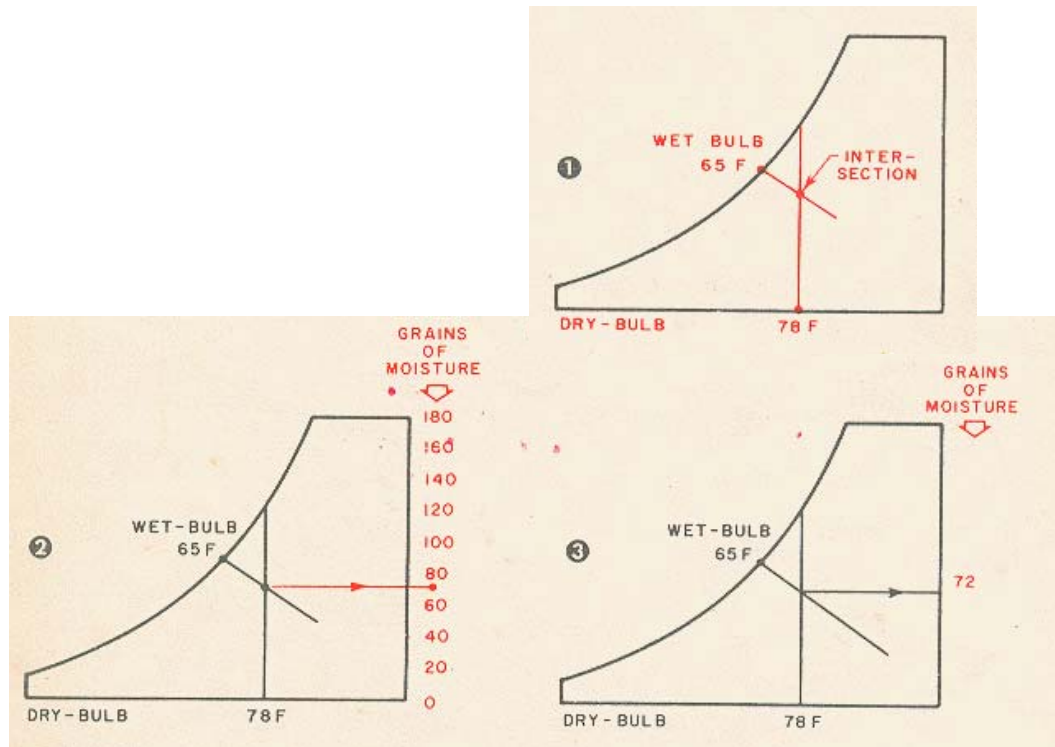
Contoh 7: Temperatur kering, temperatur basah → tetes air

Diketahui : Temperatur kering 78 F

Temperatur basah 65 F

Carilah : Jumlah tetes air

- Jawab:
1. Cari perpotongan antara 78 F db dengan 65 F wb
  2. Tarik garis horizontal ke kanan, sampai memotong garis jumlah tetes air
  3. Akan didapat jumlah tetes air sebesar 72



Gambar 33

Pada contoh di atas ditunjukkan bagaimana cara mencari jumlah tetes air dengan menggunakan temperatur kering dan temperatur basah. Jumlah tetes air juga dapat dicari pada grafik pscymetrics dengan menggunakan prosedur seperti di atas, tetapi dengan kombinasi lain. Secara sederhana, carilah perpotongan dua kondisi tertulis dibawah ini dan ikuti garis pada grafik yang memotong skala jumlah tetes air.

- db dengan kandungan uap air relatif (RH)
- db dengan temperatur pengembunan
- wb dengan kandungan uap air relatif (RH)
- wb dengan temperatur pengembunan

### Jumlah Tetes Air per Pound (lb) Udara Kering atau per ft<sup>3</sup> Udara

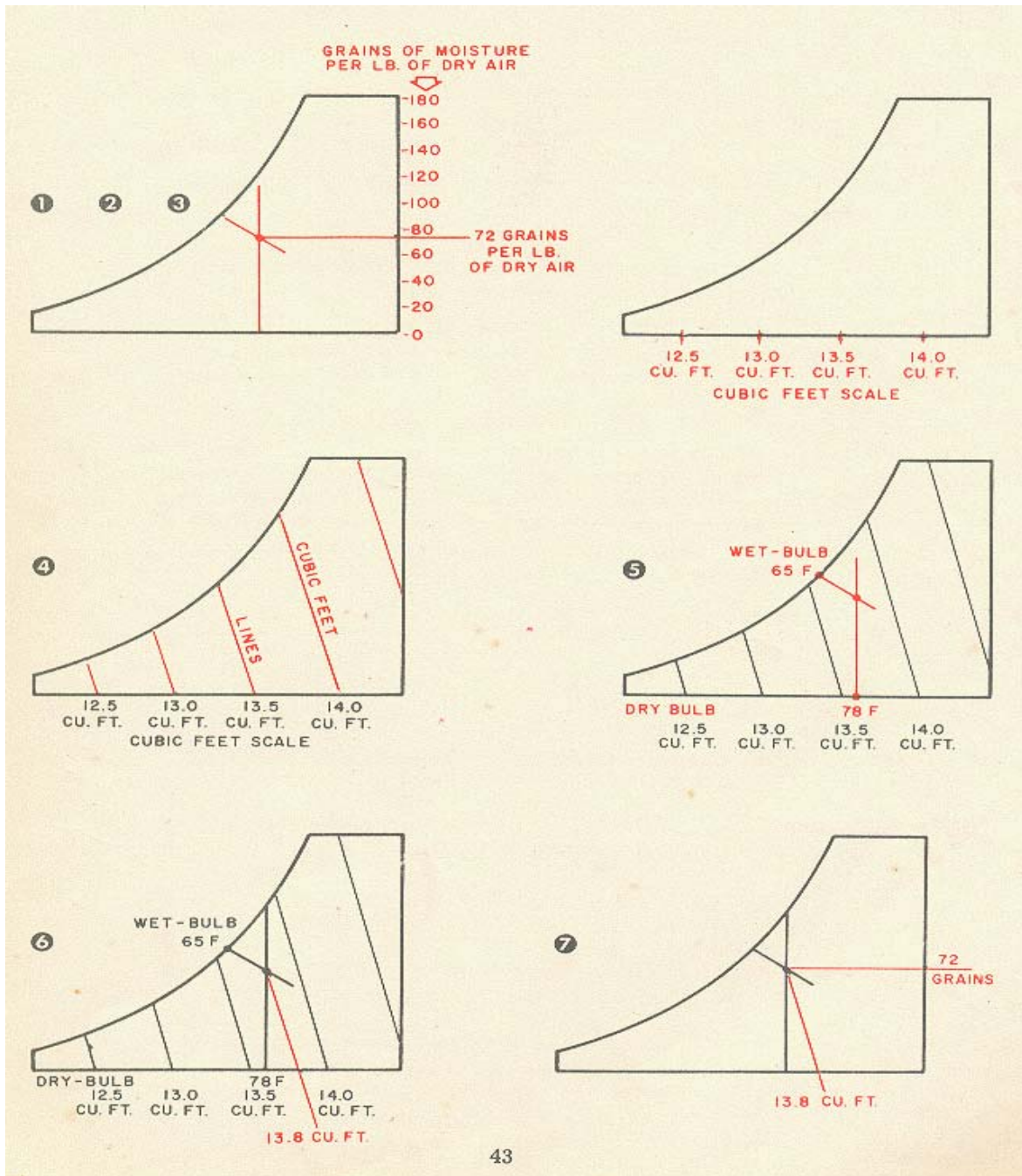
Perhatikan pada ujung atas skala tertulis kata “jumlah tetes air per lb udara kering”. Berarti bahwa pada 78 F db dan 65 F wb, udara (per lb) dapat menahan sejumlah 72 tetes air.

Uap air dapat diukur per lb udara atau per ft<sup>3</sup> udara. Untuk mencari uap air per ft<sup>3</sup> udara, gunakanlah kondisi yang sama (78 F db dab 65 F wb) dengan langkah sebagai berikut:

1. Carilah titik potong 78 F db dab 65 F wb
2. Tarik garis horizontal ke kanan sampai memotong garis skala jumlah uap air.
3. Didapatkan hasilnya 72 tetes air
4. Carilah skala ft<sup>3</sup> sepanjang alas gambar sepatu (psychometrics). Skala mulai dari 12,5 ft<sup>3</sup> dan berakhir pada 14 ft<sup>3</sup>. Garis ini membentang diagonal dari alas ke kiri atas.

5. Cari lagi titik potong antara 78 F db dab 65 F wb
6. Tarik garis sejajar dengan  $ft^3$  melalui perpotongan pada item no.5 terus miring ke bawah sampai memotong alas. Titik potongnya berada antara 13,5 dan 14 katakanlah 13,8  $ft^3$
7. Bagilah 72 dengan 13,8
8. Hasilnya yaitu 5 tetes air per  $ft^3$

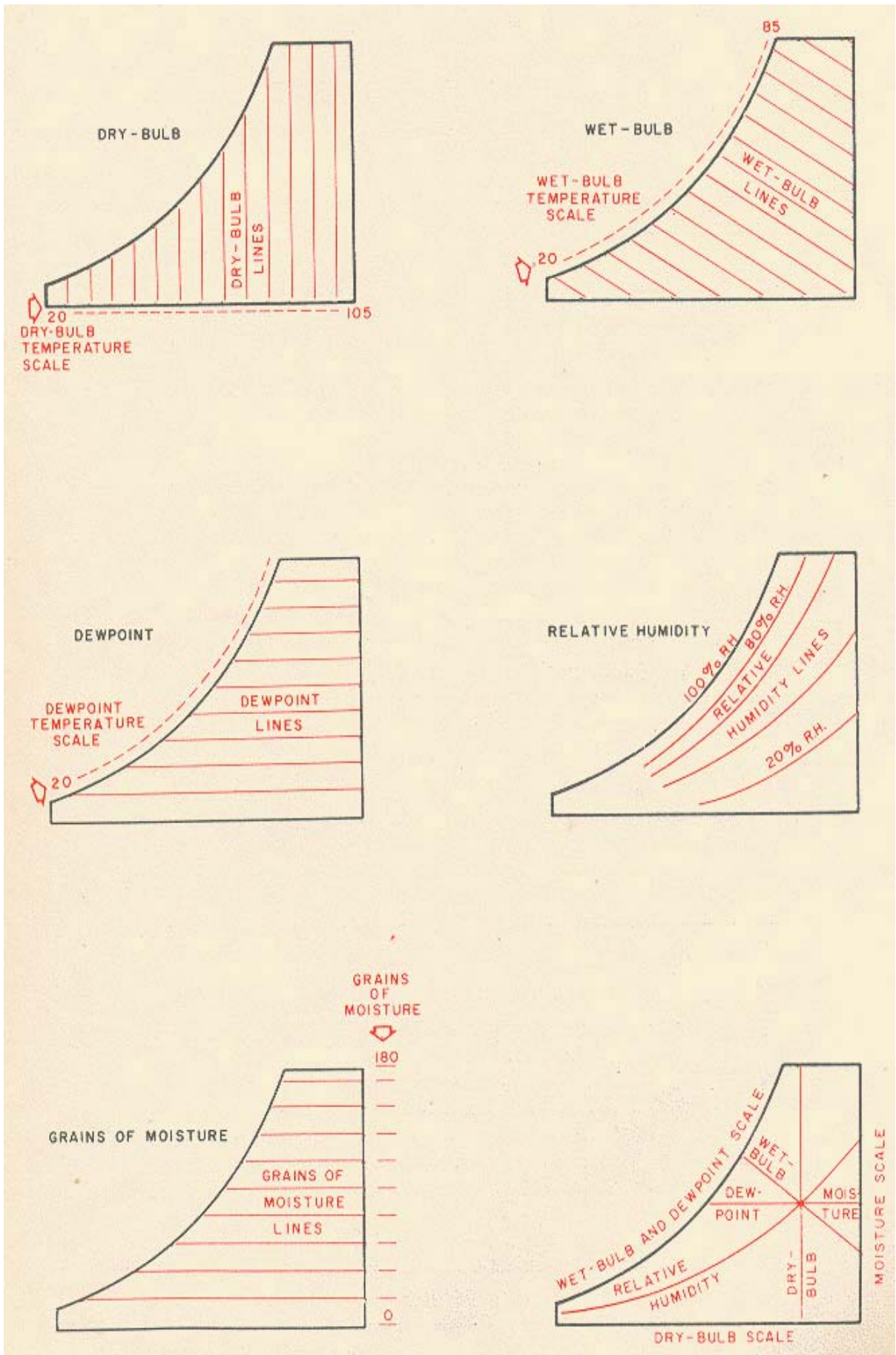
Pada temperatur 78 F db dab 65 F wb, uap air di dalam udara adalah sejumlah 72 tetes tiap lb udara, atau 5 tetes tiap  $ft^3$ .



Gambar 34

## **Kesimpulan**

- Psychrometrics adalah ilmu yang mempelajari mengenai sifat-sifat udara.
- Grafik psychrometrics adalah untuk menyederhanakan pengukuran sifat-sifat udara
- Grafik psychrometrics adalah sebuah gambar atau grafik yang menyajikan sifat-sifat dan kondisi udara.
- Temperatur kering (db), temperatur basah (wb), kandungan uap air relatif, titik pengembunan dan jumlah tetes air merupakan term-term pada psychrometrics.
- Apabila harga 2 term psychrometrics sudah diketahui, maka harga term lainnya akan dapat dicari dengan menggunakan grafik psychrometrics.
- Grafik psychrometrics berbentuk menyerupai sebuah sepatu. Alasnya merupakan temperatur kering, kurva miring mewakili temperatur basah dan temperatur pengembunan, garis kandungan uap air kira-kira sejajar dengan kurva, dan sepanjang sisi gambar sepatu, skala jumlah tetes uap air digambarkan sepanjang belakang gambar sepatu.
- Garis temperatur kering berposisi vertical pada grafik, garis temperatur basah berada pada diagonal, garis temperatur pengembunan dan tetes uap air berposisi horizontal.
- Thermometer temperatur basah disebut demikian karena pada ujung runcingnya dibungkus dengan kain basah pada saat pengukuran dilakukan.
- Thermometer temperatur basah mencatat hasil pengukuran lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran temperatur kering, kecuali pada RH 100%.
- Permukaan ujung runcing thermometer temperatur basah didinginkan oleh hasil menguapnya uap air pada kain basah.
- Temperatur basah lebih tinggi hasilnya pada udara basah dibanding dengan hasil pengukuran pada udara kering pada temperatur yang sama.
- Efek pendinginan karena penguapan tergantung dari jumlah uap air di udara. Pada keadaan RH 100%, efek pendinginan atau penguapan terhenti karena udara sekitar dalam keadaan jenuh dan tidak sanggup lagi mengambil uap air lebih banyak dari kain basah.



Gambar 35

## Tugas

Gunakan grafik psychrometrics untuk memecahkan persoalan berikut

- a. Mencari kandungan uap air relatif (RH)    b. Carilah temperatur basah (wb)

No	DB	WB	RH	No	DB	RH	WB
1	60 F	50 F		1	72 F	34%	
2	70 F	60 F		2	78 F	96%	
3	79 F	69 F		3	79 F	62%	
4	79 F	70,5 F		4	70 F	9%	
5	80 F	56,5 F		5	66 F	40%	

- c. Carilah temperatur kering (db)    d. Carilah temperatur pengembunan (df)

No	WB	RH	DB	No	DB	WB	DP
1	70 F	80%		1	70 F	61 F	
2	40 F	10%		2	90 F	81 F	
3	75 F	50%		3	55 F	50 F	
4	30 F	20%		4	101 F	62 F	
5	62 F	65%		5	80 F	71 F	

- e. Hitunglah jumlah tetes uap air

No	DB	WB	Tetes/lb (Gr/lb)
1	80 F	65 F	
2	70 F	61 F	
3	101 F	62 F	
4	60 F	60 F	
5	45 F	40 F	

f. Carilah harga-harga yang belum diketahui

No	DB	WB	RH	DP	Gr/lb
1	72 F				59 Gr
2		61 F	45%		
3	85 F		60%		
4	68 F			24 F	
5		71 F			63 Gr
6			12%		10 Gr
7			90%	68 F	
8	98 F				180 Gr
9	83 F	53 F			
10			30%		10 Gr

g. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan menggunakan grafik psychrometrics.

1. a. Berapa jumlah tetes uap air yang sama dengan 1 lb?  
b. Berapa jumlah tetes uap air yang sama dengan 0,01 lb?  
c. Berapa jumlah tetes uap air yang sama dengan 0,001 lb?
2. Berapa lb-kah jumlah uap air?  
a. 14 tetes  
b. 70 tetes  
c. 3.500 tetes  
d. 70.000 tetes
3. Dibawah kondisi jenuh (saturated), berapa lebih banyakkah uap air yang dapat ditahan pada temperatur 60 F dibandingkan pada temperatur 30 F?
4. Sebuah AC ruangan mulai bekerja pada temperatur 75 F dan RH 70%  
a. Berapakah banyaknya uap air yang dikandung udara pada saat itu?  
b. Setelah 3 jam bekerja, temperatur menjadi 70 F dan RH 50%, berapakah banyaknya uap air yang dibuang?
5. Seorang pemilik rumah menggerutu karena system pemanas udaranya menghasilkan udara kering. Saat diperiksa ternyata didapat data 72 F db dab 48 F wb.  
a. Berapakah kandungan uap air relatif (RH)?  
b. Berapa banyak uap air yang mesti ditambahkan pada sistem pemanas tersebut bila RH-nya 50%



## UNIT 6

### APLIKASI TERM-TERM PSYCHROMETRICS

Pada bagian ini akan diuraikan cara penggunaan term-term dan grafik psychrometrics dalam praktek. Oleh karena grafik digunakan secara mendetail, maka diperlukan pemahaman yang mendalam pada beberapa term psychrometrics. Term tersebut antara lain: kandungan uap air (humidity), temperatur pengembunan (dewpoint) dan temperatur basah (wet bulb).

#### **Penggunaan Praktis Kandungan Uap Air (*Humidity*)**

Kandungan uap air relatif digunakan untuk kenyamanan pada sistim pengkondisian udara (air conditioning) yang menunjukkan adanya sejumlah uap air di dalam udara. Kenyamanan pada sistim pengkondisian udara merupakan cara lain untuk menggambarkan bahwa pengkondisian udara menyuguhkan adanya rasa nyaman untuk tubuh manusia dibandingkan dengan pengkondisian udara yang digunakan untuk industri.

Melalui berbagai tes dan observasi, para pakar teknik telah menemukan bahwa pada suatu kombinasi tertentu antara kandungan uap air dan temperatur udara memberikan hasil yang nyaman disbanding dengan kombinasi lainnya. Pada musim dingin, suasana nyaman untuk kebanyakan orang akan tercapai bila kombinasi 30% sampai 35% kandungan uap air relatif pada temperatur 72 F sampai 75 F (dalam suatu ruangan). Pada musim panas, kombinasi yang cocok untuk kenyamanan adalah antara 45% sampai 50% relative humidity dan temperatur 75 F sampai 78 F.

Dengan menggunakan pengetahuan ini pada grafik psychrometrics, memungkinkan untuk mencari apa yang harus dilakukan terhadap udara luar sebelum disalurkan ke dalam ruangan. Selain itu, juga untuk mempertahankan kombinasi ternyaman antara kandungan uap air relatif dan temperatur di dalam ruangan

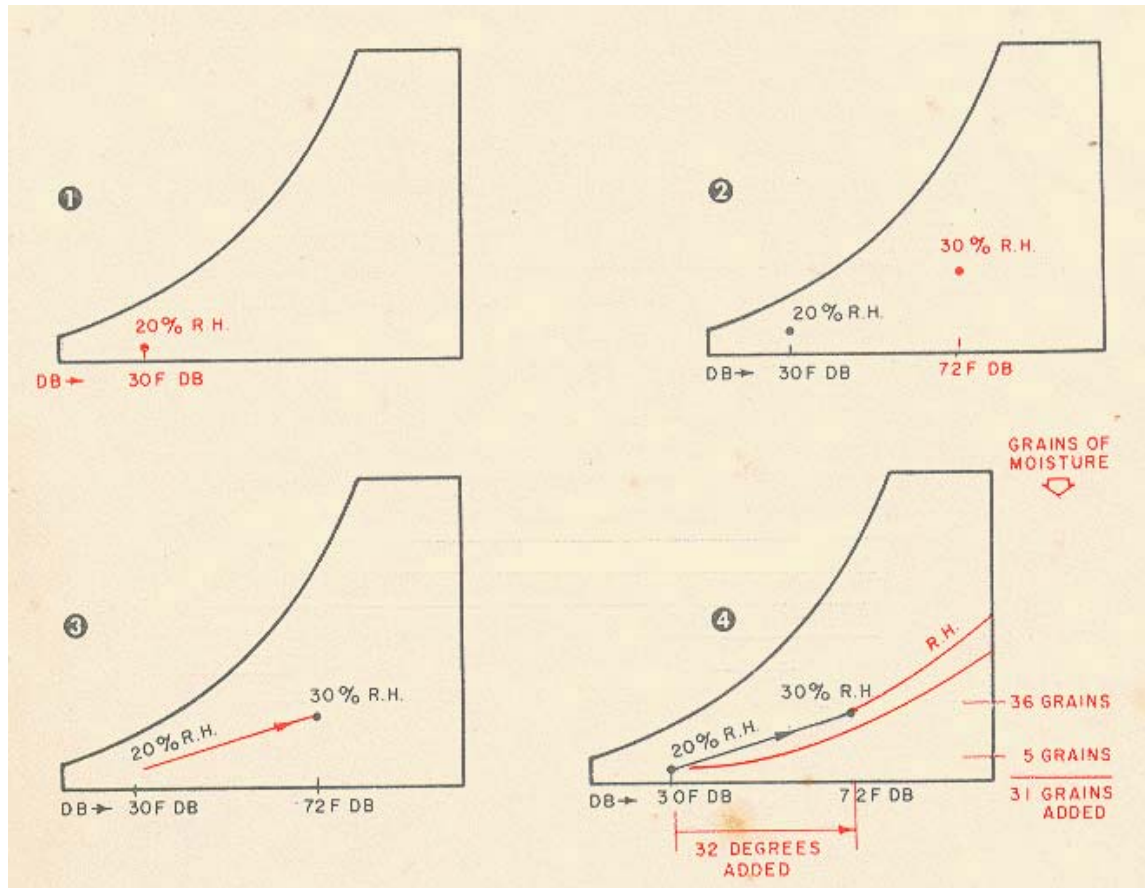
#### **Pengkondisian Udara Di Musim Dingin**

Diketahui temperatur kering udara luar yaitu 30 F dan kandungan uap air relatif udara luar yaitu 20%. Carilah kombinasi kandungan uap air relatif dan temperatur kering yang berada dalam kondisi nyaman untuk musim dingin (temperatur 72-75 F dan RH 30-35%). Perlakuan yang dibutuhkan untuk merubah kondisi udara luar ke kondisi dalam ruangan yang nyaman.

Pemecahan dari permasalahan di atas, yaitu:

1. Plot titik pada grafik psychrometrics pada perpotongan antara 30 F db dengan 20% RH

2. Letakan sebuah titik pada perpotongan temperatur kering dan kandungan uap iar relatif yang berada pada daerah nyaman di dalam ruangan pada saat musim dingin, misalnya: 30% dan 72 F db.



Gambar 36

3. Gambarlah garis antara kedua titi tersebut.
4. Dengan mengikuti garis dari titik ke 1 dan ke 2 pada titik potong, memungkinkan untuk mendapatkan beberapa perubahan yang harus dibuat/ dilakukan agar kondisi udara dapat distel ke kondisi yang diinginkan (temperatur dan kandungan uap air relatif).
  - a. Karena kandungan uap air relatif naik, dari 20% menjadi 30% berarti uap air harus ditambah ke udara.
  - b. Karena temperatur kering harus dinaikan dari 30 F menjadi 72 F db artinya harus ada panas yang ditambahkan.

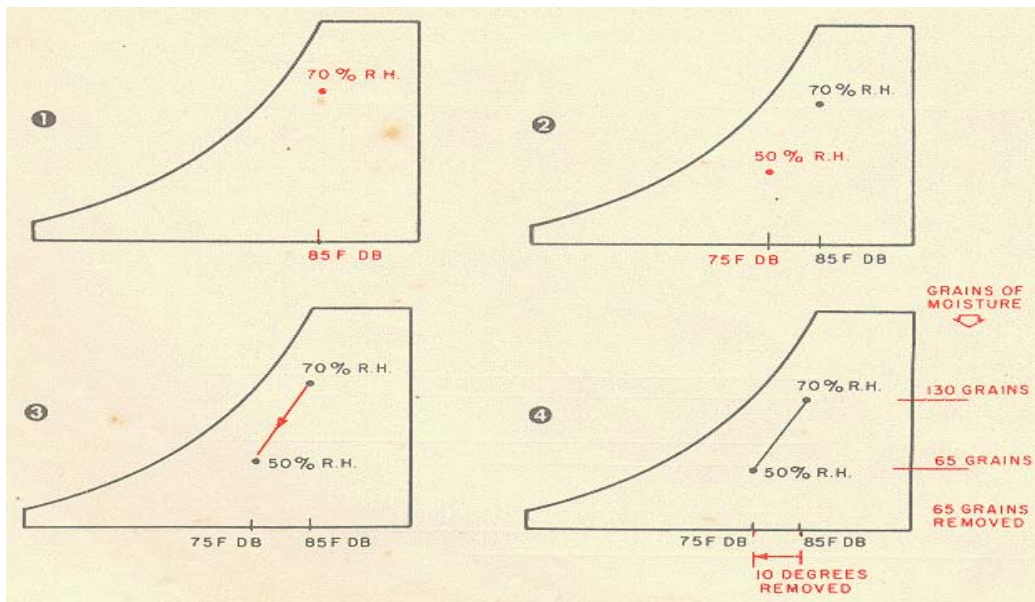
Pada contoh di atas, grafik psychrometrics menunjukkan sebuah contoh sederhana dimana dibutuhkan sebuah ketel atau koil pemanas agar panas bertambah. Selain itu, diperlukan sebuah pengabut (dehumidifier) untuk menambah jumlah uap air ke udara.

## Pengkondisian Udara Di Musim Panas

Diketahui bahwa temperatur udara luar 85 F dan kandungan uap air relatif adalah 70%. Carilah kombinasi yang tepat antara kandungan uap air relatif dengan temperatur udara kering agar tercipta suasana nyaman untuk musim panas (45-50% RH dan temperatur 75-78 F). Dibutuhkan suatu pengaturan untuk mengubah kondisi udara luar agar memenuhi kondisi yang nyaman.

Pemecahan dari permasalahan di atas, yaitu:

1. Letakan sebuah titik pada titik potong antara 70% RH dan 85 F pada grafik psychometrics.
2. Letakan juga sebuah titik pada perpotongan antara dry bulb dan RH yang memenuhi syarat kenyamanan untuk musim panas, misalnya: 50% RH dan temperatur 75 F.
3. Tarik garis antara ke 2 titik tersebut.
4. Dengan mengikuti garis dari titik 1 ke titik 2 didapatkan beberapa hal yang harus mengalami perubahan.
  - a. Karena kandungan uap air relatif turun dari 70% menjadi 50% berarti ada sejumlah uap air yang harus dikeluarkan dari udara.
  - b. Karena temperatur turun dari 85 F menjadi 75 F artinya ada sejumlah panas yang harus dibuang.



Gambar 37

Pada contoh di atas, grafik psychometrics menunjukkan sebuah contoh sederhana mengenai operasi pengkondisian udara pada musim panas. Evaporator menurunkan temperatur sekaligus membuang uap air di udara.

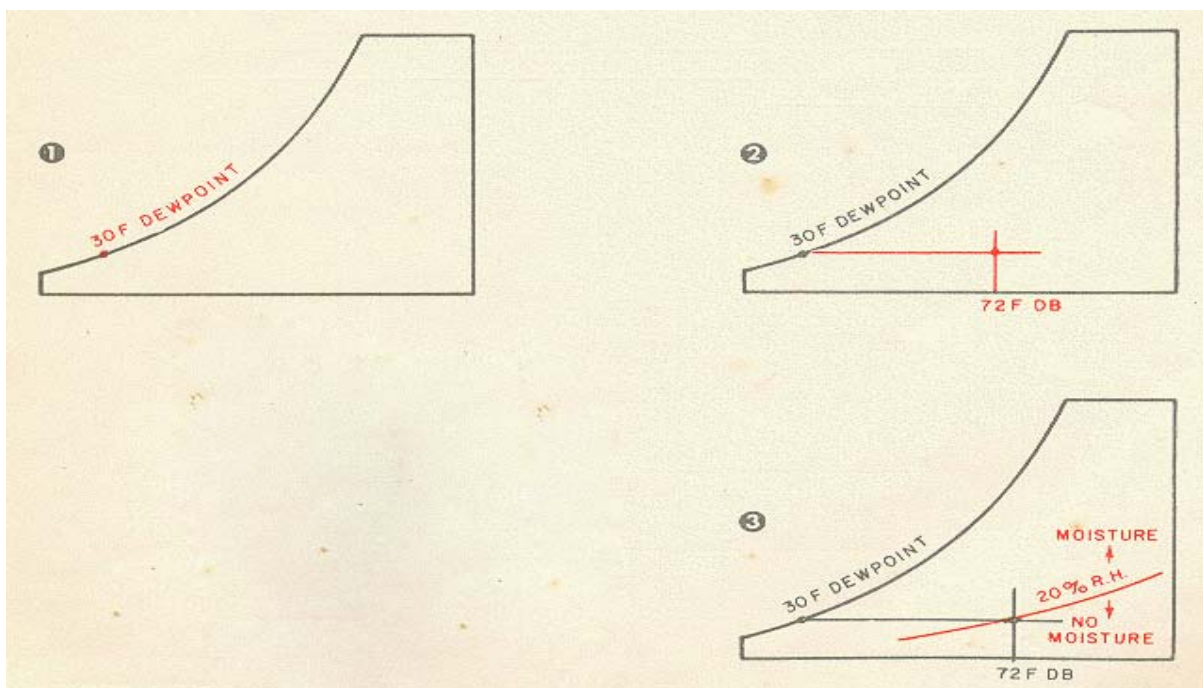
Contoh berikut menunjukkan sebuah hubungan kerja antara kandungan uap air relatif dengan temperatur kering. Jika kandungan uap air relatif dipertahankan tetap berada di dalam daerah nyaman (30-35% untuk musim dingin dan 40-50% untuk musim panas). Maka penghuni yang berada di dalam ruangan yang dikondisikan akan merasa nyaman. Kandungan uap air relatif dan grafik psychometrics mempunyai aplikasi praktis lainnya, misalnya: keduanya biasa digunakan untuk mencari kondisi di mana kondensasi akan terbentuk pada suatu permukaan dingin.

### Kondensasi atau Pengembunan Di Musim Dingin

Diketahui kondisi temperatur permukaan jendela 30 F dan temperatur ruangan sebelah dalam 72 F. Carilah besarnya kandungan uap air relatif agar pada kondisi itu tidak terjadi pengembunan di permukaan jendela.

Pemecahan dari permasalahan di atas, yaitu:

1. Gunakan temperatur jendela sebagai temperatur pengembunan dan plot 30 F pada skala pengembunan.
2. Carilah titik potong antara 30 F dp dengan 72 F db.
3. Tentukan besarnya kandungan uap air relatif pada titik itu, kira-kira 20%. Hal tersebut artinya bahwa pada temperatur 72 F dan kandungan uap air relatif dibawah 20%, maka permukaan jendela akan tetap kering. Jika kandungan uap air relatif berada diatas 20% uap air akan mengembun. Pada kenyataannya, dibawah kondisi ini, uap air akan terbentuk di permukaan yang bertemperatur 30 F.



Gambar 38

Contoh pengkondisian udara pada musim dingin menunjukkan bahwa sebuah kombinasi antara 30% kandungan uap air relatif dengan 72 F akan menghasilkan kondisi yang nyaman. Pada contoh 'kondensasi di musim dingin' memperlihatkan, bahwa pada 72 F, kandungan uap air relatif maksimum yang diijinkan untuk mencegah pengembunan hanya 20%. Artinya 10% kurangnya dibandingkan untuk kenyamanan.

Dua alternatif yang diijinkan untuk memperbaiki kekurangan akan uap air yang mencukupi, di dalam udara, yaitu:

1. Seperti diutarakan sebelumnya, bahwa uap air dapat dibuang atau dicegah dengan menggunakan udara hangat di atas permukaan jendela. Udara hangat dihembuskan di atas permukaan jendela, sehingga kandungan uap air lebih tinggi dapat dipertahankan di dalam ruangan tanpa terjadi pengembunan atau kondensasi.
2. Dengan adanya penambahan permukaan jendela ke 2 (storm window) atau dengan menggunakan 2 lapis kaca jendela (thermopane), temperatur permukaan bagian dalam lapis kaca jadi naik (di atas 30 F) dan oleh karena itu, kandungan uap air relatif akan naik juga ke tingkat yang lebih nyaman.

### **Aplikasi Term Pengembunan/Kondensasi Secara Praktis**

Pada contoh 'kondensasi di musim dingin', pengembunan (dewpoint) digunakan karena kandungan uap air relatif dengan temperatur kering di dalam ruangan berkondisi nyaman. Sebagai tambahan untuk menggambarkan penggunaan uap air relatif secara praktis, contoh ini menunjukkan bahwa pengembunan (dewpoint) memegang peranan penting untuk mendapatkan dan mempertahankan kondisi di dalam ruangan yang sekaligus mencegah terbentuknya pengembunan di permukaan dingin seperti jendela.

Untuk menambah penggunaannya di dalam ruangan yang dikondisikan, diperlukan pengetahuan mengenai pengembunan/kondensasi, juga aplikasinya di daerah yang tidak dikondisikan. Saluran udara (duct) pada sistem pengkondisian udara yang membentang melalui daerah yang tidak dikondisikan akan menyebabkan terjadinya pengembunan pada permukaan saluran udara (duct).

### **Pengembunan Dalam Ruang yang Tidak Dikondisikan**

Diketahui: Temperatur ruang yang tidak dikondisikan 90 F db

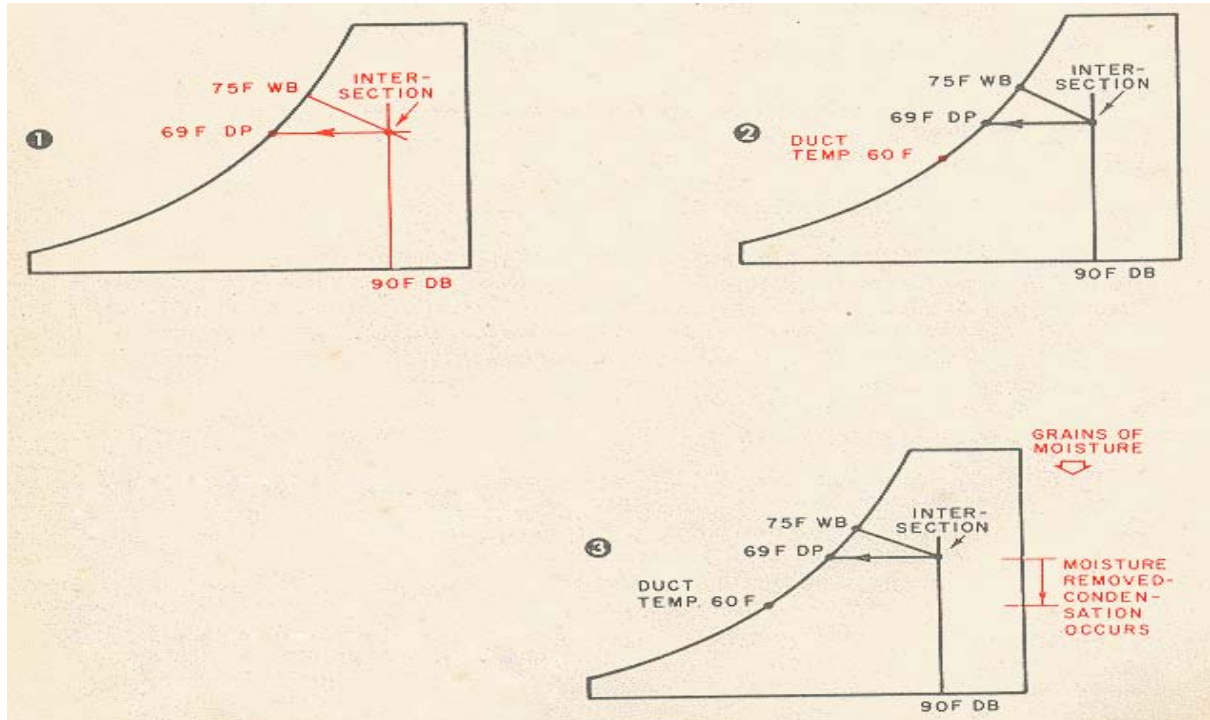
Temperatur ruangan yang tidak dikondisikan 75 F wb

Temperatur saluran udara dingin masuk 60 F

Carilah: Temperatur pengembunan dan periksalah apakah akan terjadi pengembunan pada permukaan saluran udara (duct)

Pemecahan masalah tersebut sebagai berikut:

1. Carilah temperatur pengembunan (dewpoint) dari kondisi yang telah diketahui. Carilah lokasi titik potong 90 F db dan 75 F wb, kemudian tarik garis horizontal ke kiri sampai memotong garis lengkung, maka akan didapat temperatur pengembunan (dewpoint) kira-kira 69 F.
2. Temperatur permukaan saluran udara dianggap sebagai temperatur pengembunan. Temperatur pengembunan di permukaan saluran udara adalah 60 F.



Gambar 39

3. Temperatur dimana kondensasi mulai terjadi di permukaan adalah 69 F. Setiap temperatur permukaan saluran yang ada di bawah 69 F akan menyebabkan terjadinya pengembunan. Karena temperatur saluran udara 60 F, maka kondensasi pasti terjadi di permukaan saluran udara.

Air yang menetes dari sebuah saluran udara dapat merugikan, karena akan membasahi daerah dibawahnya. Tetesan air juga akan merusak makanan, minuman dan alat elektronik yang ada dibawahnya bila tertetes dari air hasil kondensasi pada saluran udara tersebut. Cara yang paling umum dilakukan yaitu membungkus saluran udara (*duct*) dengan insulasi dan juga menambah suatu lapisan anti uap air. Insulasi itu harus cukup tebal mencegah terjadinya pengembunan di permukaan saluran udara.

Pengembunan merupakan permasalahan utama pada saluran udara sehingga perlu dicari suatu kombinasi antara temperatur udara dan temperatur permukaan saluran udara, dinding, jendela dan lainnya yang menyebabkan terjadinya pengembunan.

### **Aplikasi Praktis *Wet Bulb***

Temperatur basah (*wet bulb*) berhubungan dengan grafik psychrometrics digunakan untuk mencari kandungan uap air di udara. Paparan berikut menggambarkan hubungan langsung antara temperatur basah (*wet bulb*) dengan kandungan uap air. Oleh karena ada hubungan tersebut, maka untuk mencari temperatur basah (*wet bulb*) dengan menggunakan thermometer basah. Harga di skala temperatur basah pada grafik psychrometrics menjadi demikian penting untuk mencari harga-harga term lainnya.

Contoh kondensasi sebagai bagian dari pengembunan (*dewpoint*) dan temperatur basah sebagai patokan kondisi yang telah diketahui. Sebagai contoh, *wet bulb* dan *dry bulb* digunakan untuk mencari *dewpoint* dari udara dalam ruangan yang tidak dikondisikan. Jika temperatur ini tidak diketahui, maka dapat dengan mudah diketahui dengan menggunakan thermometer basah dan thermometer kering dan hasilnya dapat digunakan untuk mencari *dewpoint* melalui grafik psychrometrics. Jika *dewpoint* sudah diketahui, maka dapat memungkinkan kita untuk mencari temperatur permukaan yang akan terjadinya pengembunan. Pada contoh ini, temperatur basah (*wet bulb*) merupakan factor penting yang mempermudah proses pencarian temperatur, di mana pengembunan mungkin terjadi.

## Ringkasan

- Kombinasi tertentu antara uap air dan temperatur merupakan kombinasi yang menghasilkan kondisi yang lebih nyaman dibanding kombinasi lainnya.
- Kombinasi yang paling nyaman adalah kombinasi antara kandungan uap air relatif (RH) 30-35% dengan 72-75 F untuk musim dingin.
- Kombinasi yang paling nyaman untuk musim panas yaitu kandungan uap air relatif (RH) 45-50% dengan 75-78 F.
- Grafik psychrometrics dapat digunakan untuk suatu perlakuan (treatment) terhadap udara luar sebelum udara itu dimasukkan ke dalam ruangan.
- Grafik itu dapat menunjukkan suatu operasi pemanasan di musim dingin yang memerlukan penambahan panas dan uap air. Operasi pendinginan di musim panas yang memerlukan adanya pengeluaran panas dan uap air.
- Kandungan uap air relatif (*relative humidity*) dapat digunakan untuk mencari kondisi nyaman. RH juga dapat digunakan untuk mendapatkan suatu kondisi di mana pengembunan akan terjadi di permukaan saluran udara.
- Jumlah uap air yang memberikan rasa nyaman di musim dingin dapat dipertahankan, tanpa terjadinya pengembunan di kaca jendela. Dengan menggunakan hembusan udara hangat terhadap permukaan jendela atau dengan menggunakan kaca berlapis 2, atau dengan menggunakan ke 2 cara itu.
- Titik pengembunan (dewpoint) digunakan di daerah yang dikondisikan dan juga daerah yang tidak dikondisikan untuk mencari kombinasi temperatur dimana pengembunan akan terjadi pada permukaan yang dingin.
- Cara yang paling umum digunakan untuk mencegah pengembunan di permukaan saluran udara yang berada di tempat yang tidak dikondisikan adalah dengan menggunakan insulasi dan lapisan anti uap air di atas permukaan saluran udara.
- Temperatur basah (wet bulb temperature) merupakan faktor yang penting untuk mempermudah proses pencarian besarnya term-term yang ada digrafik psychrometrics, bila temperatur kering atau temperatur normal diketahui. Temperatur basah juga penting untuk mempermudah proses pencarian temperatur di mana pengembunan mungkin terjadi.



## Tugas

1. Temperatur udara luar 40 F db dan kandungan uap air 20% diinginkan agar udara jadi 75 G db dan 35% RH. Carilah:
  - a. Jumlah uap air yang ditambahkan atau dikeluarkan?
  - b. Jumlah panas yang dikeluarkan atau ditambahkan?
2. Temperatur udara luar 50F db dan 40F wb, diinginkan menjadi berkondisi 72F db dan 40% RH. Carilah jumlah uap air yang ditambahkan atau dikeluarkan?
3. Temperatur udara luar 30F db dan 25F wb, ingin diubah menjadi berkondisi udara dalam menjadi 74F db dan 40% RH. Carilah :
  - a. Jumlah panas yang harus ditambahkan oleh koil pemanas?
  - b. Jumlah uap air yang harus ditambahkan oleh pengabut/dehumidifier?
4. Temperatur udara luar 90F db dan 70% RH, udara yang diinginkan sebesar 75F db dan 50% RH. Carilah :
  - a. Jumlah uap air yang dimasukann atau dikeluarkan?
  - b. Jumlah panas yang ditambahkan atau dikeluarkan?
5. Temperatur udara luar 92F db dan 70F wb, kondisi udara yang diinginkan adalah 78F db dan 50% RH. Carilah :
  - a. Jumlah uap air yang ditambahkan atau dikeluarkan?
  - b. Jumlah panas yang ditambahkan atau dikeluarkan?
6. Temperatur pada permukaan kaca dinding di dalamruangan sebesar 30F db. Udara dalam ruangan adalah 75F db dan 30% RH.
  - a. Apakah pengembunan akan terjadi pada kaca jendela?
  - b. Pada RH berapakah hal di atas dapat dicegah?
  - c. Jika temperatur udara dalam naik menjadi 80F dan permukaan kaca temperaturnya tetap 30F. Apakah efek kandungan uap air relatif itu mempengaruhi pengembunan? Dapatkah dicegah?
7. Di ruangan bawah permukaan tanah suatu rumah didapatkan kondisi dengan temperatur 70F db dan 60F wb. Permukaan dinding ruangan itu adalah 50F db.
  - a. Apakah pengembunan akan terjadi dipermukaan dinding?
  - b. Pada RH berapakah pengembunan itu dapat dicegah?
  - c. Berapa banyak uap air yang harus dikeluarkan humidifier agar dinding itu tetap kering?
  - d. Akankah temperatur kering di atas berpengaruh?
8. Suatu pipa air dingin besar membentang melalui sebuah ruangan dapur/tungku api di mana temperatur keringnya 90F dan kandungan uap air relatifnya 50%.
  - a. Jika temperatur permukaan pipa itu 50F db, akankah pipa itu berkeringat?
  - b. Pada temperatur minimum berapakah hal itu dapat dicegah?
  - c. Cara apakah yang biasa digunakan untuk mencegah hal itu di atas?