

## **BAB 4**

### **UAP JENUH DAN UAP PANAS LANJUT**

#### **4-1. Temperatur Jenuh**

Ketika temperatur benda cair naik sampai pada titik dimana adanya penambahan panas pada benda cair yang menyebabkan sebagian benda cair itu menguap, cairan itu dikatakan menjadi jenuh (saturated). Ketika benda cair disebut sebagai cairan jenuh dan temperatur cairan pada kondisi itu disebut temperatur jenuh (Bagian 2-31 dan 2-32).

#### **4-2. Uap Jenuh**

Uap lanjut dari penguapan cairan disebut uap jenuh sepanjang temperatur dan tekanan uap sama seperti cairan jenuh yang terjadi. Uap jenuh dapat digambarkan juga sebagai uap pada temperatur dimana pendinginan uap lanjut disebabkan oleh sebagian uap mengembun dan dengan cara tersebut struktur molekul cairan kembali lagi. Hal tersebut penting untuk dipahami bahwa temperatur jenuh benda cair (temperatur pada waktu cairan akan menguap jika panas ditambahkan) dan temperatur jenuh uap (temperatur pada saat uap akan mengembun jika panas dibuang) akan memberikan tekanan yang sama dan cairan tidak akan cair lagi pada temperatur di atas temperatur jenuh, sedangkan uap tidak akan tetap uap pada temperatur di bawah temperatur jenuh.\*)

Contoh, dalam Gambar 4-1, air dalam bejana yang dipanaskan akan jenuh dan menguap pada 212 °F sebagai panas laten penguapan yang disuplai oleh pemanas. Uap (steam) meningkat dari air jenuh dan tetap pada temperatur jenuh (212 °F) sampai mencapai kondenser. Uap jenuh memberikan panas pada air yang dingin dalam kondenser, air tersebut mengembun kembali menjadi cairan. Karena pengembunan terjadi pada temperatur konstan, maka air dihasilkan dari pengembunan uap juga pada 212 °F. Panas laten penguapan menyerap penguapan air ke dalam uap air (steam) yang diberikan oleh uap air sebagai uap air pengembunan yang kembali menjadi air.

\*) dibawah kondisi tersebut memungkinkan untuk menjadi “supercool”, sementara pada uap air di bawah temperatur jenuh. Bagaimanapun pada kondisi sangat tidak stabil dan tidak dapat dipertahankan kecuali sementara.

### **4-3. Uap Panas Lanjut**

Uap pada temperatur di atas temperatur jenuh adalah uap panas lanjut (bagian 2-34). Jika setelah penguapan, uap dipanaskan sehingga temperatur naik di atas penguapan cairan, uap dikatakan panas lanjut (superheated). Uap panas lanjut diperlukan untuk memisahkan uap dari penguapan cairan ditunjukkan dalam Gambar 4-2. Sepanjang uap tetap berhubungan dengan cairan, maka akan tetap jenuh. Hal tersebut disebabkan adanya penambahan panas pada campuran uap-cairan yang hanya akan menguap lebih lanjut adalah cairan dan tidak ada *superheating* yang terjadi.

Sebelum uap panas lanjut dapat mengembun, uap harus di *desuperheated*, yaitu uap harus didinginkan sampai temperatur jenuh. Panas dibuang dari uap panas lanjut yang akan menyebabkan temperatur uap menurun sampai temperatur jenuh tercapai. Pada titik ini, pembuangan panas terus-menerus akan menyebabkan bagian dari uap akan mengembun.

### **4-4. Cairan Dingin Lanjut**

Jika setelah kondensasi, cairan didinginkan sehingga temperatur turun di bawah temperatur jenuh, cairan disebut dingin lanjut (subcooled). Kemudian cairan pada temperatur di bawah temperatur jenuh dan di atas titik peleburan adalah cairan dingin lanjut (subcooled).

### **4-5. Pengaruh Tekanan pada Temperatur Jenuh**

Temperatur jenuh cairan atau uap berbeda tekanannya. Meningkatnya tekanan akan menaikkan temperatur jenuh dan penurunan tekanan akan menurunkan temperatur di bawah temperatur jenuh. Contoh : temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer (0 psig atau 14,7 psia) adalah 212 °F. Jika tekanan di atas air meningkat dari 0 psig sampai 5,3 psig (20 psia), temperatur jenuh air meningkat dari 212 °F sampai 228 °F. dilain pihak, jika tekanan di atas air berkurang dari 14,7 psia menjadi 10 psia, maka temperatur jenuh air yang baru akan menjadi 193,2 °F. Gambar 4-3 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan dan temperatur uap jenuh air.

Untuk menggambarkan pengaruh tekanan pada temperatur jenuh cairan, diasumsikan bahwa air disimpan dalam bejana tertutup yang dilengkapi dengan katup penutup pada bagian atas (Gambar 4-4a). Alat ukur kompond digunakan untuk menentukan

tekanan yang terjadi dalam bejana dan dua thermometer dipasang untuk mencatat temperatur air dan temperatur uap di atas air. Dengan katup penutup membuka, tekanan terjadi di atas air yaitu pada tekanan atmosfer (0 psig atau 14,7 psia). Karena temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer 212 °F, maka temperatur air akan meningkat pada waktu air dipanaskan sampai mencapai 212 °F. Pada titik ini, jika dipanaskan lebih lanjut, air akan mulai menguap. Segera ruang di atas air akan terisi oleh milyaran molekul uap air dengan cepat pada kecepatan tinggi. Beberapa uap air akan jatuh lagi ke dalam air menjadi molekul cairan kembali, sedangkan yang lain akan keluar melalui sisi yang terbuka dan dibawa oleh aliran udara. Jika pembukaan bagian atas bejana mempunyai ukuran yang cukup untuk memungkinkan uap bebas keluar, uap akan meninggalkan bejana jumlahnya sama dengan jumlah air yang menguap. Jumlah molekul yang meninggalkan cairan menjadi molekul uap akan sama dengan jumlah molekul uap yang meninggalkan ruangan, ada yang keluar ruangan atau yang kembali menjadi cairan. Kemudian jumlah molekul uap dan berat jenis uap (density) di atas air akan tetap konstan dan tekanan terjadi oleh uap akan sama dengan tekanan luar bejana.

Di bawah kondisi ini, uap air yang lain dari penguapan cairan akan menjadi jenuh, yaitu temperatur dan tekanan akan menjadi sama dengan air 212 °F dan 14,7 psia. Berat jenis uap air pada temperatur dan tekanan tersebut akan menjadi 0,0373 lb/cu ft dan volume spesifik akan menjadi 1/0,0373 atau 26,8 cu ft/lb.

Sejumlah uap diabaikan pada waktu cairan menguap, sepanjang uap tersebut dapat meninggalkan ke udara luar sehingga tekanan dan berat jenis uap di atas cairan tidak berubah, cairan akan menguap lebih lanjut pada 212 °F.

Andaikata katup penutup ditutup sebagian sehingga gas yang keluar dari bejana agak terhalang, kadang-kadang kesetimbangan agak terganggu oleh uap yang tidak keluar dari bejana sesuai dengan jumlah cairan yang menguap. Jumlah molekul uap dalam ruangan di atas cairan akan meningkat, dengan meningkatnya berat jenis dan tekanan uap di atas cairan, maka temperatur jenuh akan meningkat.

Jika diasumsikan bahwa temperatur uap meningkat sampai 5,3 psig (20 psia) sebelum kesetimbangan tercapai, maka jumlah yang menjadi uap yang keluar sama dengan jumlah cairan yang menguap, temperatur jenuh akan 228 °F, berat jenis uap menjadi 0,0498

lb/cu ft dan 1 lb uap akan mencapai volume 20,080 cu ft. Kondisi tersebut diilustrasikan pada Gambar 4-4b.

Dengan membandingkan kondisi uap pada Gambar 4-4b dengan uap dalam Gambar 4-4a, maka akan didapatkan berat jenis uap sangat besar pada tekanan tinggi dan temperatur jenuh. Lebih lanjut, jelaslah bahwa tekanan dan temperatur jenuh cairan atau uap dapat dikontrol oleh pengaturan jumlah uap yang keluar dari atas cairan.

Dalam Gambar 4-4a, jumlah penguapan akan kecil/sedikit atau tidak berpengaruh pada tekanan dan temperatur jenuh karena uap keluar bebas sehingga berat jenis dan tekanan uap di atas cairan akan meningkat atau menurun pada waktu penguapan berubah. Sebaliknya, pada Gambar 4-4b, meningkatnya jumlah penguapan akan menyebabkan peningkatan temperatur jenuh. Alasannya bahwa meningkatnya jumlah penguapan mengharuskan dikeluarkannya uap sangat besar dan memerlukan waktu yang lama. Karena ukuran pipa keluar uap ditentukan oleh pembukaan katup, maka tekanan uap dalam bejana akan meningkat sampai tekanan berbeda antara di dalam dan di luar bejana sehingga cukup untuk uap dapat keluar yang jumlahnya sama dengan jumlah cairan yang menguap. Peningkatan tekanan dihasilkan oleh meningkatnya temperatur jenuh dan berat jenis uap. Sebaliknya, menurunnya jumlah penguapan akan mempunyai pengaruh yang berlawanan. Tekanan dan berat jenis uap di atas cairan akan menurun dan temperatur jenuh akan menjadi rendah.

Sekarang diasumsikan bahwa pembukaan katup pada wadah dibuka secara penuh, seperti pada Gambar 4-4a, sehingga uap dapat keluar bebas dan tanpa halangan dari permukaan cairan. Berat jenis dan tekanan uap akan menurun sampai tekanan uap akan sama dengan udara luar wadah. Karena temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer adalah 212 °F dan karena cairan tidak dapat tetap menjadi cairan pada temperatur di atas temperatur jenuh sama seperti tekanan. Jelaslah bahwa air harus didinginkan dari 228 °F sampai 212 °F dengan segera sehingga tekanan turun dari 20 psia menjadi tekanan atmosfer. Pendinginan dilanjutkan pada bagian cairan yang cepat menjadi uap. Panas laten dibutuhkan untuk menguapkan bagian cairan yang cepat menjadi uap yang disuplai oleh massa cairan dan hasil penguapan panas yang disuplai pada temperatur massa cairan akan berkurang dan menjadi temperatur jenuh baru. Cairan yang telah cukup akan menguap dapat menentukan jumlah pendinginan yang dibutuhkan.

**4-6. Penguapan**

**4-7. Evaporasi**

**4-8. Jumlah Penguapan**

**4-9. Pengaruh Pendinginan pada Penguapan**

**4-10. Terjadinya Campuran Cairan-Uap**

**4-11. Sublimasi**

**4.12. Kondensasi**

**4-13. Kondensasi oleh Pengurangan Panas dari Uap Jenuh**

**4-14. Kondensasi oleh Peningkatan Tekanan pada Temperatur Konstan**

**4-15. Temperatur Kritis**

**4-16. Tekanan Kritis**

**4-17. Bentuk Penting Gas dan Uap**

**4-18. Enthalpi**

**4-19. Entropi**

**4-20. Tabel Uap**

**4-21. Tabel Uap Jenuh**

**4-22. Tabel Uap Panas Lanjut**

**Contoh 4-1.**