

TERMODINAMIKA TEKNIK (TFH2F3)



Disusun oleh :
Mukhammad Ramdhan Kirom, MSi

**Prodi S1 Teknik Fisika
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom**

Bab IIIa : EVALUASI SIFAT

Tujuan Instruksional Khusus

Mahasiswa dapat :

1. Memahami grafik $p(T,v)$ untuk zat murni kompresibel di mana terdapat daerah fase padat, cair, dan uap.
2. Memahami diagram fase dari zat sebagai proyeksi dari kurva $p-v-T$
3. Menggunakan tabel sifat dari beberapa zat untuk menentukan kondisi zat

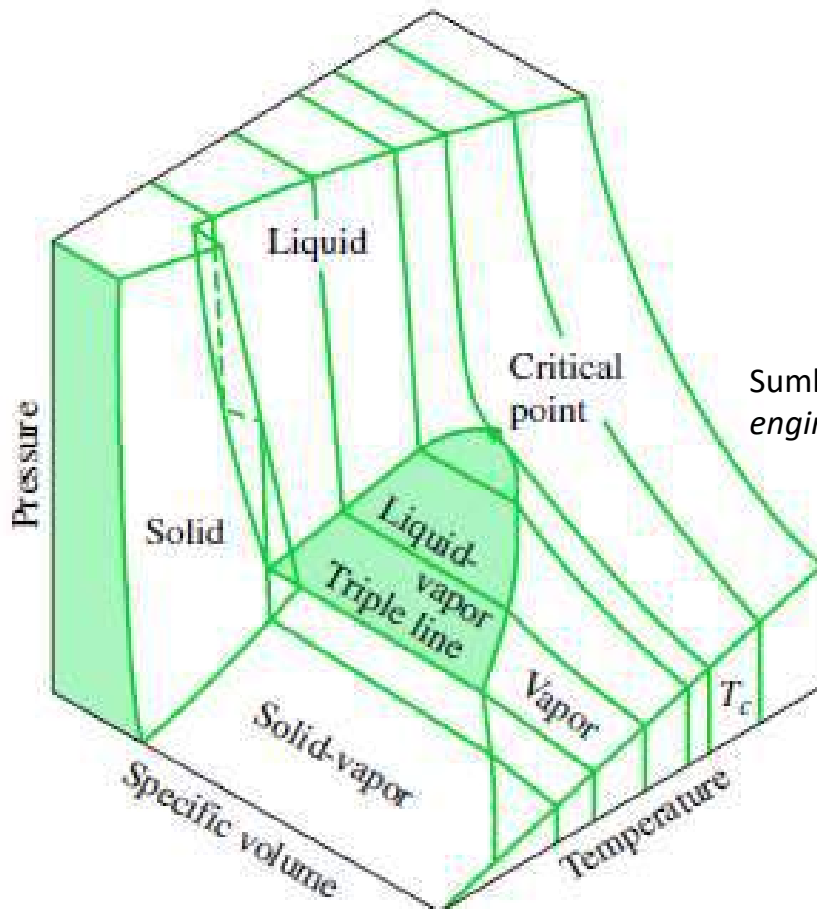
Bab IIIa : EVALUASI SIFAT

Sub Pokok Bahasan :

1. Diagram Fase
2. Tabel Sifat

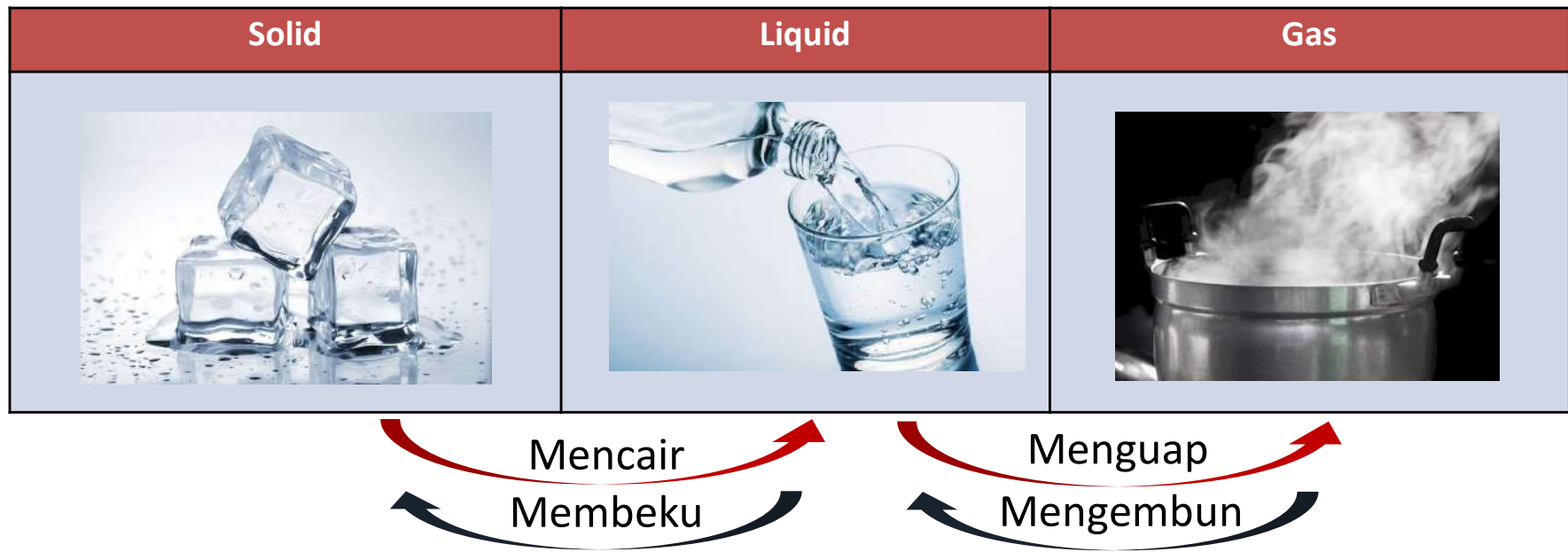
1. Diagram Fase

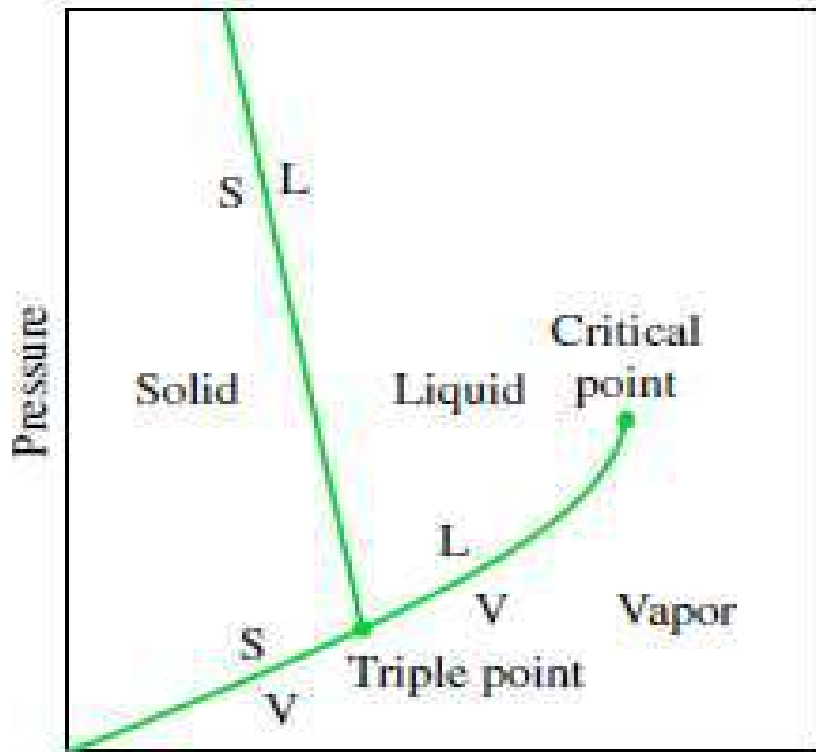
Tekanan p dapat dinyatakan sebagai fungsi dari volume spesifik v dan temperatur T . Demikian juga besaran lain seperti energi dalam spesifik, entropi, dan lain-lain. Di bawah ini ilustrasi permukaan $p - v - T$ untuk air.



Sumber gambar : "Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics* , 5th ed. ,2006, Wiley, hal 71

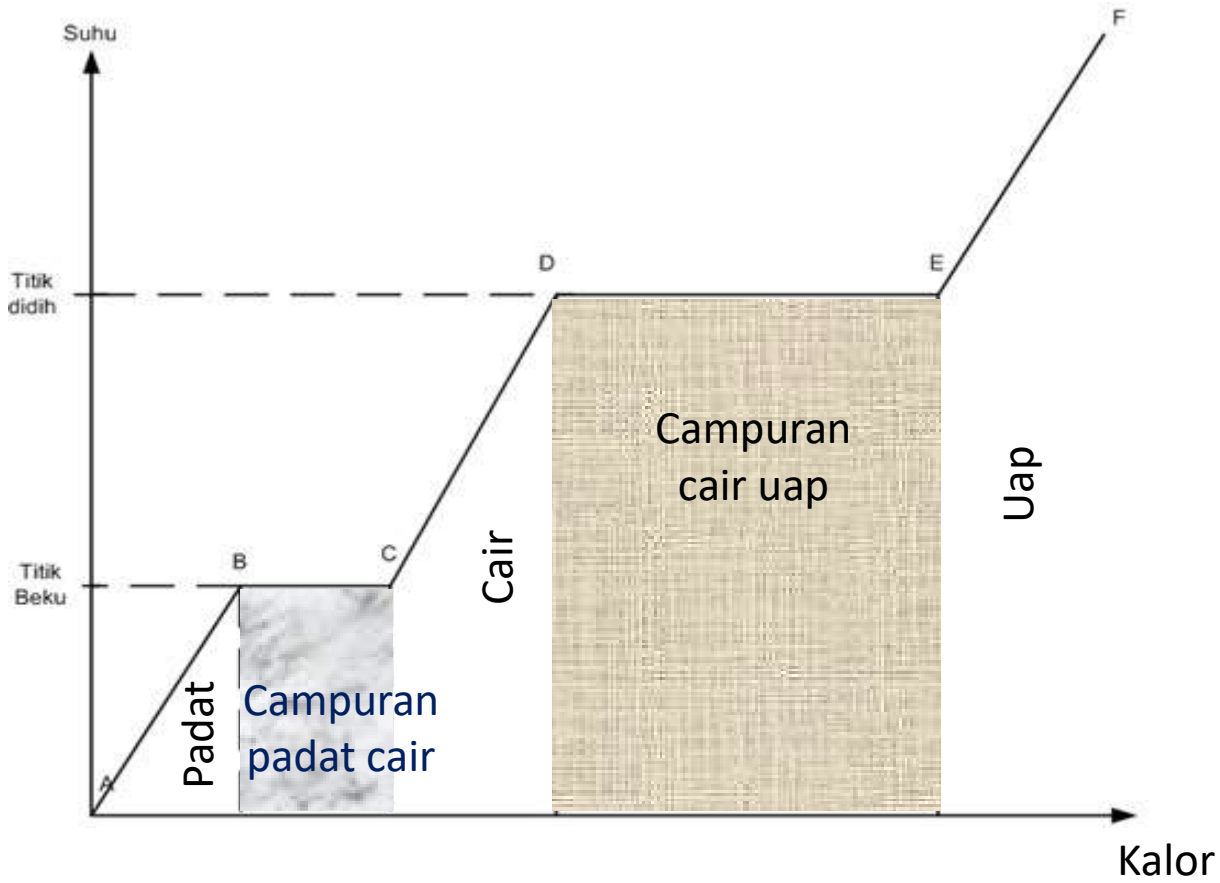
Perubahan Fase





"Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley, hal 71

- Daerah fase tunggal ditentukan oleh setiap pasangan sifat : tekanan, volume spesifik, dan temperatur.
- Daerah dua fase di mana terdapat dua fase dalam kesetimbangan. Dalam kondisi ini keadaan dapat ditentukan oleh pasangan volume spesifik dengan tekanan atau temperatur.
- Tiga buah fase dapat muncul bersamaan di sepanjang garis yang disebut garis tripel.



Campuran padat
cair

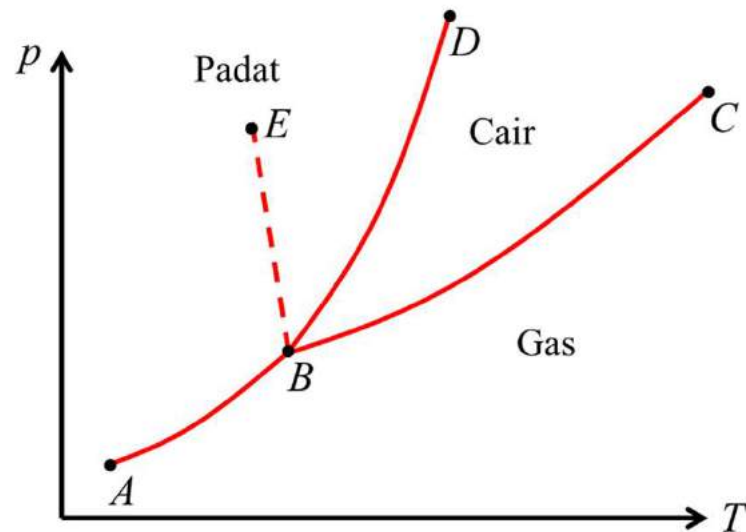


Campuran cair uap

Diagram fase, diagram p-v, dan diagram T-v

Jika permukaan p-v-T diproyeksikan pada p-T maka menghasilkan suatu diagram sifat yang disebut diagram fase.

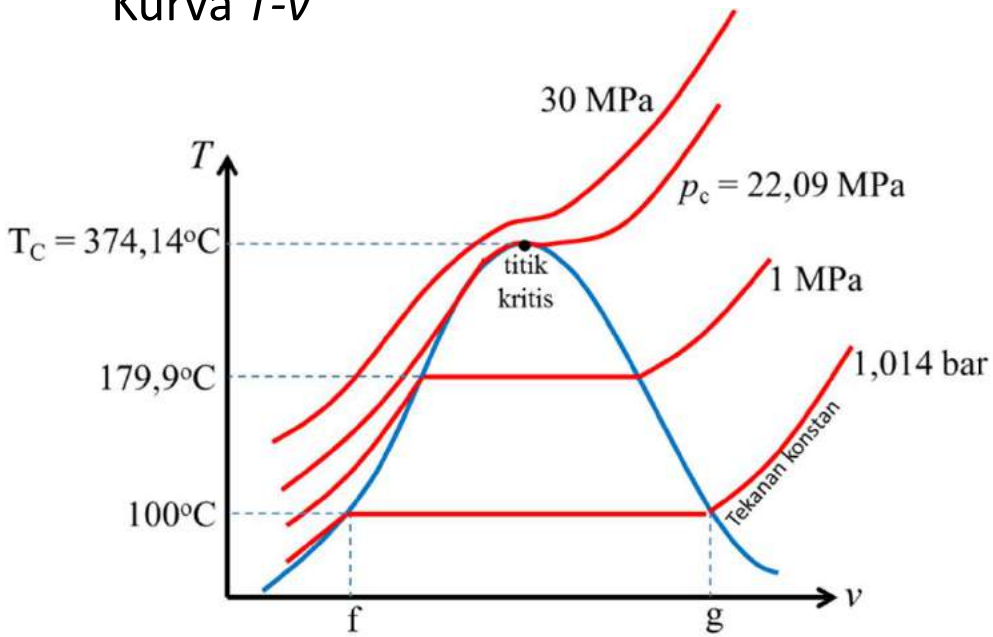
Sedangkan diagram p-v dan T-v biasanya digunakan untuk memudahkan memahami sistem terutama untuk kondisi isotermik pada diagram p-v dan kondisi isobarik pada diagram T-v.



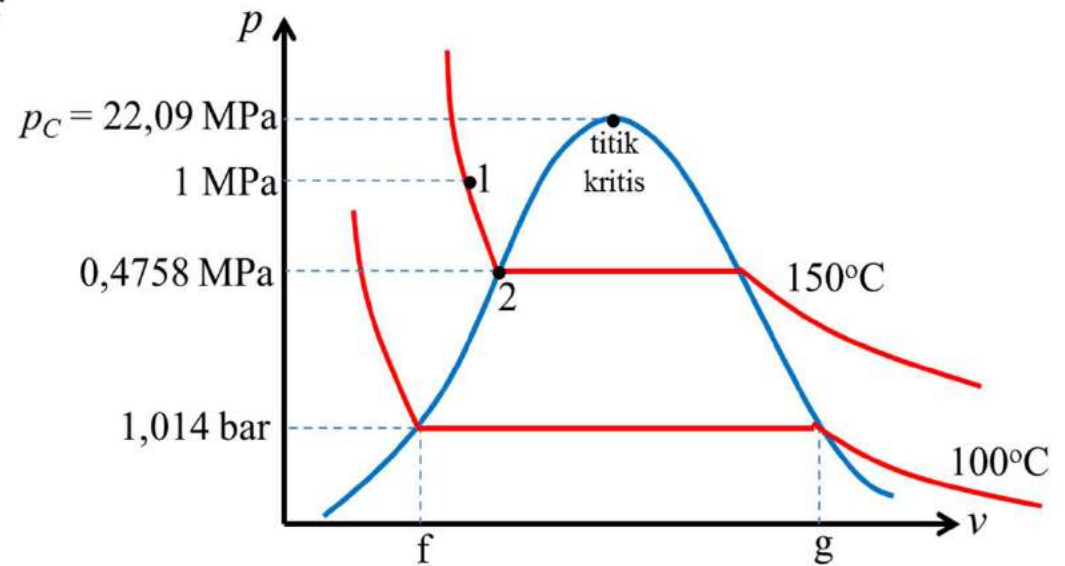
Sumber gambar : "M. R. Kirom, T. A. Ajiwiguna, A. R. I. Utami, Termodinamika Teknik, Cetakan Pertama, Syiah Kuala University Press, 2021 hal 35

Perubahan Fase

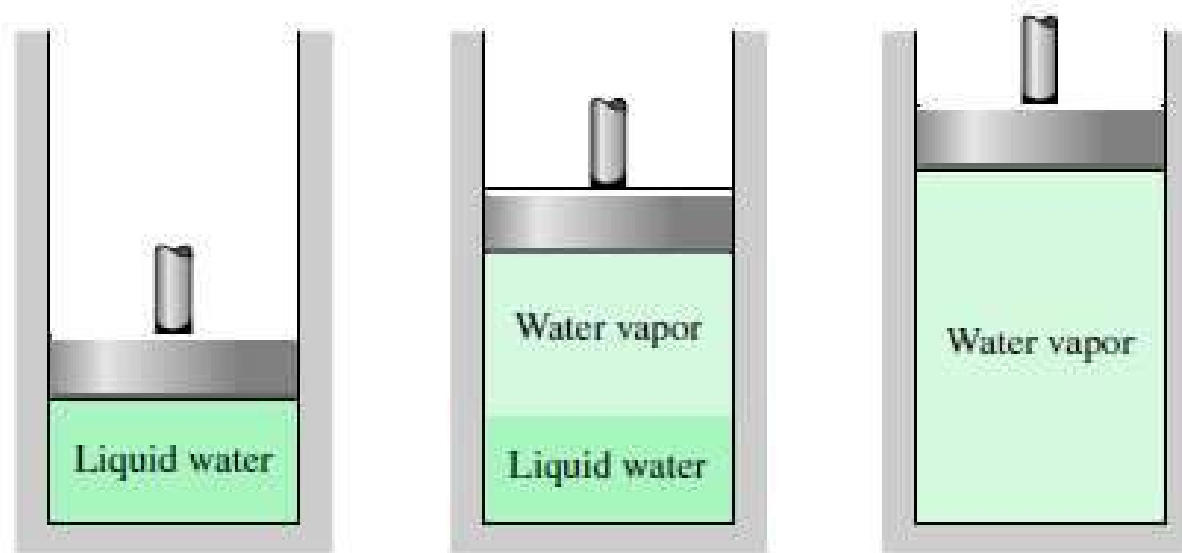
Kurva $T-v$



Kurva $P-v$



Sumber gambar : "M. R. Kirom, T. A. Ajiwiguna, A. R. I. Utami, Termodinamika Teknik, Cetakan Pertama, Syiah Kuala University Press, 2021 hal 37 & 39



Sumber gambar : "Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed. ,2006, Wiley, hal 74

Jika sistem terus dipanaskan sampai semua menguap, maka tercapai titik g pada diagram T - v slide sebelumnya, yaitu keadaan uap jenuh. Campuran dua fase cair-uap dapat dinyatakan sebagai sifat intensif yang dikenal sebagai kualitas x .

$$x = \frac{m_{uap}}{m_{cair} + m_{uap}}$$

2. Tabel Sifat

Tabel sifat uap jenuh memberikan nilai sifat untuk keadaan cair jenuh dan uap jenuh, yang ditandai oleh subskrip f dan g . Volume spesifik campuran dapat ditentukan oleh tabel jenuh dan defenisi kualitas x .

$$V = V_{cair} + V_{uap}$$

$$V_{cair} = m_{cair} v_f$$

$$V_{uap} = m_{uap} v_g$$

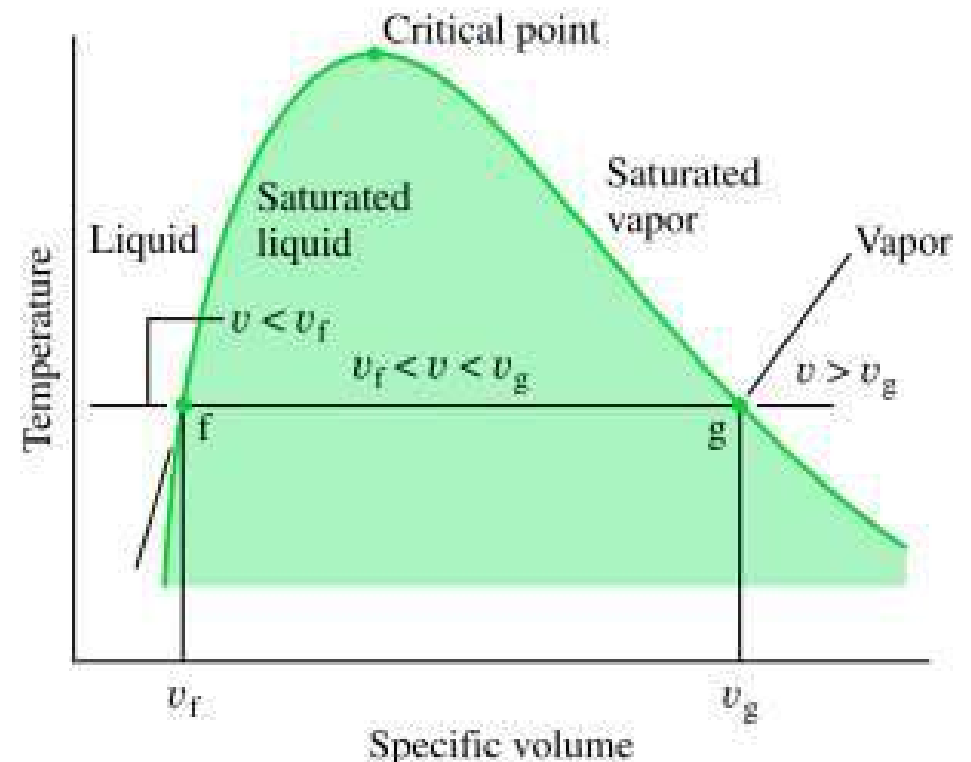
$$v = \frac{V_{cair}}{m} + \frac{V_{uap}}{m} = \frac{m_{cair}}{m} v_f + \frac{m_{uap}}{m} v_g$$

dengan m massa total

$$v = \left(1 - \frac{m_{uap}}{m} \right) v_f + \frac{m_{uap}}{m} v_g$$

$$v = (1 - x) v_f + x v_g$$

$$v = v_f + x (v_g - v_f)$$



Sumber gambar : "Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics* , 5th ed. ,2006, Wiley, hal 79

Tabel Sifat untuk Air

TABLE A-2 Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg		
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1

“Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

- Tabel untuk sifat pada keadaan campuran.
- Sifat keadaan yang dapat ditentukan, volume spesifik, energi dalam spesifik, entalpi spesifik, dan entropi spesifik

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g
100	1.014	1.0435	1.673
110	1.433	1.0516	1.210
120	1.985	1.0603	0.8919
130	2.701	1.0697	0.6685
140	3.613	1.0797	0.5089

"Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed.
,2006, Wiley

Tabel temperatur fase campuran :

- ❑ Saat 100 °C tekanan 1,014 bar
- ❑ Saat 110 °C tekanan 1,433 bar

Volume spesifik cair jenuh :

- ❑ Saat 100 °C → $1,0435 \cdot 10^{-3}$ m³/kg
- ❑ Saat 110 °C → $1,0516 \cdot 10^{-3}$ m³/kg

Volume spesifik uap jenuh :

- ❑ Saat 100 °C → 1,673 m³/kg
- ❑ Saat 110 °C → 1,21 m³/kg

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g
0.80	93.50	1.0380	2.087
0.90	96.71	1.0410	1.869
1.00	99.63	1.0432	1.694
1.50	111.4	1.0528	1.159
2.00	120.2	1.0605	0.8857

"Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

Tabel tekanan fase campuran :

- ❑ Saat 1 bar temperatur 99,63 °C
- ❑ Saat 1,5 bar temperatur 111,4 °C

Volume spesifik cair jenuh v_f :

- ❑ Saat 1 bar → $1,0432 \cdot 10^{-3}$ m³/kg
- ❑ Saat 1,5 bar → $1,0528 \cdot 10^{-3}$ m³/kg

Volume spesifik uap jenuh v_g :

- ❑ Saat 1 bar → 1,673 m³/kg
- ❑ Saat 1,5 bar → 1,159 m³/kg

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
-----------	---------------------------	--------------	--------------	------------------

$$p = 0.06 \text{ bar} = 0.006 \text{ MPa}$$

$$(T_{\text{sat}} = 36.16^\circ\text{C})$$

Sat.	23.739	2425.0	2567.4	8.3304
80	27.132	2487.3	2650.1	8.5804
120	30.219	2544.7	2726.0	8.7840
160	33.302	2602.7	2802.5	8.9693
200	36.383	2661.4	2879.7	9.1398
240	39.462	2721.0	2957.8	9.2982

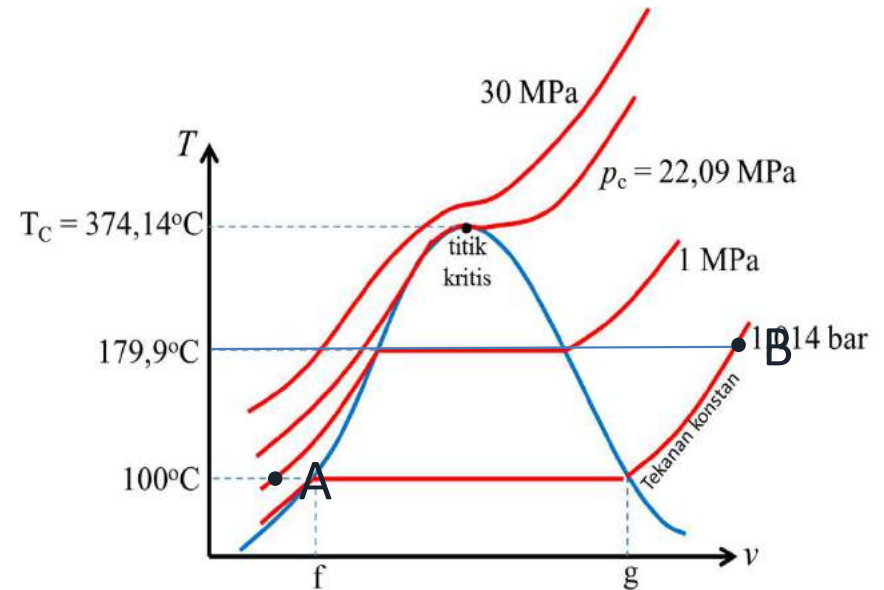
"Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

Tabel untuk fase uap air menyatakan tabel parameter uap air untuk berbagai nilai tekanan dan temperatur

Menentukan fase zat dari data T dan p

Temp. C	Press. bar	Specific Volume m^3/kg	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g
100	1.014	1.0435	1.673
110	1.433	1.0516	1.210
120	1.985	1.0605	0.8919
130	2.701	1.0697	0.6685
140	3.613	1.0797	0.5089

*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley



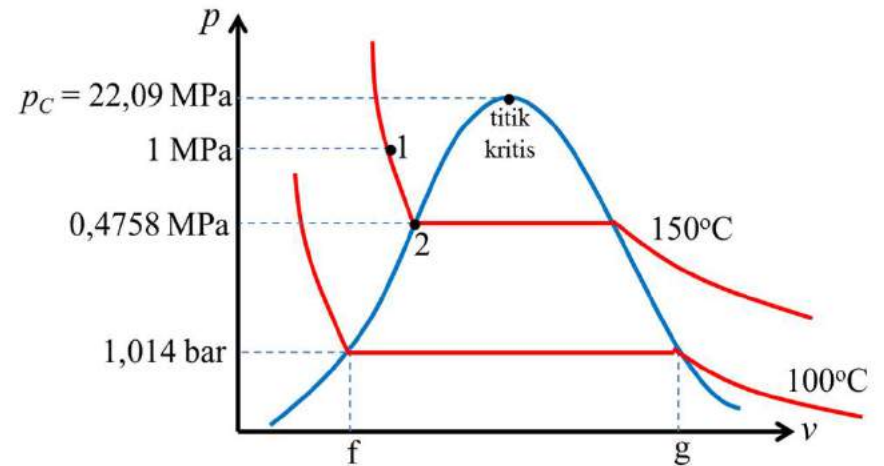
Contoh :

- $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1\text{ MPa}$ → padat (titik A)
- $T = 179,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1\text{ MPa}$ → campuran
- $T = 179,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1,014\text{ bar}$ → uap (titik B)

Menentukan fase zat dari data p dan T

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g
0.80	92.50	1.0380	2.087
0.90	96.71	1.0410	1.869
1.00	99.63	1.0432	1.694
1.50	111.4	1.0528	1.150
2.00	120.2	1.0605	0.8857

*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley



Contoh :

- T = 150 °C, P = 1 MPa → padat (titik 1)
- T = 150 °C, P = 0,4758 MPa → campuran
- T = 150 °C, P = 1,014 bar → uap

Menentukan fase zat dari data T dan v

Temp. C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g
100	1.014	1.0435	1.673
110	1.433	1.0516	1.210
120	1.985	1.0603	0.8919
130	2.701	1.0697	0.6685
140	3.613	1.0797	0.5089

"Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

Contoh :

- $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v = 1\text{ m}^3/\text{kg}$. Dari tabel pada $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_f < v < v_g$ dengan demikian fase campuran
- $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v = 1\text{ m}^3/\text{kg}$. Dari tabel, $v > v_g$, fase uap

Menentukan volume spesifik fase uap dari tabel

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$p = 0.06 \text{ bar} = 0.006 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 36.16^\circ\text{C}$)				
Sat.	23.739	2425.0	2567.4	8.3304
80	27.132	2487.3	2650.1	8.5804
120	30.219	2544.7	2726.0	8.7840
160	33.302	2602.7	2802.5	8.9693
200	36.383	2661.4	2879.7	9.1398
240	39.462	2721.0	2957.8	9.2982

*Moran J., Shapiro N.M., *Fundamentals of engineering thermodynamics*, 5th ed., 2006, Wiley

Dari data uap super panas jika diketahui p dan T dapat ditentukan nilai volume spesifiknya

Misal menentukan volume spesifik untuk $P = 0,06 \text{ bar}$ dan $T = 120^\circ\text{C}$, diperoleh $v = 30,219 \text{ m}^3/\text{kg}$

Evaluasi Energi Dalam

Pendekatannya sama seperti menentukan volume spesifik

$$u = u_f + x(u_g - u_f)$$