

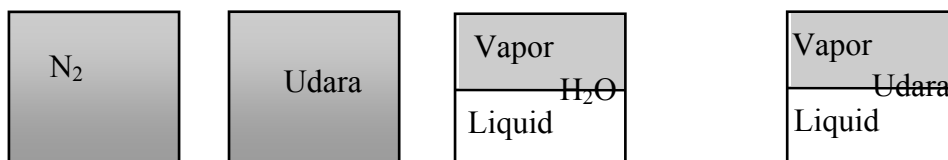
BAB II

SIFAT-SIFAT ZAT MURNI

ZAT MURNI (PURE SUBSTANCE)

Merupakan zat yang mempunyai komposisi kimia yang tetap (stabil), misalnya : air (water) , nitrogen, helium, dan CO₂.

Zat murni bisa terdiri dari satu elemen kimia (N₂) maupun campuran (udara). Campuran dari beberapa fase zat murni adalah zat murni, contohnya campuran air dan uap air. Tetapi campuran dari udara cair dan gas bukan zat murni karena susunan kimianya berubah atau berbeda.



Zat murni

Bukan zat murni

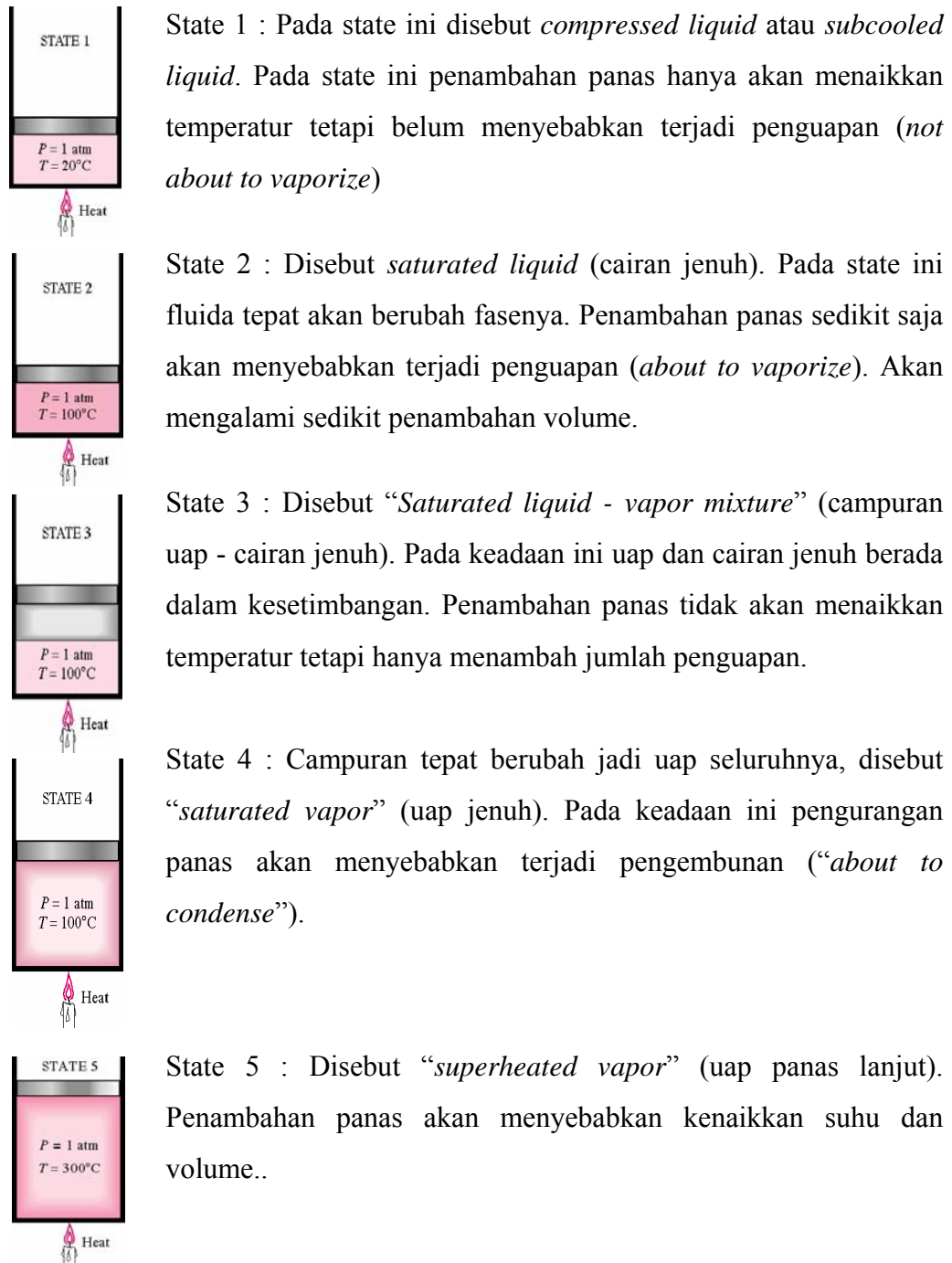
FASE dari ZAT MURNI

Diidentifikasi berdasarkan susunan molekulnya.

- Solid (padat) : jarak antar molekul sangat dekat sehingga gaya tarik antar molekul sangat kuat, maka bentuknya tetap. Gaya tarik antara molekul-molekul cenderung untuk mempertahankannya pada jarak yang relatif konstan. Pada temperatur tinggi molekul melawan gaya antar molekul dan terpecah.
- Liquid (cair) : Susunan molekul mirip dengan zat padat , tetapi terhadap yang lain sudah tidak tetap lagi. Sekumpulan molekul akan mengambang satu sama lain.
- Gas : Jarak antar molekul berjauhan dan susunannya acak. Molekul bergerak secara acak.

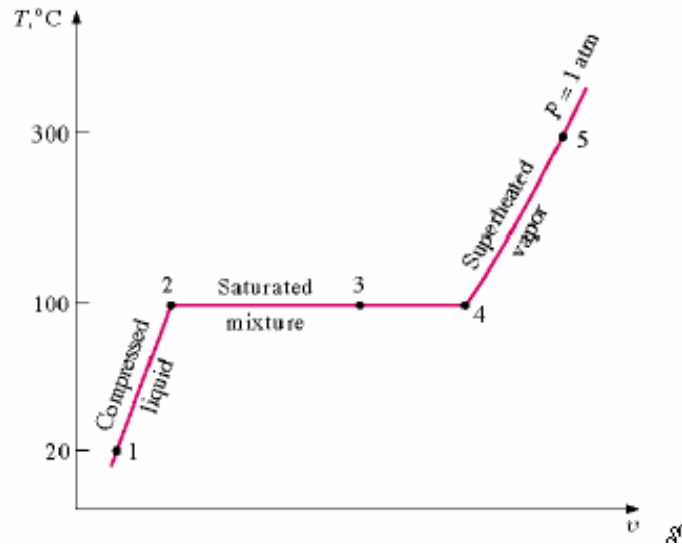
PERUBAHAN FASA dari ZAT MURNI

Semua zat murni mempunyai mempunyai kelakuan umum yang sama. Sebagai contoh air (*water*).



Gambar 2.1 Pemanasan Air pada tekanan konstan

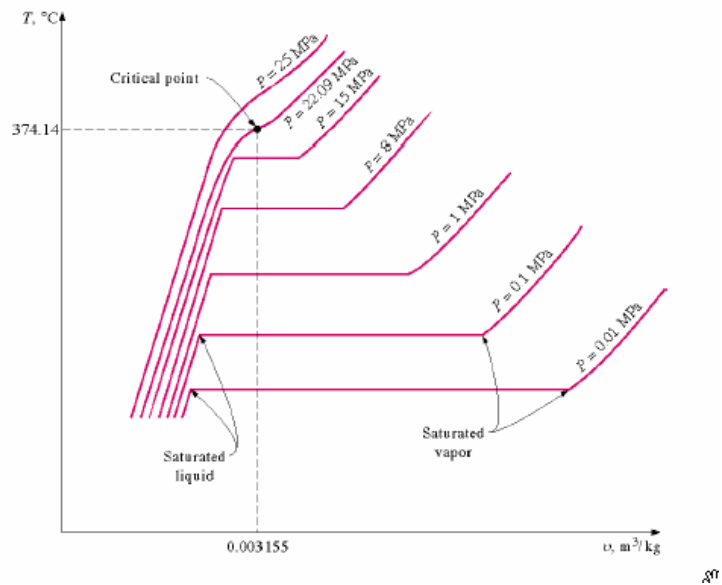
Proses-proses tersebut di atas dapat digambarkan dalam diagram T - v. Diagram ini menggambarkan perubahan-perubahan temperatur dan volume jenis.



Gambar 2.2 Diagram T-v proses perubahan fase air pada tekanan konstan
 Proses 1-2-3-4-5 adalah pemanasan pada tekanan konstan
 Proses 5-4-3-2-1 adalah pendinginan pada tekanan konstan

PROPERTY DIAGRAM (DIAGRAM SIFAT)

Diagram T - v



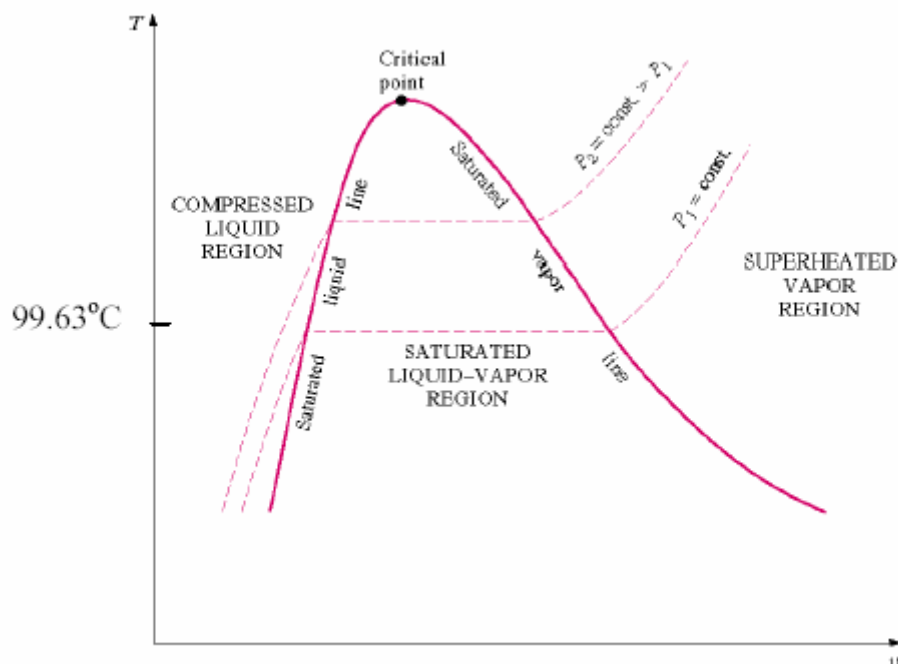
Gambar 2.3 Diagram T- v perubahan fase zat murni (air) pada berbagai variasi tekanan

Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi tekanan air maka semakin tinggi pula titik didihnya. T_{sat} merupakan fungsi dari P_{sat} , ($T_{\text{sat}} = f P_{\text{sat}}$)

T_{sat} = Saturation temperature , temperatur saat zat murni berubah phase pada tekanan tertentu.

P_{sat} = Saturation pressure , tekanan saat zat murni berubah phase pada temperatur tertentu.

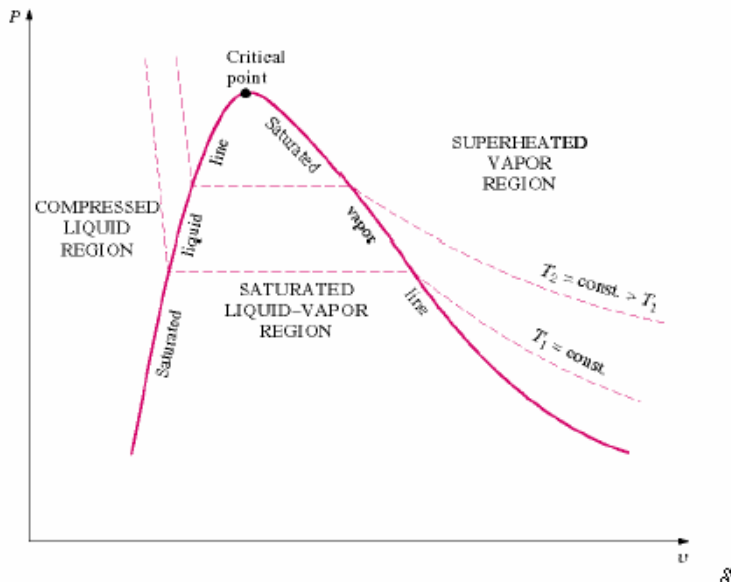
Garis yang menghubungkan keadaan cair jenuh dan uap jenuh akan semakin pendek jika tekanannya makin besar. Pada tekanan tertentu (22,09 MPa) keadaan cair jenuh dan uap jenuh berada pada satu titik. Titik ini disebut titik kritis (*critical point*). Untuk air (*water*) : $T_{\text{cr}} = 374,14^{\circ}\text{C}$; $P_{\text{cr}} = 22,09 \text{ MPa}$. ; $v_{\text{cr}} = 0,003155 \text{ m}^3/\text{kg}$. Jika titik-titik pada keadaan cair jenuh dihubungkan maka diperoleh garis cair jenuh. Jika titik-titik pada keadaan uap jenuh dihubungkan maka diperoleh garis uap jenuh. Kedua garis ini bertemu di titik kritis.



.00

Gambar 2.4 Diagram T- v zat murni

Di atas titik tekanan kritis proses perubahan dari cair menjadi uap tidak lagi terlihat jelas/nyata. Terjadi perubahan secara spontan dari cair menjadi uap.

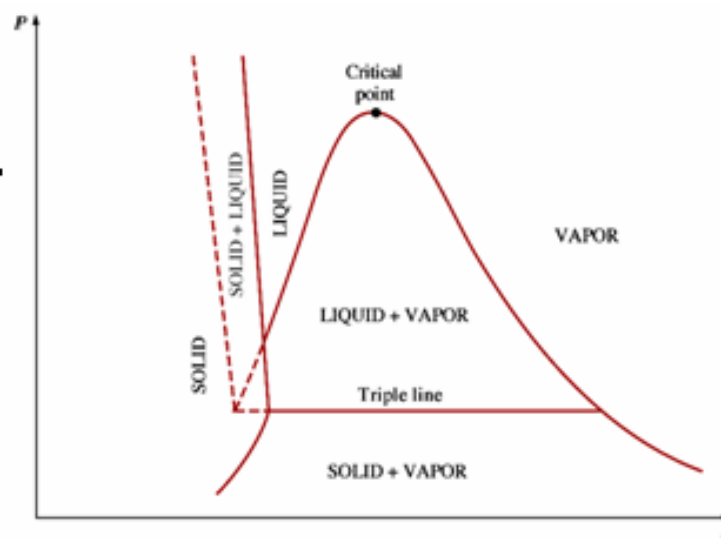
Diagram P - v

Gambar 2.5 Diagram P- v zat murni

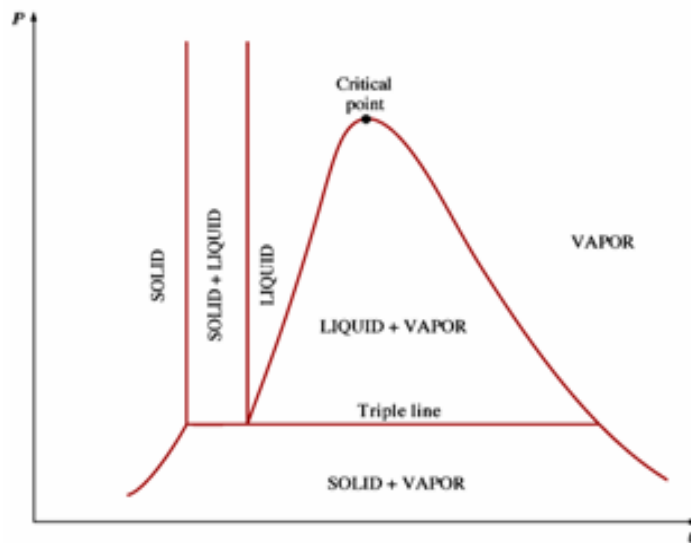
Bentuk dari diagram P-v mirip dengan diagram T- v. Pada diagram P-v garis temperatur konstan mempunyai trend menurun sedangkan pada diagram T-v garis tekanan konstan mempunyai trend menaik.

Diagram P - v dan P-T fase padat, cair dan gas**Mengecil sewaktu membeku**

Kebanyakan zat murni akan menyusut saat membeku.

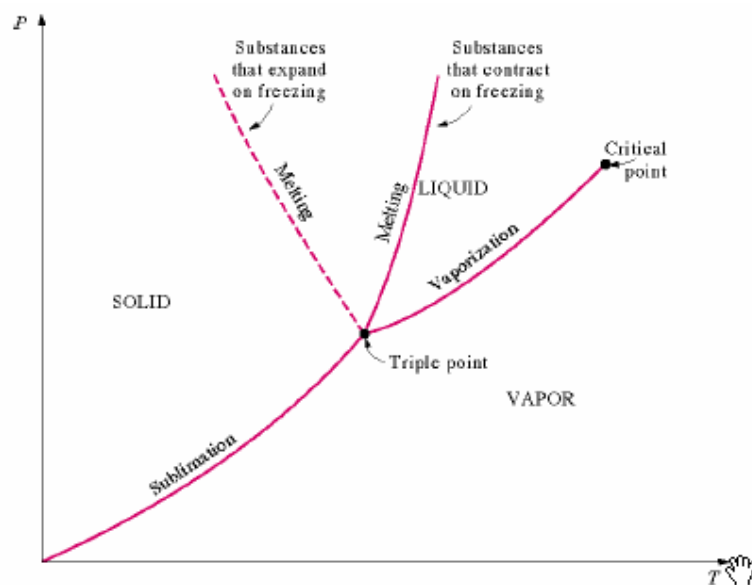


Gambar 2.6 Diagram P- v zat murni yang menyusut saat membeku

Mengembang sewaktu membeku

Gambar 2.7 Diagram P- v zat murni yang mengembang saat membeku (contohnya adalah air)

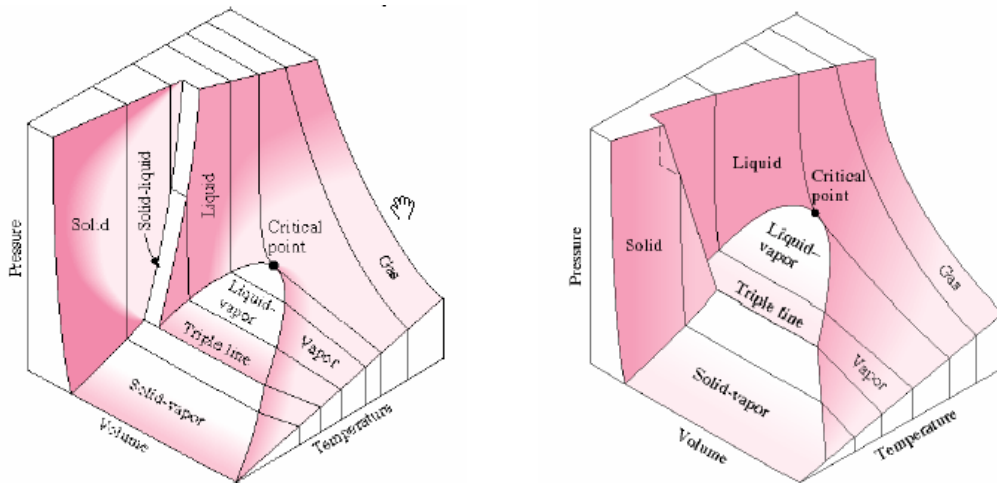
Pada kondisi tertentu fase padat, cair dan gas berada dalam kesetimbangan. Pada diagram P-v dan T-v keadaan ini akan membentuk suatu garis yang disebut *Triple line*. Dalam diagram P-T keadaan ini nampak sebagai suatu titik dan disebut *Triple point*. *Triple point* air adalah $T_{TR} = 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ dan $P_{TR} = 0,06113 \text{ kPa}$.



Gambar 2.8 Diagram P- T zat murni (diagram fase)

Diagram P-T sering disebut sebagai diagram fase karena dalam diagram P-T, antar tiga fase dipisahkan secara jelas, masing-masing dengan sebuah garis. Ketiga garis bertemu di *triple point*. Garis penguapan (*vaporisation*) berakhir di titik kritis karena tidak ada batas yang jelas antara fase cair dan fase uap. Tidak ada zat yang berada pada fase cair jika tekanannya berada di bawah tekanan *Triple point*. Ada dua cara zat padat berubah menjadi uap Pertama melalui proses mencair kemudian menguap dan kedua fase padat berubah langsung menjadi fase gas (disebut menyublim). Menyublim hanya dapat terjadi pada tekanan di bawah tekanan *Triple point*.

Diagram P - v - T



a. Menyusut saat membeku

b. Mengembang saat membeku

Gambar 2.8 Diagram P- T zat murni (diagram fase)

PROPERTY TABEL (TABEL SIFAT-SIFAT THERMODINAMIKA)

Sebagai contoh akan dibahas tabel air (water), untuk zat yang lain analog.

Tabel jenuh air (saturated water table) :

Pada proses perubahan fase temperatur dan tekanan merupakan variabel yang saling tergantung (*dependent variable*). Oleh karena itu disusun dua tabel yaitu tabel dengan temperatur sebagai variabel bebas dan tabel dengan tekanan sebagai variabel bebas.

Tabel Temperatur

TABLE A-4

Saturated water—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg · K)		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
Sat. press., MPa												
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	418.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958

⌘

Tabel Tekanan

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table

Press., P kPa	Sat. temp., T _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg · K)		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.6113	0.01	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	0.1069	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	0.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	0.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	0.001022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001030	3.240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001037	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564
Press., MPa												
0.100	99.63	0.001043	1.6940	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3028	6.0568	7.3594
0.125	105.99	0.001048	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241.0	2685.4	1.3740	5.9104	7.2844
0.150	111.37	0.001053	1.1593	468.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
0.175	116.06	0.001057	1.0036	486.80	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
0.200	120.23	0.001061	0.8857	504.49	2025.0	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	5.5970	7.1271
0.225	124.00	0.001064	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
0.250	127.44	0.001067	0.7187	535.10	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0527

Sat. Temp. press °C kPa T P_{sat}		Specific volume m^3/kg	
		Sat. liquid v_f	Sat. vapor v_g
85	57.83	0.001 033	2.828
90	70.14	0.001 036	2.361
95	84.55	0.001 040	1.982

indeks f = fluid : cairan jenuh (v_f, u_f, h_f, s_f)

g = gas : uap jenuh (v_g, u_g, h_g, s_g)

fg = fluid - gas : selisih antara harga uap jenuh dan cairan jenuh

$$(v_{fg} = v_g - v_f ; u_{fg} = u_g - u_f ; h_{fg} = h_g - h_f ; s_{fg} = s_g - s_f)$$

h_{fg} = entalpi penguapan (latent heat of vaporisation) yaitu jumlah energi yang diperlukan untuk menguapkan satu satuan massa cairan pada suatu temperatur dan tekanan tertentu. Jika tekanan dan temperatur bertambah maka h_{fg} akan berkurang, dan pada titik kritik harganya nol ($h_{fg} = 0$). Enthalpy merupakan gabungan antara energi dalam, tekanan dan volume.

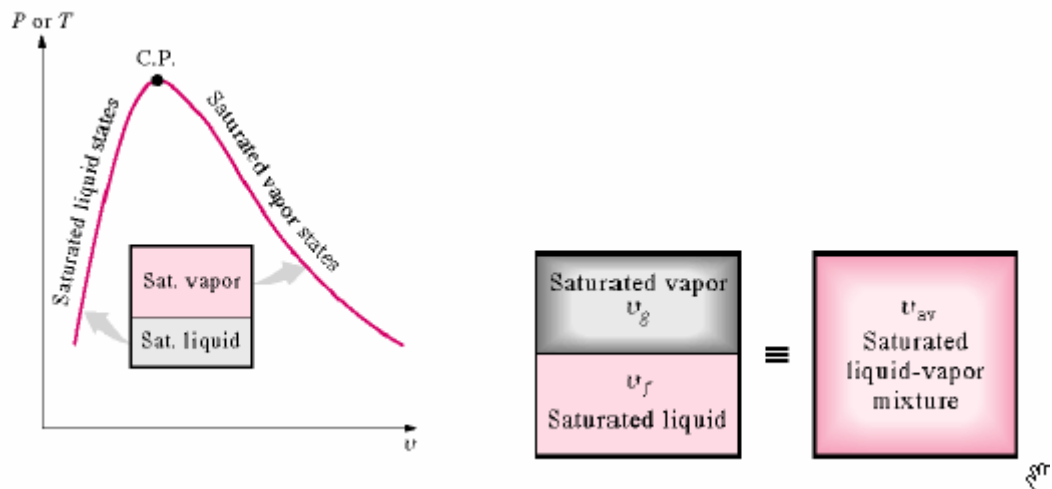
$$H = U + P V \text{ atau } h = u + P v$$

Campuran uap dan cairan jenuh (saturated liquid vapor mixture)

Pada proses penguapan zat cair dan uap berada pada kesetimbangan atau zat berada pada fase cair dan fase uap secara bersama-sama. Untuk melakukan analisa pada fase ini dimunculkan suatu besaran yang disebut kualitas uap (fraksi uap).

$$X = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

X = kualitas uap (*quality*)



Gambar 2.9 Campuran cair jenuh dan uap

$$m_{\text{total}} = m_{\text{liq}} + m_{\text{vapor}} = m_f + m_g$$

$$m = \text{massa} \quad ; \quad \text{liq} = \text{cair} \quad ; \quad \text{vapor} = \text{uap}$$

$$V = V_f + V_g$$

$$V = m v_{\text{av}} \quad ; \quad V_f = m_f \cdot v_f \quad ; \quad V_g = m_g \cdot v_g$$

$$m v_{\text{av}} = m_f \cdot v_f + m_g \cdot v_g$$

$$v_{\text{av}} = \frac{m_f \cdot v_f}{m} + \frac{m_g \cdot v_g}{m}$$

$$\frac{m_f}{m} = \frac{m - m_g}{m}$$

$$= 1 - \frac{m_g}{m}$$

$$= 1 - X$$

$$v_{\text{av}} = (1 - X) v_f + X v_g$$

$$= v_f + X (v_g - v_f)$$

$$= v_f + X v_{fg}$$

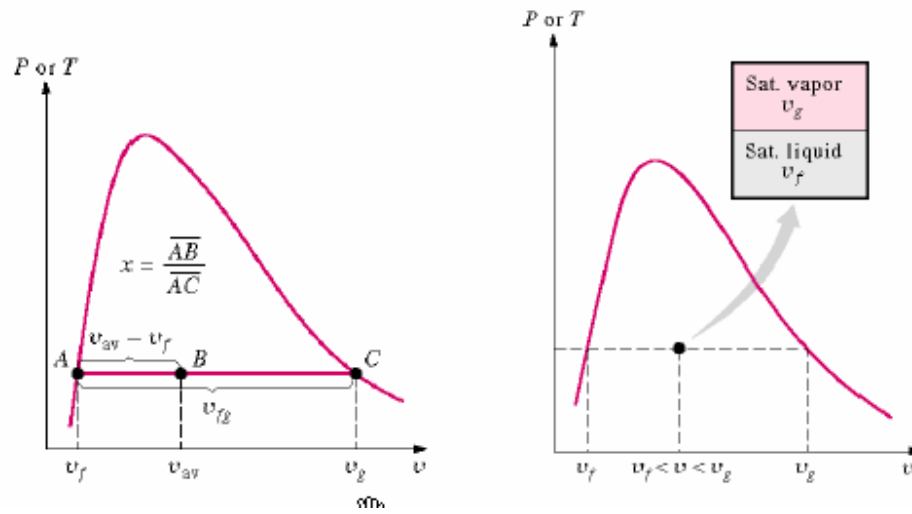
Sifat-sifat termodinamika suatu campuran cair jenuh dan uap dengan kualitas X :

$$u = u_{\text{av}} = u_f + X u_{fg}$$

$$h = h_{\text{av}} = h_f + X h_{fg}$$

$$s = s_{\text{av}} = s_f + X s_{fg}$$

secara umum $y = y_f + X y_{fg}$



Gambar 2.10 Kualitas (fraksi) uap

Fraksi uap dapat dinyatakan

$$X = \frac{y - y_f}{y_{fg}}$$

Superheated vapor (uap panas lanjut)

Daerah di sebelah kanan garis uap jenuh.

TABLE A-6

Superheated water

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)
P = 0.01 MPa (45.81°C)*												
Sat. f	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.5939	1.6940	2506.1	2675.5	7.3594
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.9364	2582.8	2776.4	7.6134
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2966.5	3278.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.4	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4159.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5652
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0987	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0383	11.751	4052.9	4640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.337	4257.3	4891.0	10.1659
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.260	4683.5	5409.5	10.5183
P = 0.05 MPa (81.33°C)												
P = 0.10 MPa (99.63°C)												

Compressed liquid

Daerah di sebelah kiri garis cair jenuh.

TABLE A-6

Superheated water

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)
P = 0.01 MPa (45.81°C)*				P = 0.05 MPa (81.33°C)				P = 0.10 MPa (99.63°C)				
Sat.f	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.5939	1.6940	2506.1	2675.5	7.3594
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.9364	2582.8	2776.4	7.6134
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3279.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.4	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8952	4.952	3663.5	4158.6	9.5852
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0987	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.2984	5.875	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.337	4257.3	4891.0	10.1659
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.260	4683.5	5409.5	10.5183

Apabila tabel Compressed liquid tidak dijumpai maka nilai properti didekati sebagai properti pada keadaan cair jenuh berdasarkan temperatur $y \approx y_f@T$

Atau untuk entalpi didekati dengan $h \cong h_{f@T} + v_f(P - P_{sat})$

Tabel Karakteristik tiap fase

Given	Compressed liquid	Saturated liquid	Liquid - vapor mixture	Saturated vapor	superheated vapor
T	$P > P_{sat}$	$P = P_{sat}$	$P = P_{sat}$	$P = P_{sat}$	$P < P_{sat}$
P	$T < T_{sat}$	$T = T_{sat}$	$T = T_{sat}$	$T = T_{sat}$	$T > T_{sat}$
P, T	$v < v_f$	$v = v_f$	$v_f < v < v_g$	$v = v_g$	$v > v_g$
P, T	$u < u_f$	$u = u_f$	$u_f < u < u_g$	$u = u_g$	$u > u_g$
P, T	$h < h_f$	$h = h_f$	$h_f < h < h_g$	$h = h_g$	$h > h_g$
P, T	$s < s_f$	$s = s_f$	$s_f < s < s_g$	$s = s_g$	$s > s_g$

Cara Menggunakan Tabel

Untuk membaca nilai properti gunakan tabel sesuai fasenya. Fase suatu zat ditentukan dengan cara membandingkan properti yang diketahui dengan properti pada keadaan jenuh (lihat karakteristik tiap fase).

PERSAMAAN GAS IDEAL

Persamaan keadaan (equation of state) : persamaan yang menghubungkan tekanan, temperatur dan volume jenis suatu zat.

- fase uap suatu zat disebut gas jika berada di atas temperatur kritis.
- vapor (uap) : gas yang tidak jauh dari keadaan kondensasi

• Robert Boyle (Inggris, 1662) : $P \sim \frac{1}{v}$

• J. Charles dan J. Gay Lussac (Perancis 1810) : $P = R \frac{T}{v}$

$$P v = R T \quad \Rightarrow \quad \text{Persamaan gas ideal}$$

P = Tekanan absolut : Tekanan terukur + tekanan atmosfer

T = Temperatur absolut (K atau R)

v = Volume jenis

R = konstante gas : udara $R = 287 \text{ J}/(\text{kg K})$

helium $R = 2077 \text{ J}/(\text{kg K})$

argon $R = 208 \text{ J}/(\text{kg K})$

nitrogen $R = 296 \text{ J}/(\text{kg K})$

$$R = \frac{R_U}{M}$$

R_U = konstanta gas umum = 8,314 kJ/(k mol K)

= 1,986 Btu/(lb mol R)

M = molar mass (berat molekul)

massa sistem : $m = M N$; N = jumlah molekul

$$V = m v \quad \Rightarrow \quad P V = m R T$$

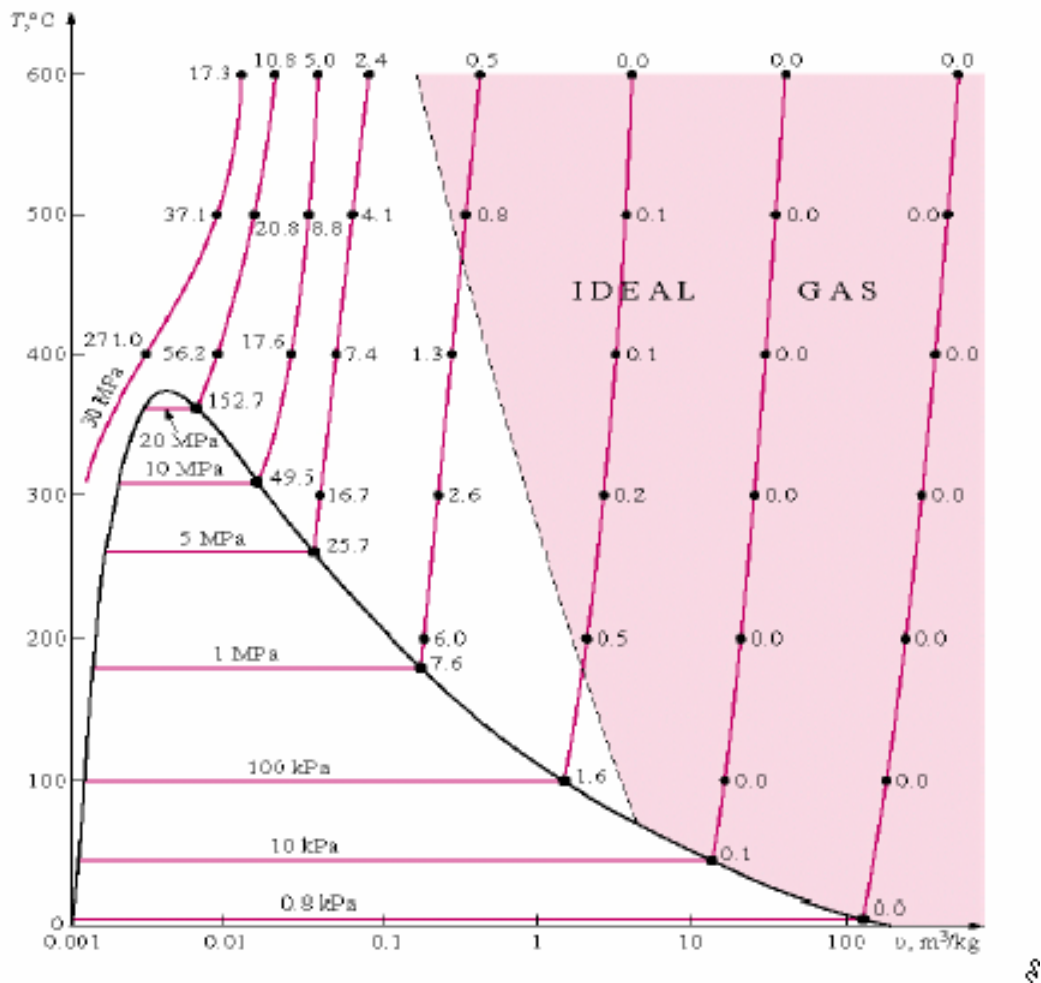
$$m R = M N R = N R_U \quad \Rightarrow \quad P V = N R_U T$$

$$V = N \bar{v} \quad \Rightarrow \quad P \bar{v} = R_U T$$

\bar{v} = volume jenis molekul (volume tiap satuan mole)

Untuk fixed mass system :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = m R$$



Gambar 2.11 Penyimpangan nilai volume jenis dengan asumsi steam sebagai gas ideal dibanding tabel

$$\text{Percent error} = \frac{v_{\text{tabel}} - v_{\text{ideal}}}{v_{\text{tabel}}} \times 100\%$$

Pada tekanan rendah dan temperatur tinggi gas dapat dianggap sebagai gas ideal.

Awas :

Uap air bukan gas ideal. Untuk uap air jangan gunakan persamaan gas ideal.

Di sekitar garis uap jenuh kesalahan besar.

FAKTOR KOMPRESIBILITAS (Z)

Merupakan tolok ukur penyimpangan terhadap sifat gas ideal.

$$Z = \frac{P v}{R T}$$

$$P v = Z R T$$

$$Z = \frac{v_{\text{actual}}}{v_{\text{ideal}}} \quad ; \quad v_{\text{ideal}} = \frac{R T}{P}$$

Variable kunci :

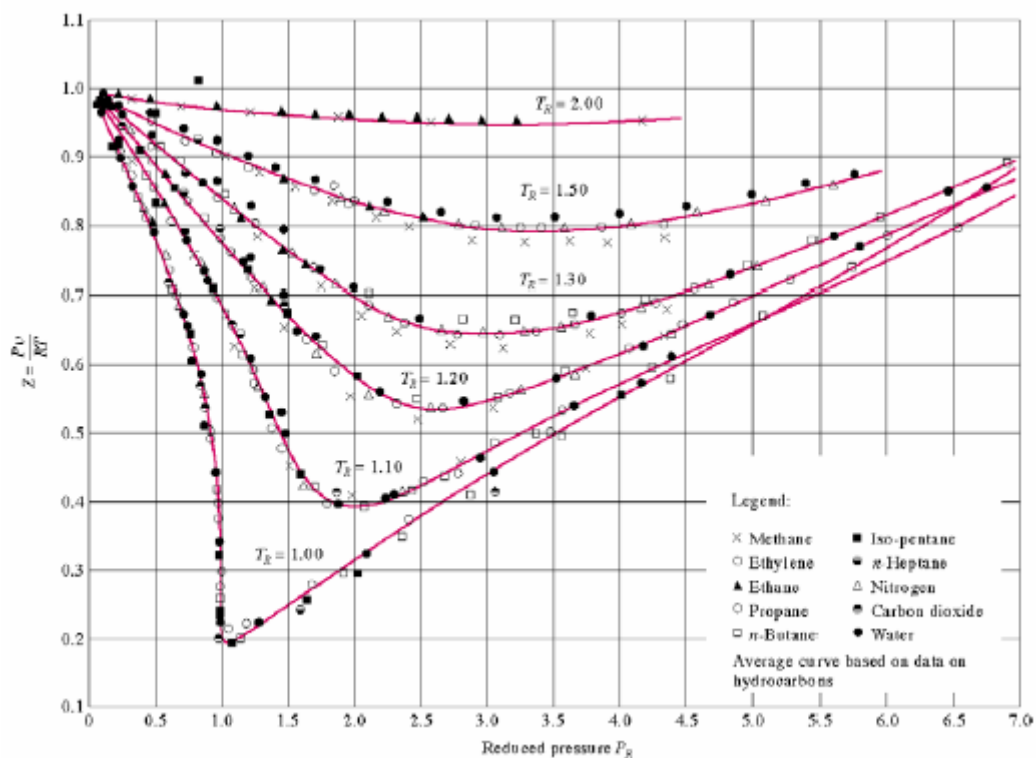
* Reduced Pressure (tekanan tereduksi) $P_R = \frac{P}{P_{CR}}$

* Reduced Temperature (suhu tereduksi) $T_R = \frac{T}{T_{CR}}$

Z untuk semua gas sama pada P_R dan T_R yang sama ("Principle of corresponding states)

Catatan :

1. $P_R \ll 1$ (regardless temperatur) : mendekati gas ideal
2. Temperatur tinggi ($T_R > 2$) : mempunyai ketelitian yang baik tanpa memperhatikan tekanannya, kecuali untuk $P_R \gg 1$.
3. Deviasi dari gas ideal akan semakin besar bila dekat dengan titik kritis.



Gambar 2.12 Perbandingan nilai-nilai Z dari berbagai gas

PERSAMAAN KEADAAN YANG LAIN

1. Persamaan Van Der Waals (1873)

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = R T$$

$$a = \frac{27 R^2 T_{CR}^2}{64 P_{CR}}$$

$$b = \frac{R T_{CR}}{8 P_{CR}}$$

$\frac{a}{v^2}$ = pengaruh gaya - gaya antar molekul.

b = pengaruh volume ruang yang ditempati molekul gas.

2. Persamaan Beattie - Bridgeman (1928)

Disusun dari grafik yang diperoleh dari data eksperimen

$$P = \frac{R_U T (1 - \varepsilon)}{v^{-2}} (\bar{v} + B) - \frac{A}{v}$$

$$A = A_o \left(1 - \frac{a}{v} \right)$$

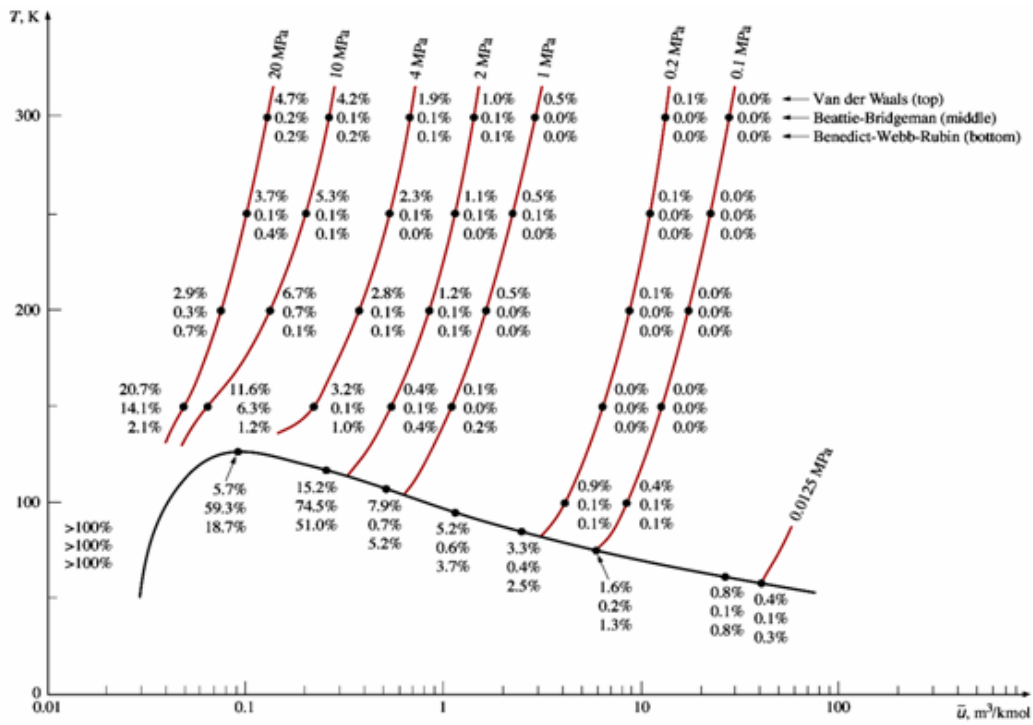
$$B = B_o \left(1 - \frac{b}{v} \right)$$

$$\varepsilon = \frac{c}{v T^3}$$

Persamaan Beattie - Bridgeman digunakan untuk massa jenis kurang dari massa jenis pada titik kritis. Untuk massa jenis yang lebih besar dapat digunakan persamaan Benedict - Webb - Rubin .

3. Persamaan Benedict - Webb - Rubin (1940)

$$P = \frac{R_U T}{v} + \left(B_o R_U T - A_o - \frac{C_o}{T^2} \right) \frac{1}{v^{-2}} + \frac{b R_U T - \alpha}{v^{-3}} + \frac{a \alpha}{v^{-6}} + \frac{c}{v^{-3} T^2} \left(1 + \frac{\gamma}{v} \right) e^{-\frac{\gamma}{v}}$$



Gambar 2.14 Penyimpangan nilai volume jenis Nitrogen dengan menggunakan persamaan dibanding tabel

$$Percent\ error = \frac{v_{tabel} - v_{persamaan}}{v_{tabel}} \times 100\%$$