

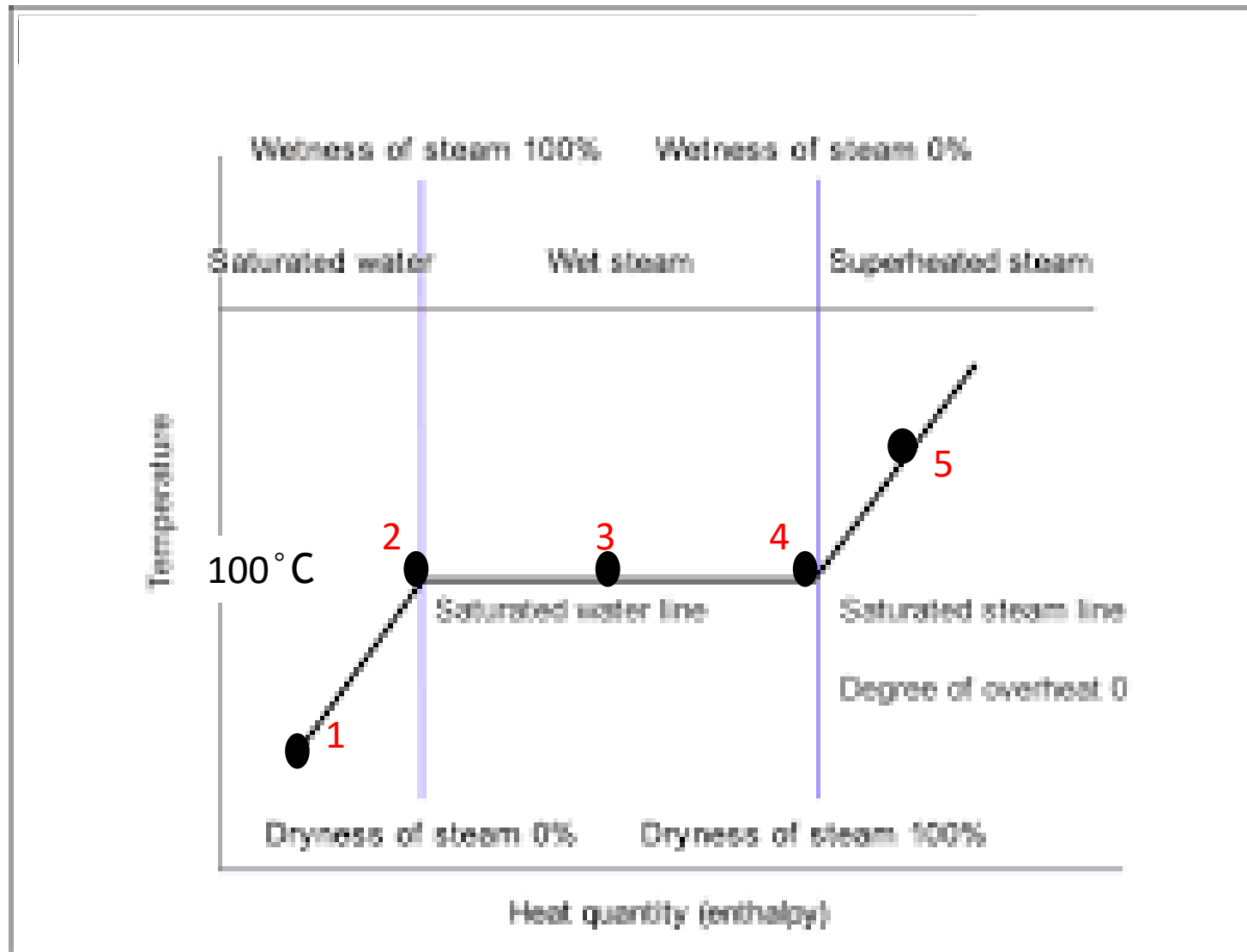


NERACA ENERGI

SISTEM TANPA REAKSI KIMIA

Bagian 2 (*steam table*) Felder-Rousseau chap. 8

Pengertian *steam* (uap air)



TABEL TERMODINAMIKA

- Hubungan entalpi, suhu, dan tekanan, termasuk volum spesifik dan entropi senyawa sering disajikan dalam bentuk tabel.

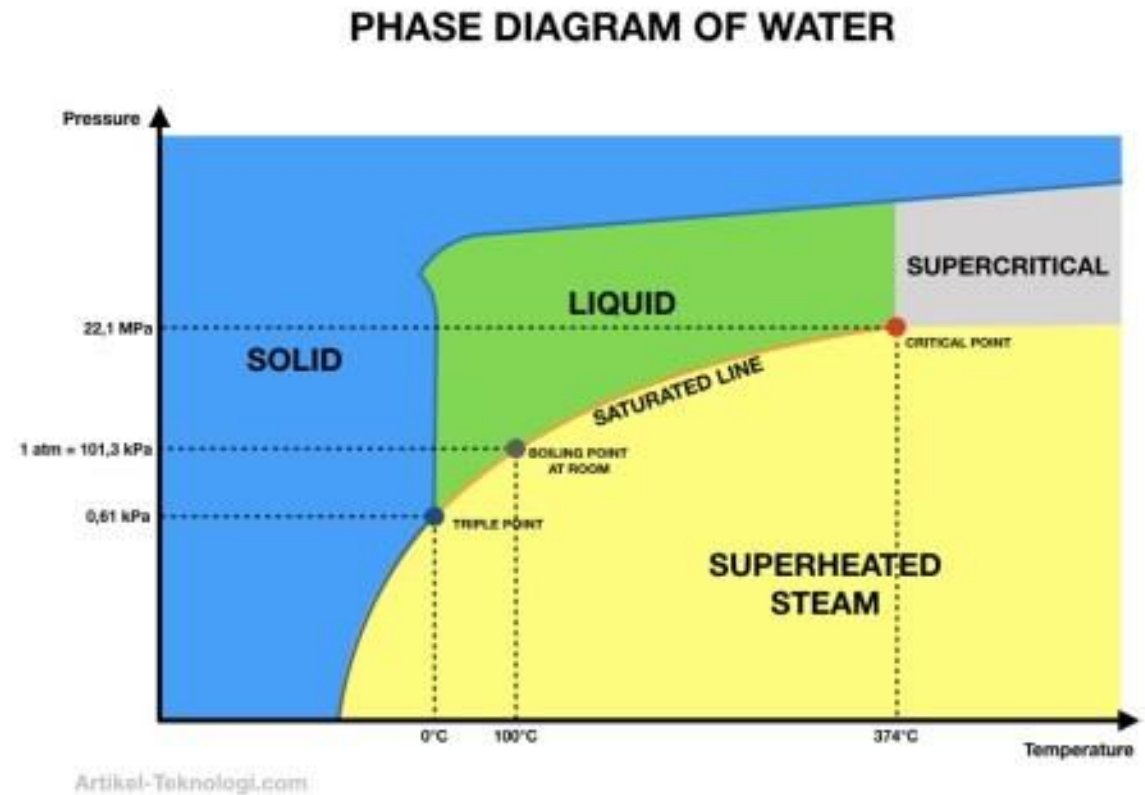
Tabel 6.6 Data termodinamika air-uap

No	h = entalpi, kJ/kg; u = energi-dalam, kJ/kg; v = volume spesifik, L/kg bidang berarsir menunjukkan fasa cair								
	P, bar (T, °C)		Air Jenuh	Uap Jenuh	Temperatur, °C				
					75	100	150	200	250
1	1	h	417,50	2 675,40	314,00	2 676,00	2 776,00	2 875,00	2 975,00
	(99,60)	u	417,50	2 506,10	313,90	2 507,00	2 583,00	2 658,00	2 734,00
		v	1,04	1 690,00	1,03	1 690,00	1 940,00	2 170,00	240,00
2	5	h	640,10	2 747,50	314,30	419,40	632,20	2 855,00	2 961,00
	(151,80)	u	639,60	2 560,20	313,80	418,80	631,60	2 643,00	2 724,00
	5	v	1,09	375,00	1,03	1,04	1,09	425,00	571,00
3	10	h	762,60	2 776,20	314,70	419,70	632,50	2 827,00	2 943,00
	(179,90)	u	761,50	2 582,00	353,70	418,70	631,40	2 621,00	2 710,00
		v	1,13	194,00	1,03	1,04	1,09	206,00	233,00
4	20	h	908,60	2 797,20	315,50	420,50	633,10	852,60	2 902,00
	(212,40)	u	906,20	2 598,20	313,50	418,40	630,90	850,20	2 679,00
		v	0,12	99,50	1,02	1,04	1,09	1,16	111,00



Pengertian *saturated steam* dan *superheated steam*

- Kondisi uap air pada suhu dan tekanan tertentu dituliskan dalam sebuah Tabel uap (*steam table*).
- **Saturated steam** : kondisi uap air yang berada dalam kesetimbangan air cair dan uap air.
- **Superheated steam** : uap air yang tidak mengandung cairan sama sekali (uap kering)



Steam table, *saturated steam*



temp (°C)	press (kPa)	volume(m ³ /kg)		enthalpy (kJ/kg)			entropy(kJ/kg K)		
		water (Vf)	steam (Vg)	water (hf)	evap (hfg)	steam (hg)	water (sf)	evap (sfg)	steam (sg)
0	0.6108	0.0010002	206.31	-0.04	2501.6	2501.6	0.0002	9.1579	9.1577
0.01	0.6112	0.0010002	206.16	0	2501.6	2501.6	0.0000	9.1575	9.1575
5	0.8718	0.0010000	147.16	21.01	2489.7	2510.7	0.0762	8.9507	9.0269
10	1.227	0.0010003	106.43	41.99	2477.9	2519.9	0.1510	8.7510	8.9020
15	1.704	0.0010008	77.98	62.94	2466.1	2529.0	0.2243	8.5582	8.7825
20	2.377	0.0010017	57.84	83.86	2454.3	2538.2	0.2963	8.3721	8.6684
25	3.166	0.0010029	43.40	104.77	2442.5	2547.3	0.3670	8.1922	8.5592
30	4.241	0.0010043	32.93	125.66	2430.7	2556.4	0.4365	8.0181	8.4546
35	5.622	0.0010060	25.25	146.56	2418.8	2565.4	0.5049	7.8494	8.3543
40	7.375	0.0010078	19.55	167.45	2406.9	2574.4	0.5721	7.6861	8.2583
45	9.582	0.0010098	15.28	188.35	2394.9	2583.3	0.6383	7.5277	8.1661
50	12.335	0.0010121	12.05	209.26	2382.9	2592.2	0.7035	7.3741	8.0776
55	15.741	0.0010145	9.58	230.17	2370.8	2601.0	0.7677	7.2248	7.9925

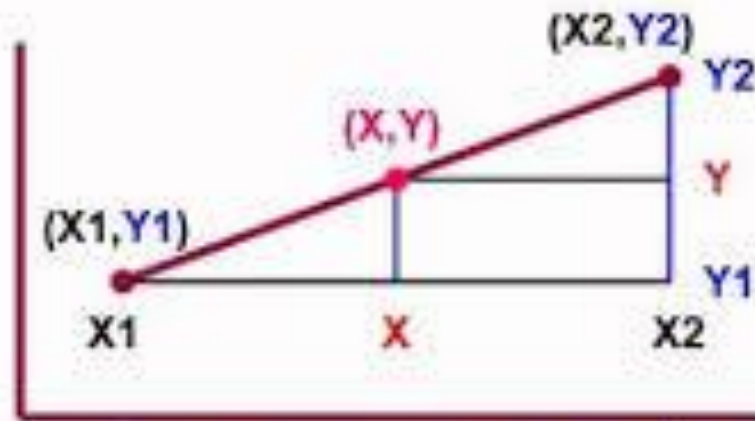
Superheated steam table



Abs. Press., Psi (Sat. Temp.)	Temperature °F												
	500	600	620	640	660	680	700	800	900	1000	1200	1400	
450 (456.28)	v	1.1231	1.3005	1.3332	1.3652	1.3967	1.4278	1.4584	1.6074	1.7516	1.8928	2.170	2.443
	h	1238.4	1302.8	1314.6	1326.2	1337.5	1348.8	1359.9	1414.3	1467.7	1521.0	1628.6	1738.7
	s	1.5095	1.5735	1.5845	1.5951	1.6054	1.6153	1.6250	1.6699	1.7108	1.7486	1.8177	1.8803
500 (467.01)	v	0.9927	1.1591	1.1893	1.2188	1.2478	1.2763	1.3044	1.4405	1.5715	1.6996	1.9504	2.197
	h	1231.3	1298.6	1310.7	1322.6	1334.2	1345.7	1357.0	1412.1	1466.0	1519.6	1627.6	1737.9
	s	1.4919	1.5588	1.5701	1.5810	1.5915	1.6016	1.6115	1.6571	1.6982	1.7363	1.8056	1.8683
550 (476.94)	v	0.8852	1.0431	1.0714	1.0989	1.1259	1.1523	1.1783	1.3038	1.4241	1.5414	1.7706	1.9957
	h	1223.7	1294.3	1306.8	1318.9	1330.8	1342.5	1354.0	1409.9	1464.3	1518.2	1626.6	1737.1
	s	1.4751	1.5451	1.5568	1.5680	1.5787	1.5890	1.5991	1.6452	1.6868	1.7250	1.7946	1.8575
600 (486.21)	v	0.7947	0.9463	0.9729	0.9988	1.0241	1.0489	1.0732	1.1899	1.3013	1.4096	1.6208	1.8279
	h	1215.7	1289.9	1302.7	1315.2	1327.4	1339.3	1351.1	1407.7	1462.5	1516.7	1625.5	1736.3
	s	1.4586	1.5323	1.5443	1.5558	1.5667	1.5773	1.5875	1.6343	1.6762	1.7147	1.7846	1.8476
700 (503.10)	v	—	0.7934	0.8177	0.8411	0.8639	0.8860	0.9077	1.0108	1.1082	1.2024	1.3853	1.5641
	h	—	1280.6	1294.3	1307.5	1320.3	1332.8	1345.0	1403.2	1459.0	1513.9	1623.5	1734.8
	s	—	1.5084	1.5212	1.5333	1.5449	1.5559	1.5665	1.6147	1.6573	1.6963	1.7666	1.8299
800 (518.23)	v	—	0.6779	0.7006	0.7223	0.7433	0.7635	0.7833	0.8763	0.9633	1.0470	1.2088	1.3662
	h	—	1270.7	1285.4	1299.4	1312.9	1325.9	1338.6	1398.6	1455.4	1511.0	1621.4	1733.2
	s	—	1.4863	1.5000	1.5129	1.5250	1.5366	1.5476	1.5972	1.6407	1.6801	1.7510	1.8146
900 (531.98)	v	—	0.5873	0.6089	0.6294	0.6491	0.6680	0.6863	0.7716	0.8506	0.9262	1.0714	1.2124
	h	—	1260.1	1275.9	1290.9	1305.1	1318.8	1332.1	1393.9	1451.8	1508.1	1619.3	1731.6
	s	—	1.4653	1.4800	1.4938	1.5066	1.5187	1.5303	1.5814	1.6257	1.6656	1.7371	1.8009
1000 (544.61)	v	—	0.5140	0.5350	0.5546	0.5733	0.5912	0.6084	0.6878	0.7604	0.8294	0.9615	1.0893
	h	—	1248.8	1265.9	1281.9	1297.0	1311.4	1325.3	1389.2	1448.2	1505.1	1617.3	1730.0
	s	—	1.4450	1.4610	1.4757	1.4893	1.5021	1.5141	1.5670	1.6121	1.6525	1.7245	1.7886
1100 (556.31)	v	—	0.4532	0.4738	0.4929	0.5110	0.5281	0.5445	0.6191	0.6866	0.7503	0.8716	0.9885
	h	—	1236.7	1255.3	1272.4	1288.5	1303.7	1318.3	1384.3	1444.5	1502.2	1615.2	1728.4
	s	—	1.4251	1.4425	1.4583	1.4728	1.4862	1.4989	1.5535	1.5995	1.6405	1.7130	1.7775

TABEL TERMODINAMIKA

- Data yang tidak tersedia dalam tabel dapat dihitung dengan interpolasi linier.



$$\frac{(X - X1)}{(X2 - X1)} = \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)}$$

$$Y = Y1 + \frac{(X - X1)}{(X2 - X1)} (Y2 - Y1)$$

$$X = X1 + \frac{(Y - Y1)}{(Y2 - Y1)} (X2 - X1)$$



Latihan 1



- Hitunglah :
 - Tekanan dan entalpi penguapan uap jenuh pada suhu 43°C .
 - Entalpi superheated steam pada tekanan 500 psi dan suhu 750°C .

Neraca energi tanpa reaksi kimia

NERACA ENERGI TANPA REAKSI



- Neraca energi dapat ditulis sesuai dengan hukum Termodinamika I

$$[\text{energi masuk}] - [\text{energi keluar}] + [\text{energi dibangkitkan}] - [\text{energi digunakan}] = [\text{akumulasi energi}]$$

Untuk sistem steady state [akumulasi energi] = 0

Jika tidak ada energi yang dibangkitkan dan energi yang digunakan di dalam sistem maka

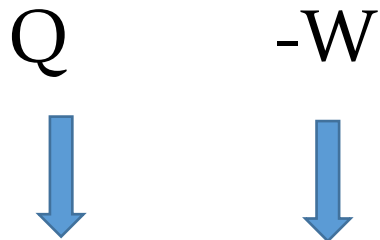
$$[\text{energi masuk}] = [\text{energi keluar}]$$

Neraca energi untuk sistem tertutup



- Hukum 1 termodinamika utk sistem tertutup

$$\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p = Q - W$$



Sistem terbuka dengan aliran masuk dan aliran keluar

1

2

Energi terbawa aliran masuk/keluar

- Energi dalam, U
- Energi potensial, mgh , PV
- Energi kinetik, $\frac{1}{2}mv^2$

Energi masuk melalui dinding sistem

- Panas, Q
- Kerja, w



1. The internal energy of a system depends almost entirely on the chemical composition, state of aggregation (solid, liquid, or gas), and temperature of the system materials. It is independent of pressure for ideal gases and nearly independent of pressure for liquids and solids. *If no temperature changes, phase changes, or chemical reactions occur in a closed system and if pressure changes are less than a few atmospheres, then $\Delta U \approx 0$.*
2. *If a system is not accelerating, then $\Delta E_k = 0$. If a system is not rising or falling, then $\Delta E_p = 0$.*
3. *If a system and its surroundings are at the same temperature or the system is perfectly insulated, then $Q = 0$. The process is then termed **adiabatic**.*
4. Work done on or by a closed system is accomplished by movement of the system boundary against a resisting force or the passage of an electrical current or radiation across the system boundary. Examples of the first type of work are motion of a piston or rotation of a shaft that projects through the system boundary. *If there are no moving parts or electrical currents or radiation at the system boundary, then $W = 0$.*

Neraca energi untuk sistem terbuka (flow system)

- Neraca massa

$$m_1 = m_2$$

- Neraca energi

$$(u_1 + gh_1 + \frac{1}{2} v_1^2 + P_1 V_1) m_1 - (u_2 + gh_2 + \frac{1}{2} v_2^2 + P_2 V_2) m_2 + Q - w = 0$$

Jika $v_1 = v_2$ dan $h_1 = h_2$,

Maka $m(\Delta u + \Delta PV) = Q - w$

$$m \Delta h = Q - w$$

Neraca energi sering ditulis dalam bentuk neraca entalpi

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_k + \Delta \dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

$$\hat{H} \equiv \hat{U} + P\hat{V}$$



Latihan 2



- Aliran gas alam didinginkan dari suhu 38°C menjadi 20°C dengan laju 100 mol/detik . Komposisi gas dan nilai C_p disajikan pada tabel berikut

Komponen	Komposisi (fraksi mol)	$C_p = a + bT + cT^2\text{ J/mol.K}$		
		a	b	c
CH ₄	90 %	12,684	0,077	-0,000019
CO ₂	10 %	26,624	0,043	-0,000014

- Tentukan panas yang harus dibuang dari sistem ini!

Contoh kasus perpindahan panas dalam suatu sistem

Neraca Energi dalam Penukar Panas

Penukar panas (*heat exchanger*) berfungsi untuk memindahkan panas dari satu aliran ke aliran lain. Di dalam penukar panas paling tidak ada dua aliran:

- a. aliran panas yang melepaskan panas
- b. aliran dingin yang menyerap panas.

Termasuk dalam kategori penukar panas: kondensor (salah satu aliran mengalami kondensasi), evaporator (penguapan) dan boiler (penguapan dan pembakaran).

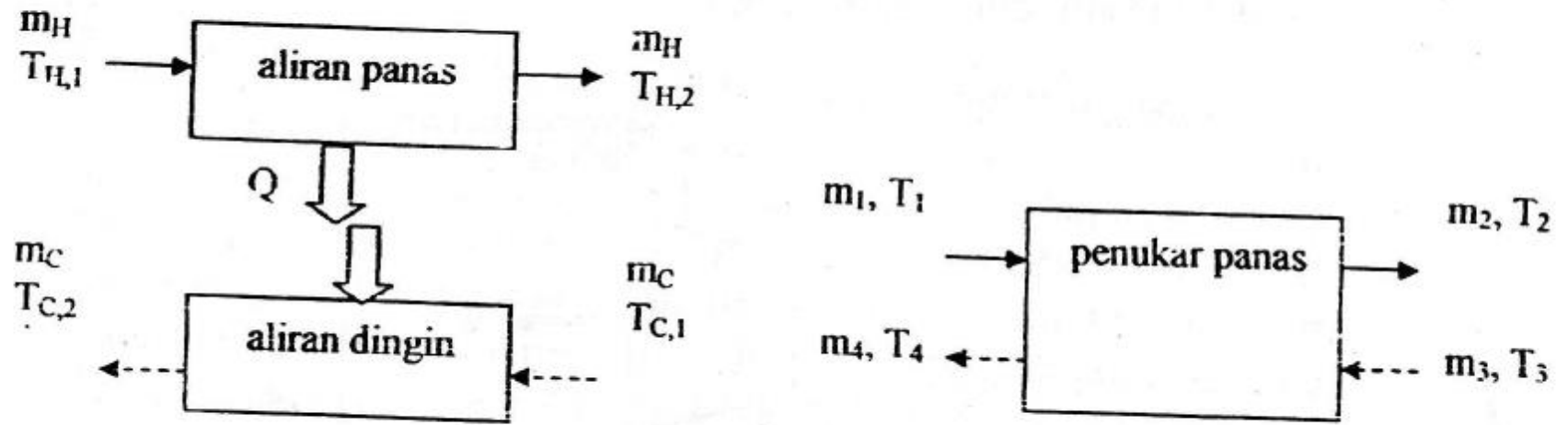
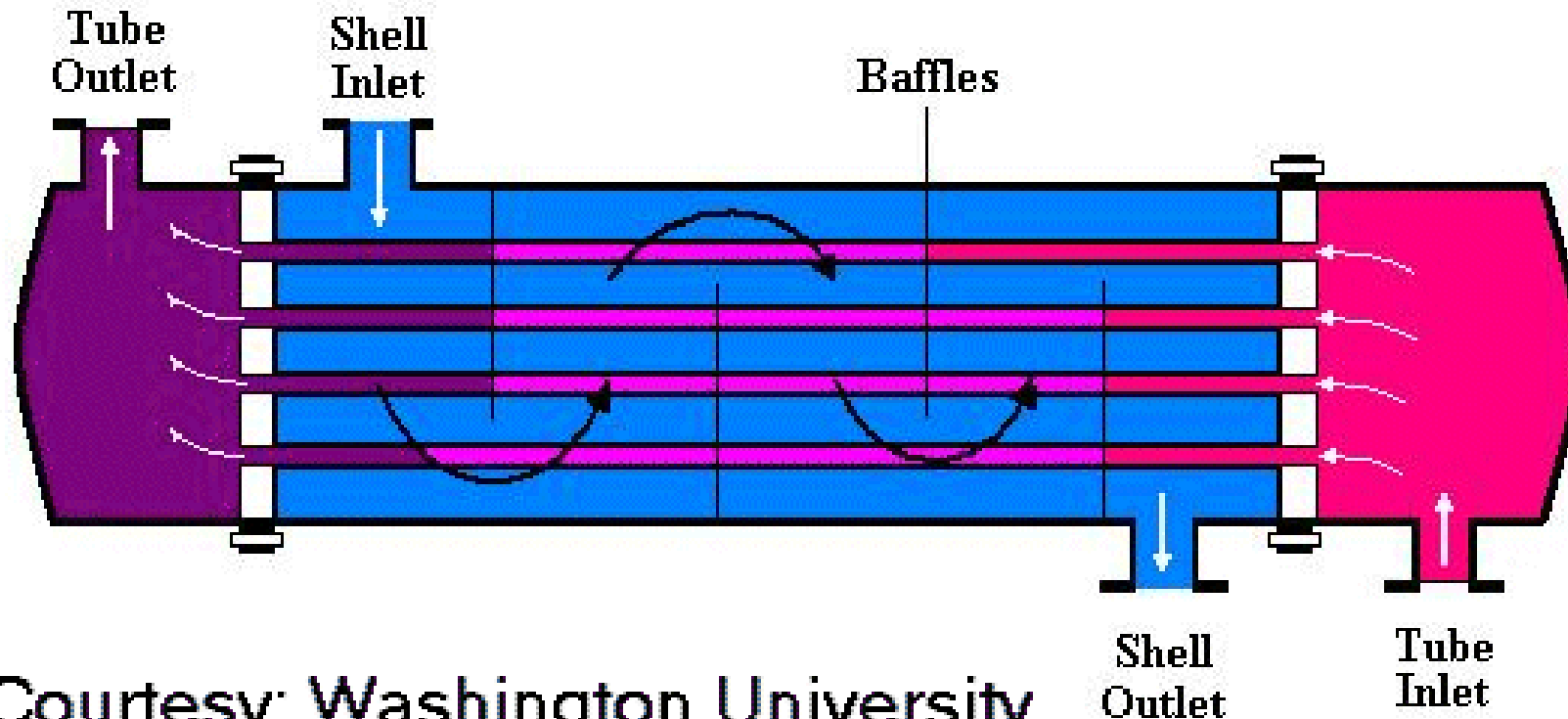


Diagram alir penukar panas

(a) dua sistem

(b) satu sistem



Penyelesaian neraca energi penukar panas dapat dilakukan dengan dua cara berikut.

a. Cara pertama (Gambar a):

- 1). setiap aliran dipandang sebagai sistem tersendiri
- 2). setiap sistem tersebut memiliki satu neraca energi dengan satu variabel sistem Q
- 3). satu sistem dengan sistem lainnya berinteraksi melalui variabel Q
- 4). neraca entalpi aliran panas : $m_H \cdot (h_{H,2} - h_{H,1}) = Q_H$
- 5). neraca entalpi aliran dingin: $m_C \cdot (h_{C,2} - h_{C,1}) = Q_C$
- 6). jika penukar panas adiabatik, maka : $|Q_H| - |Q_C| = 0$
- 7). jika penukar panas non-adiabatik, maka: $|Q_H| - |Q_C| = Q_{\text{loss}}$

b. Cara kedua (Gambar b):

- 1). semua aliran dipandang sebagai satu sistem dengan banyak pintu (aliran masuk lebih dari satu, dan aliran keluar juga lebih dari satu)
- 2). seluruh sistem penukar panas hanya memiliki satu persamaan neraca energi
- 3). jika penukar panas adiabatik : $m_1 \cdot h_1 + m_3 \cdot h_3 = m_2 \cdot h_2 + m_4 \cdot h_4$
- 4). jika penukar panas non-adiabatik: $(m_2 \cdot h_2 + m_4 \cdot h_4) - (m_1 \cdot h_1 + m_3 \cdot h_3) = Q$



Tugas individu



- Steam yang dihasilkan pada suatu boiler dipergunakan untuk memanaskan benzena cair pada suatu HE (*Heat Exchanger*/alat penuar panas). Benzene masuk HE pada suhu $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan keluar pada suhu $135\text{ }^{\circ}\text{C}$. Steam masuk HE berupa *saturated steam* 5 bar dan keluar HE pada kondisi cair jenuh pada tekanan yang sama. Untuk setiap 100 kg steam, tentukan jumlah benzene yang dapat dipanaskan.
- C_p benzena dapat dilihat pada Tabel B.2 dan Saturated steam Table pada Tabel B.6 Appendix Buku Felder & Rousseau