

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2000/2001

Februari/Mac 2001

KIT 252 – Operasi Unit I

Masa : 3 Jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **EMPAT BELAS** muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab LIMA soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.

Jadual tambahan dilampirkan.

1. (a) Persamaan imbalan tenaga suatu sistem terbuka pada keadaan mantap adalah

$$\Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p = Q + W_s$$

Bagi setiap kes berikut tuliskan bentuk yang sesuai serta nyatakan jika berkenaan samada rangkap haba dan kerja syaf bernilai positif (masuk ke sistem) atau negatif (keluar dari sistem).

- (i) Stim memasuki turbin dan memutar suatu syaf yang disambungkan kepada suatu generator. Arus stim masuk dan keluar berada pada paras yang sama. Sebahagian tenaga hilang kesekitaran sebagai haba.
- (ii) Suatu arus cecair dipanaskan dari 25 °C ke 80 °C. Paip masuk dan keluar mempunyai jejari yang sama dan berada pada titik paras yang sama.

.../2-

-2-

- (iii) Air melalui suatu pintu kawalan (sluice gate) suatu ampangan dan jatuh di atas rotor yang memutar syaf yang disambungkan ke generator. Halaju arus air masuk melalui pintu dan keluar dari ampangan adalah hampir sama (boleh diabaikan perbezaannya), dan tiada berlaku perubahan suhu dan tekanan yang nyata antara arus masuk dan keluar.
- (iv) Minyak mentah dipam melalui suatu saluran-paip (pipeline) dari timor ke Barat Semenanjung Malaysia. Paip masuk berada pada paras 200 m lebih tinggi dari paip keluar, jejari paip adalah sama, dan pam terletak kira-kira pada tengah saluran-paip. Haba berpunca dari geseran dalam paip hilang melalui dindingnya.
- (v) Suatu tindak balas kimia yang berlaku dalam reaktor secara berterusan pada keadaan mantap. Perubahan tenaga kinetik dan keupayaan antara arus masuk dan keluar tidak ketara.

(10 markah)

- (b) Air dimasukkan ke dalam dangdang (boiler) pada $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan 15 bar dan ditukarkan kepada stim tepu. Gunakan jadual stim bagi menentukan $\Delta h(\text{kJ/kg})$ bagi proses ini. Seterusnya, kiralah haba input yang diperlukan bagi menjanakan stim yang keluar pada kadar $15,000\text{ m}^3/\text{j}$ stim pada keadaan mantap. Anggapkan bahawa tenaga kinetik air yang masuk boleh diabaikan manakala stim keluar melalui paip berjejari dalaman 20 cm.

(10 markah)

- 2. (a) Suatu arus wap air pada kadar 250 mol/j disejukkan dari $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ke $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada tekanan tetap 1 atmosfera dan berada pada keadaan mantap. Kiralah kadar penyejukan dalam unit kW dengan menggunakan setiap cara berikut:
 - (i) Menggunakan jadual stim
 - (ii) Menggunakan data daripada jadual muatan haba integral
 - (iii) Menggunakan data daripada jadual muatan haba min

(jadual berkenaan disediakan)

(10 markah)

.../3-

-3-

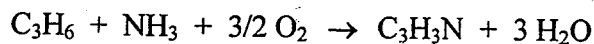
- (b) Air laut yang mengandung 3.8% berat garam melalui suatu siri enam unit penyejat. Pada keadaan mantap, setiap unit penyejat akan menyejat kuantiti air yang sama. Kesemua wap air ini akan dikondenskan dan dikumpulkan sebagai arus hasil air tulen. Larutan garam yang keluar daripada unit penyejat terakhir (keenam) mengandung 5.5% berat garam. Jika 40,000 kg/jam air laut dimasukkan ke dalam proses di atas, kiralah jumlah air tulen dihasilkan selepas penyejat ketiga dan peratus berat garam dalam arus larutan garam keluar dari penyejat ketiga ini.

(10 markah)

3. (a) Jawab salah (S) atau betul (T) bagi setiap pernyataan berikut:
- (i) Jika tindak balas kimia berlaku, jisim jumlah arus masuk dan jisim jumlah arus keluar sistem pada keadaan mantap adalah sama.
 - (ii) Bilangan mol suatu sebatian yang memasuki suatu proses melibatkan tindak balas kimia pada keadaan mantap tidak akan sama dengan bilangan molnya yang keluar dari sistem jika sebatian ini turut terlibat dalam tindak balas.
 - (iii) Keluasan tindak balas ξ didarabkan dengan pekali stoikiometrik adalah sama dengan pertukaran.

(6 markah)

- (b) Sebatian akrilonitril disediakan melalui tindak balas antara propilena, ammonia, dan oksigen

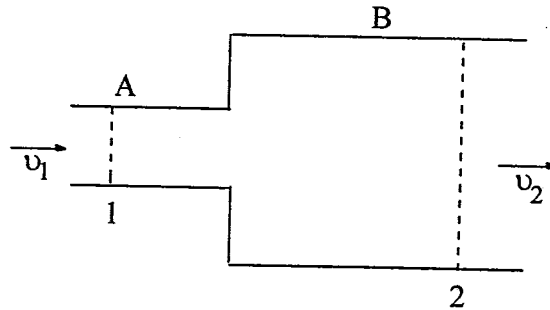


Suapan ke dalam reaktor mengandungi 10% mol propilena, 12% mol ammonia, dan 78% mol udara. Pertukaran sebanyak 30% merujuk kepada reaktan penghad dicapai bagi proses ini pada keadaan mantap. Tentukan reaktan penghad, dan peratus lebihan bagi setiap reaktan yang lainnya, dan kadar alir molar setiap komponen dalam arus produk pada pertukaran sebanyak 30% merujuk kepada reaktan penghad. Gunakan asas 100 mol/j. Udara mengandungi 21% oksigen dan 79% nitrogen.

(14 markah)

.../4-

4. (a) Dua batang paip A dan B masing-masing berdiameter 0.4 m dan 1.0 m disambungkan seperti ditunjukkan di bawah. Air dialirkan pada halaju 1 ms^{-1} . Terbitkan persamaan kehilangan tenaga dalam bentuk h (m air) apabila aliran dari posisi 1 ke posisi 2 mengalami pengembangan mengejut.



Kirakan:

- (a) halaju pada posisi 2, v_2
 (b) koefisen kehilangan, k
 (c) kehilangan tenaga aliran h (m air)
- (12 markah)
- (b) (i) Buktikan bahawa tekanan satu titik dalam bendalir statik (berkeadaan seimbang) adalah sama dalam semua arah.
- (4 markah)
- (ii) Satu tong berdiameter 1 m dan ketinggian 1 m diisi dengan minyak ($\rho_m = 0.9 \text{ kg m}^{-3}$) dan diputar pada kelajuan 900 rpm. Putaran ini membuatkan ketebalan sekata minyak pada dinding tong iaitu 10 cm. Kirakan perbezaan tekanan lapisan luar dan dalam minyak.

(4 markah)

-5-

5. (a) Lakarkan satu tiub pitot-statik. Dengan melabelkan lakaran anda, terbitkan satu persamaan untuk halaju alir.

(6 markah)

- (b) Air dialirkan pada kelajuan 30 m s^{-1} melalui sebatang paip berdiameter 20 cm. Pada suatu bahagian paip, aliran terpaksa merentasi satu dinding berlubang. Lubang ini berjari 2.5 cm. Terbitkan persamaan untuk perbezaan tekanan air sebelum dan sejeurus selepas melepasi lubang itu. Kirakan nilai perbezaan tekanan tersebut

(14 markah)

6. (a) Sebuah corong (separa kon) berketinggian 30 cm dan mempunyai diameter dasar 20 cm dan diameter atasnya 10 cm. Corong ini diletakkan supaya paksinya condong 45° dari satah rujukan. Air dialirkan dari arah dasar ke bahagian atas kon pada kelajuan 25 m s^{-1} . Kirakan kelajuan air pada bahagian tengah dan hujung kon.

(6 markah)

- (b) Satu manometer tiub-U berisi raksa dipasang pada corong tersebut di atas. Kaki-kaki tiub-U dihubungkan kepada corong pada ketinggian paksi corong 10 cm dan 20 cm masing-masing dari dasar corong. Kedudukan corong tidak berubah.

- (i) Terbitkan satu persamaan dalam bentuk perbezaan tekanan $P_{(10 \text{ cm})} - P_{(20 \text{ cm})}$ untuk corong di atas.

- (ii) Jika pusat dasar corong berada 1 m dari satah rujukan dan didapati perbezaan ketinggian raksa adalah 10 cm, kirakan nilai $P_{(10 \text{ cm})} - P_{(20 \text{ cm})}$.

- (iii) Apakah kebaikan memasang manometer tiub-U pada corong di atas?

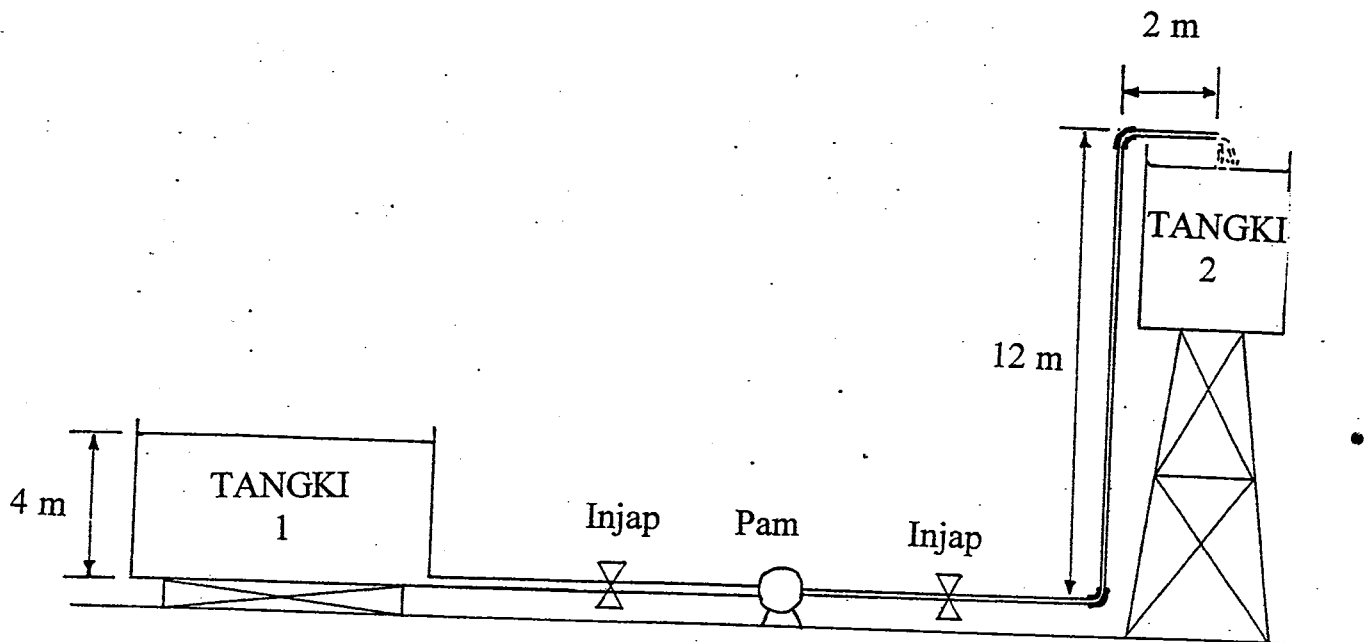
(14 markah)

.../6-

7. Sila teliti rajah di bawah. Satu pam digunakan untuk memindahkan air dari tangki 1 ke tangki 2 pada kadar $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Kirakan kerja W_s yang perlu dilakukan oleh pam tersebut.

(20 markah)

RAJAH dan DATA untuk Soalan 7.

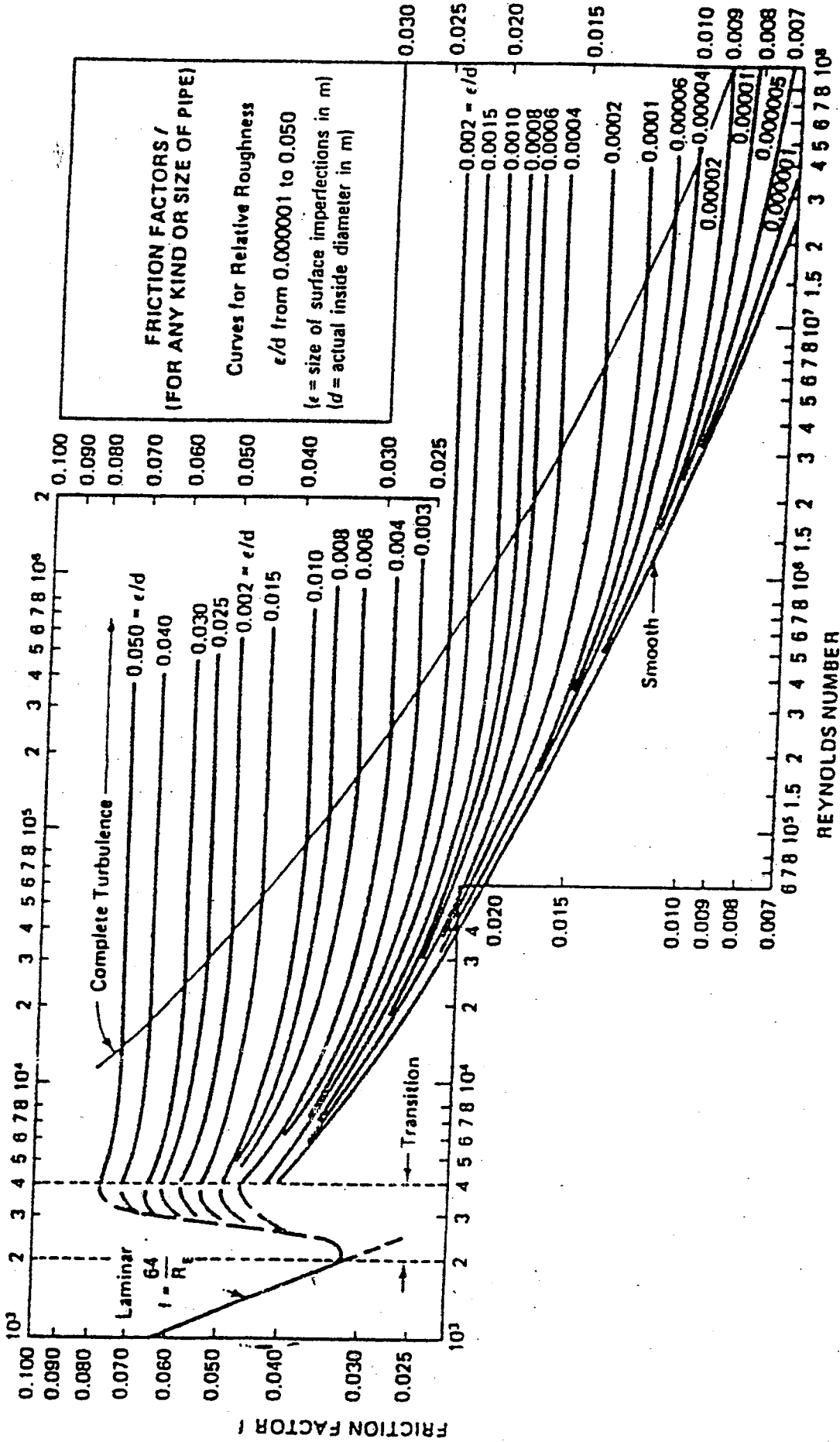
**Data-data Relevan;**Paip Discas: diameter 40 mm, panjang 24 m, buatan keluli ($\epsilon/d = 0.001$)Paip Sedutan: diameter 60 mm, panjang 10 m, buatan keluli ($\epsilon/d = 0.0008$)Nilai K bagi setiap sesiku 90° ialah 0.9

Nilai K bagi setiap injap ialah 0.2

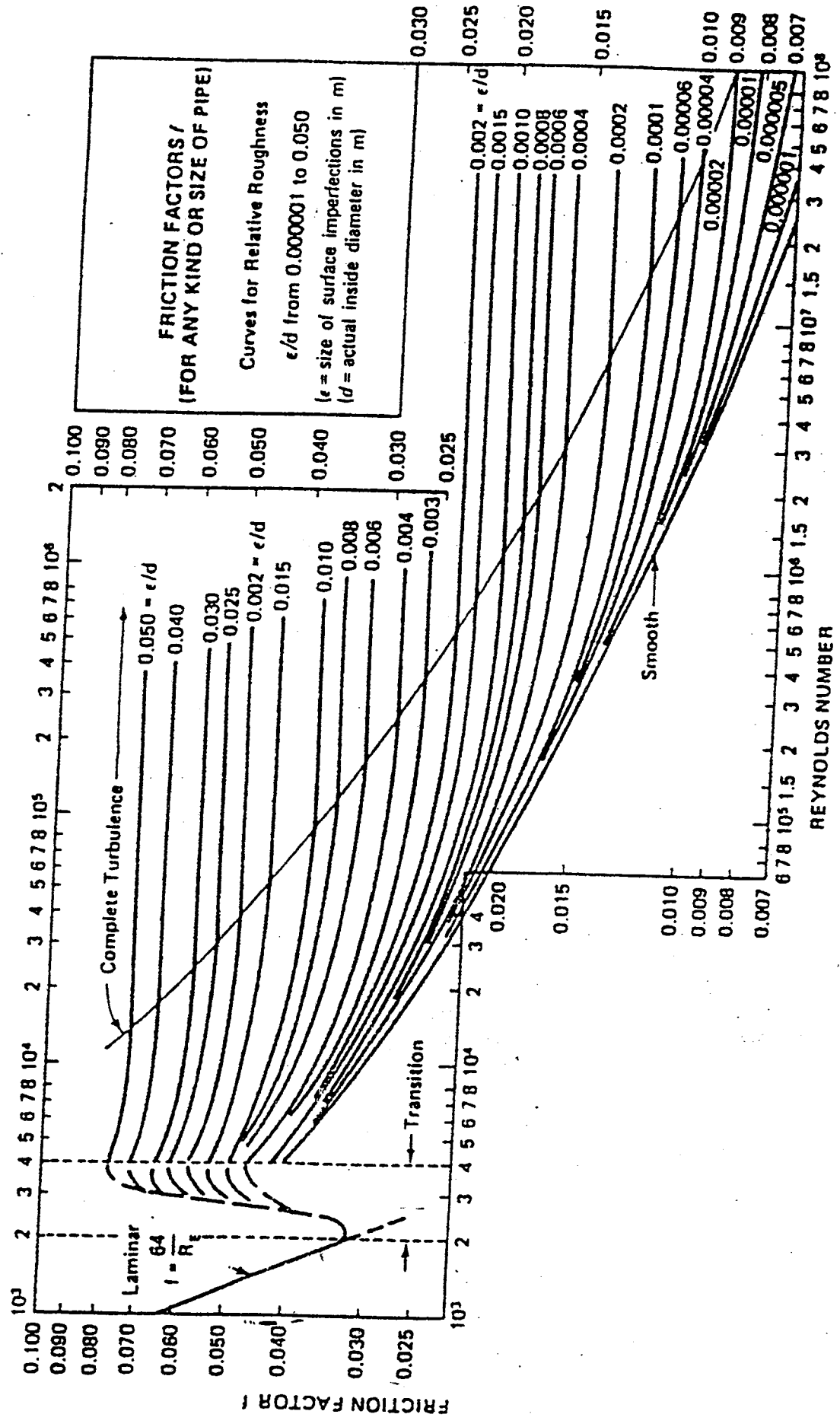
Kelikatan dinamik air, μ ialah $1.49 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$

-oooOooo-

.../7-



"Friction factors for pipe flow" by L. Moody, Transactions of the ASME, Vol. 66, No. 8, Nov. 1944)



0121

"Friction factors for pipe flow" by L. Moody, Transactions of the ASME, Vol. 66, No. 8, Nov. 1944)

Moody's chart

TABLE 1.6-1. Mean Molar Heat Capacities of Gases Between 298 and TK (25 and T°C) at 101.325 kPa or Less (SI Units: $c_p = \text{kJ/kg mol} \cdot \text{K}$)

T(K)	T(°C)	H ₂	N ₂	CO	Air	O ₂	H ₂ O	CO ₂	CH ₄	SO ₂
298	25	28.86	29.14	29.16	29.19	29.38	33.59	37.20	35.8	39.9
373	100	28.99	29.19	29.24	29.29	29.66	33.85	38.73	37.6	41.2
473	200	29.13	29.29	29.38	29.40	30.07	34.24	40.62	40.3	42.9
573	300	29.18	29.46	29.60	29.61	30.53	34.39	42.32	43.1	44.5
673	400	29.23	29.68	29.88	29.94	31.01	35.21	43.80	45.9	45.8
773	500	29.29	29.97	30.19	30.25	31.46	35.75	45.12	48.8	47.0
873	600	29.35	30.27	30.52	30.56	31.89	36.33	46.28	51.4	47.9
973	700	29.44	30.56	30.84	30.87	32.26	36.91	47.32	54.0	48.8
1073	800	29.56	30.85	31.16	31.18	32.62	37.53	48.27	56.4	49.6
1173	900	29.63	31.16	31.49	31.48	32.97	38.14	49.15	58.8	50.3
1273	1000	29.84	31.43	31.77	31.79	33.25	38.71	49.91	61.0	50.9
1473	1200	30.18	31.97	32.30	32.32	33.78	39.88	51.29	64.9	51.9
1673	1400	30.51	32.40	32.73	32.76	34.19	40.90	52.34		

Mean Molar Heat Capacities of Gases Between 25 and T°C at 1 atm Pressure or Less (English Units: $c_p = \text{btu/lb mol} \cdot \text{°F}$)

T(°C)	H ₂	N ₂	CO	Air	O ₂	NO	H ₂ O	CO ₂	HCl	Cl ₂	CH ₄	SO ₂	C ₂ H ₄	SO ₃	C ₂ H ₆
25	6.894	6.961	6.965	6.972	7.017	7.134	8.024	8.884	6.96	8.12	8.55	9.54	10.45	12.11	12.63
100	6.924	6.972	6.983	6.996	7.083	7.144	8.084	9.251	6.97	8.24	8.98	9.85	11.35	12.84	13.76
200	6.957	6.996	7.017	7.021	7.181	7.224	8.177	9.701	6.98	8.37	9.62	10.25	12.53	13.74	15.27
300	6.970	7.036	7.070	7.073	7.293	7.252	8.215	10.108	7.00	8.48	10.29	10.62	13.65	14.54	16.72
400	6.982	7.089	7.136	7.152	7.406	7.301	8.409	10.462	7.02	8.55	10.97	10.94	14.67	15.22	18.11
500	6.995	7.159	7.210	7.225	7.515	7.389	8.539	10.776	7.06	8.61	11.65	11.22	15.60	15.82	19.39
600	7.011	7.229	7.289	7.299	7.616	7.470	8.678	11.053	7.10	8.66	12.27	11.45	16.45	16.33	20.58
700	7.032	7.298	7.365	7.374	7.706	7.549	8.816	11.303	7.15	8.70	12.90	11.66	17.22	16.77	21.68
800	7.060	7.369	7.443	7.447	7.792	7.630	8.963	11.53	7.21	8.73	13.48	11.84	17.95	17.17	22.72
900	7.076	7.443	7.521	7.520	7.874	7.708	9.109	11.74	7.27	8.77	14.04	12.01	18.63	17.52	23.69
1000	7.128	7.507	7.587	7.593	7.941	7.773	9.246	11.92	7.33	8.80	14.56	12.15	19.23	17.86	24.56
1100	7.169	7.574	7.653	7.660	8.009	7.839	9.389	12.10	7.39	8.82	15.04	12.28	19.81	18.17	25.40
1200	7.209	7.635	7.714	7.719	8.068	7.898	9.524	12.25	7.45	8.94	15.49	12.39	20.33	18.44	26.15
1300	7.252	7.692	7.772	7.778	8.123	7.952	9.66	12.39							
1400	7.288	7.738	7.818	7.824	8.166	7.994	9.77	12.50							
1500	7.326	7.786	7.866	7.873	8.203	8.039	9.89	12.69							
1600	7.386	7.844	7.922	7.929	8.269	8.092	9.95	12.75							
1700	7.421	7.879	7.958	7.965	8.305	8.124	10.13	12.70							
1800	7.467	7.924	8.001	8.010	8.349	8.164	10.24	12.94							
1900	7.505	7.957	8.033	8.043	8.383	8.192	10.34	13.01							
2000	7.548	7.994	8.069	8.081	8.423	8.225	10.43	13.10							
2100	7.588	8.028	8.101	8.115	8.460	8.255	10.52	13.17							
2200	7.624	8.054	8.127	8.144	8.491	8.277	10.61	13.24							

Source: O. A. Hougen, K. W. Watson, and R. A. Ragatz, *Chemical Process Principles*, Part I, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1954. With permission.

following temperature ranges:

(a) 298–673 K (25–400°C)

(b) 298–1123 K (25–850°C)

(c) 673–1123 K (400–850°C)

TABLE B.2
Heat Capacities*

Form 1: $C_p(\text{J/mol}\cdot^\circ\text{C})$ or $(\text{J/mol}\cdot\text{K}) = a + bT + cT^2 + dT^3$
 Form 2: $C_p(\text{J/mol}\cdot^\circ\text{C})$ or $(\text{J/mol}\cdot\text{K}) = a + bT + cT^{-2}$

Example: $(C_p)_{\text{acetone}(g)} = 71.96 + (20.10 \times 10^{-2})T - (12.78 \times 10^{-5})T^2 + (34.76 \times 10^{-9})T^3$, where T is in $^\circ\text{C}$.

Note: The formulas for gases are strictly applicable at pressures low enough for the ideal gas law to apply.

Compound	Formula	Mol. Wt.	State	Form	Temp. Unit					Range (Units of T)
						a	b · 10 ²	c · 10 ⁵	d · 10 ⁹	
Acetone	CH ₃ COCH ₃	58.08	l	1	°C	123.0	18.6			
Acetylene	C ₂ H ₂	26.04	g	1	°C	71.96	20.10	-12.78	34.76	-30-60
Air		29.0	g	1	°C	42.43	6.053	-5.033	18.20	0-1200
Ammonia	NH ₃	17.03	g	1	K	28.94	0.4147	0.3191	-1.965	0-1500
Ammonium sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄	132.15	g	1	°C	28.09	0.1965	0.4799	-1.965	273-1800
Benzene	C ₆ H ₆	78.11	l	1	K	35.15	2.954	0.4421	-6.686	0-1200
Isobutane	C ₄ H ₁₀	58.12	g	1	°C	215.9				275-328
n-Butane	C ₄ H ₁₀	58.12	g	1	°C	62.55	23.4			279-350
Isobutene	C ₄ H ₈	56.10	g	1	°C	74.06	32.95	-25.20	77.57	0-1200
Calcium carbide	CaC ₂	64.10	c	2	K	89.46	30.13	-18.91	49.87	0-1200
Calcium carbonate	CaCO ₃	100.09	c	2	K	92.30	27.88	-15.47	34.98	0-1200
Calcium hydroxide	Ca(OH) ₂	74.10	c	1	K	82.88	25.64	-17.27	50.50	0-1200
Calcium oxide	CaO	56.08	c	2	K	68.62	1.19	-8.66 × 10 ¹⁰		298-720
Carbon	C	12.01	c	2	K	82.34	4.975	-12.87 × 10 ¹⁰		273-1033
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	g	1	°C	41.84	2.03	-4.52 × 10 ¹⁰		276-373
Carbon monoxide	CO	28.01	g	1	°C	11.18	1.095	-4.891 × 10 ¹⁰		273-1173
Carbon tetrachloride	CCl ₄	153.84	l	1	K	36.11	4.233	-2.887	7.464	273-1373
Chlorine	Cl ₂	70.91	g	1	°C	28.95	0.4110	0.3548	-2.220	0-1500
Copper	Cu	63.54	c	1	K	93.39	12.98		6.473	273-343
						22.76	0.6117	-1.607		0-1200
										273-1357
Cumene (Isopropyl benzene)	C ₉ H ₁₂	120.19	g	1	°C	139.2	53.76	-39.79	120.5	0-1200
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	84.16	g	1	°C	94.140	49.62	-31.90	80.63	0-1200
Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	70.13	g	1	°C	73.39	39.28	-25.54	68.66	0-1200
Ethane	C ₂ H ₆	30.07	g	1	°C	49.37	13.92	-5.816	7.280	0-1200
Ethyl alcohol (Ethanol)	C ₂ H ₅ OH	46.07	l	1	°C	103.1				0
			l	1	°C	158.8				100
Ethylene	C ₂ H ₄	28.05	g	1	°C	61.34	15.72	-8.749	19.83	0-1200
Ferric oxide	Fe ₂ O ₃	159.70	c	2	K	+40.75	11.47	-6.891	17.66	0-1200
Formaldehyde	CH ₂ O	30.03	g	1	°C	103.4	6.711	-17.72 × 10 ¹⁰		273-1097
Helium	He	4.00	g	1	°C	34.28	4.268	0.0000	-8.694	0-1200
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	86.17	l	1	°C	20.8				A11
			g	1	°C	216.3				20-100
Hydrogen	H ₂	2.016	g	1	°C	137.44	40.85	-23.92	57.66	0-1200
Hydrogen bromide	HBr	80.92	g	1	°C	28.84	0.00765	0.3288	-0.8698	0-1500
Hydrogen chloride	HCl	36.47	g	1	°C	29.10	-0.0227	0.9887	-4.858	0-1200
Hydrogen cyanide	HCN	27.03	g	1	°C	29.13	-0.1341	0.9715	-4.335	0-1200
Hydrogen sulfide	H ₂ S	34.08	g	1	°C	35.3	2.908	1.092		0-1200
Magnesium chloride	MgCl ₂	95.23	c	1	K	33.51	1.547	0.3012	-3.292	0-1500
Magnesium oxide	MgO	40.32	c	2	K	72.4	1.58			273-991
Methane	CH ₄	16.04	g	1	°C	45.44	0.5008	-8.732 × 10 ¹⁰		273-2073
			g	1	°C	34.31	5.469	0.3661	-11.00	0-1200
Methyl alcohol (Methanol)	CH ₃ OH	32.04	l	1	°C	19.87	5.021	1.268	-11.00	273-1500
			g	1	°C	75.86				0
			g	1	°C	82.59				40
Methyl cyclohexane	C ₇ H ₁₄	98.18	g	1	°C	42.93	8.301	-1.87	-8.03	0-700
Methyl cyclopentane	C ₆ H ₁₂	84.16	g	1	°C	121.3	56.53	-37.72	100.8	0-1200
Nitric acid	HNO ₃	63.02	l	1	°C	98.83	45.857	-30.44	83.81	0-1200
Nitric oxide	NO	30.01	g	1	°C	110.0				25
			g	1	°C	29.50	0.8188	-0.2925	0.3652	0-3500

* Adapted in part from D. M. Himmelblau, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 3rd Edition, © 1974, Table E.1. Adapted by permission of Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.

TABLE B.2 (Continued)

Compound	Formula	Mol. Wt.	State	Form	Temp. Unit	a	$b \cdot 10^2$	$c \cdot 10^5$	$d \cdot 10^9$	Range (Units of T)
Nitrogen	N ₂	28.02	g	1	°C	29.00	0.2199	0.5723		
Nitrogen dioxide	NO ₂	46.01	g	1	°C	36.07	3.97	-2.88	-2.871	0-1500
Nitrogen tetroxide	N ₂ O ₄	92.02	g	1	°C	75.7	12.5	-11.3	7.87	0-1200
Nitrous oxide	N ₂ O	44.02	g	1	°C	37.66	4.151	-2.694		0-300
Oxygen	O ₂	32.00	g	1	°C	29.10	1.158	-0.6076	10.57	0-1200
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	72.15	l	1	°C	155.4	43.68		1.311	0-1500
			g	1	°C	114.8	34.09	-18.99		0-36
Propane	C ₃ H ₈	44.09	g	1	°C	68.032	22.59	-13.11	42.26	0-1200
Propylene	C ₃ H ₆	42.08	g	1	°C	59.580	17.71	-10.17	31.71	0-1200
Sodium carbonate	Na ₂ CO ₃	105.99	c	1	K	121			24.60	0-1200
Sodium carbonate decahydrate	Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	286.15	c	1	K	535.6				288-371
Sulfur	S	32.07	c	1	K	15.2	2.68			298
			(Rhombic)							273-368
			c	1	K	18.3	1.84			368-392
			(Monoclinic)							
Sulfuric acid	H ₂ SO ₄	98.08	l	1	°C	139.1	15.59			
Sulfur dioxide	SO ₂	64.07	g	1	°C	38.91	3.904			10-45
Sulfur trioxide	SO ₃	80.07	g	1	°C	48.50	9.188	-3.104	8.606	0-1500
Toluene	C ₇ H ₈	92.13	l	1	°C	148.8		-8.540	32.40	0-1000
			l	1	°C	181.2				0
			g	1	°C	94.18	38.00	-27.86		100
Water	H ₂ O	18.016	l	1	°C	75.4			80.33	0-1200
			g	1	°C	33.46	0.6880	0.7604	-3.593	0-100
										0-1500

TABLE B.5
Properties of Saturated Steam: Pressure Table^a

P(bar)	T(°C)	\hat{V} (m ³ /kg)		\hat{U} (kJ/kg)		\hat{H} (kJ/kg)		
		Water	Steam	Water	Steam	Water	Evaporation	Steam
0.00611	0.01	0.001000	206.2	zero	2375.6	+0.0	2501.6	2501.6
0.008	3.8	0.001000	159.7	15.8	2380.7	15.8	2492.6	2508.5
0.010	7.0	0.001000	129.2	29.3	2385.2	29.3	2485.0	2514.4
0.012	9.7	0.001000	108.7	40.6	2388.9	40.6	2478.7	2519.3
0.014	12.0	0.001000	93.9	50.3	2392.0	50.3	2473.2	2523.5
0.016	14.0	0.001001	82.8	58.9	2394.8	58.9	2468.4	2527.3
0.018	15.9	0.001001	74.0	66.5	2397.4	66.5	2464.1	2530.6
0.020	17.5	0.001001	67.0	73.5	2399.6	73.5	2460.2	2533.6
0.022	19.0	0.001002	61.2	79.8	2401.7	79.8	2456.6	2536.4
0.024	20.4	0.001002	56.4	85.7	2403.6	85.7	2453.3	2539.0
0.026	21.7	0.001002	52.3	91.1	2405.4	91.1	2450.2	2541.3
0.028	23.0	0.001002	48.7	96.2	2407.1	96.2	2447.3	2543.6
0.030	24.1	0.001003	45.7	101.0	2408.6	101.0	2444.6	2545.6
0.035	26.7	0.001003	39.5	111.8	2412.2	111.8	2438.5	2550.4
0.040	29.0	0.001004	34.8	121.4	2415.3	121.4	2433.1	2554.5
0.045	31.0	0.001005	31.1	130.0	2418.1	130.0	2428.2	2558.2
0.050	32.9	0.001005	28.2	137.8	2420.6	137.8	2423.8	2561.6
0.060	36.2	0.001006	23.74	151.5	2425.1	151.5	2416.0	2567.5
0.070	39.0	0.001007	20.53	163.4	2428.9	163.4	2409.2	2572.6
0.080	41.5	0.001008	18.10	173.9	2432.3	173.9	2403.2	2577.1
0.090	43.8	0.001009	16.20	183.3	2435.3	183.3	2397.9	2581.1
0.10	45.8	0.001010	14.67	191.8	2438.0	191.8	2392.9	2584.8
0.11	47.7	0.001011	13.42	199.7	2440.5	199.7	2388.4	2588.1
0.12	49.4	0.001012	12.36	206.9	2442.8	206.9	2384.3	2591.2
0.13	51.1	0.001013	11.47	213.7	2445.0	213.7	2380.4	2594.0
0.14	52.6	0.001013	10.69	220.0	2447.0	220.0	2376.7	2596.7
0.15	54.0	0.001014	10.02	226.0	2448.9	226.0	2373.2	2599.2
0.16	55.3	0.001015	9.43	231.6	2450.6	231.6	2370.0	2601.6
0.17	56.6	0.001015	8.91	236.9	2452.3	236.9	2366.9	2603.8
0.18	57.8	0.001016	8.45	242.0	2453.9	242.0	2363.9	2605.9
0.19	59.0	0.001017	8.03	246.8	2455.4	246.8	2361.1	2607.9
0.20	60.1	0.001017	7.65	251.5	2456.9	251.5	2358.4	2609.9
0.22	62.2	0.001018	7.00	260.1	2459.6	260.1	2353.3	2613.5
0.24	64.1	0.001019	6.45	268.2	2462.1	268.2	2348.6	2616.8
0.26	65.9	0.001020	5.98	275.6	2464.4	275.7	2344.2	2619.9
0.28	67.5	0.001021	5.58	282.7	2466.5	282.7	2340.0	2622.7
0.30	69.1	0.001022	5.23	289.3	2468.6	289.3	2336.1	2625.4
0.35	72.7	0.001025	4.53	304.3	2473.1	304.3	2327.2	2631.5
0.40	75.9	0.001027	3.99	317.6	2477.1	317.7	2319.2	2636.9
0.45	78.7	0.001028	3.58	329.6	2480.7	329.6	2312.0	2641.7
0.50	81.3	0.001030	3.24	340.5	2484.0	340.6	2305.4	2646.0
0.55	83.7	0.001032	2.96	350.6	2486.9	350.6	2299.3	2649.9
0.60	86.0	0.001033	2.73	359.9	2489.7	359.9	2293.6	2653.6
0.65	88.0	0.001035	2.53	368.5	2492.2	368.6	2288.3	2656.9
0.70	90.0	0.001036	2.36	376.7	2494.5	376.8	2283.3	2660.1
0.75	91.8	0.001037	2.22	384.4	2496.7	384.5	2278.6	2663.0
0.80	93.5	0.001039	2.087	391.6	2498.8	391.7	2274.1	2665.8
0.85	95.2	0.001040	1.972	398.5	2500.8	398.6	2269.8	2668.4
0.90	96.7	0.001041	1.869	405.1	2502.6	405.2	2265.6	2670.9
0.95	98.2	0.001042	1.777	411.4	2504.4	411.5	2261.7	2673.2
1.00	99.6	0.001043	1.694	417.4	2506.1	417.5	2257.9	2675.4
1.01325 (1 atm)	100.0	0.001044	1.673	419.0	2506.5	419.1	2256.9	2676.0

^a From R. W. Haywood, *Thermodynamic Tables in SI (Metric) Units*, Cambridge University Press, London, 1968. \hat{V} = specific volume, \hat{U} = specific internal energy, and \hat{H} = specific enthalpy. Note: kJ/kg \times 0.4303 = Btu/lb_m.

P(bar)	T(°C)	\hat{V} (m ³ /kg)		\hat{U} (kJ/kg)		\hat{H} (kJ/kg)		
		Water	Steam	Water	Steam	Water	Evaporation	Steam
1.1	102.3	0.001046	1.549	428.7	2509.2	428.8	2250.8	2679.6
1.2	104.8	0.001048	1.428	439.2	2512.1	439.4	2244.1	2683.4
1.3	107.1	0.001049	1.325	449.1	2514.7	449.2	2237.8	2687.0
1.4	109.3	0.001051	1.236	458.3	2517.2	458.4	2231.9	2690.3
1.5	111.4	0.001053	1.159	467.0	2519.5	467.1	2226.2	2693.4
1.6	113.3	0.001055	1.091	475.2	2521.7	475.4	2220.9	2696.2
1.7	115.2	0.001056	1.057	483.0	2523.7	483.2	2215.7	2699.0
1.8	116.9	0.001058	0.977	490.5	2525.6	490.7	2210.8	2701.5
1.9	118.6	0.001059	0.929	497.6	2527.5	497.8	2206.1	2704.0
2.0	120.2	0.001061	0.885	504.5	2529.2	504.7	2201.6	2706.3
2.2	123.3	0.001064	0.810	517.4	2532.4	517.6	2193.0	2710.6
2.4	126.1	0.001066	0.746	529.4	2535.4	529.6	2184.9	2714.5
2.6	128.7	0.001069	0.693	540.6	2538.1	540.9	2177.3	2718.2
2.8	131.2	0.001071	0.646	551.1	2540.6	551.4	2170.1	2721.5
3.0	133.5	0.001074	0.606	561.1	2543.0	561.4	2163.2	2724.7
3.2	135.8	0.001076	0.570	570.6	2545.2	570.9	2156.7	2727.6
3.4	137.9	0.001078	0.538	579.6	2547.2	579.9	2150.4	2730.3
3.6	139.9	0.001080	0.510	588.1	2549.2	588.5	2144.4	2732.9
3.8	141.8	0.001082	0.485	596.4	2551.0	596.8	2138.6	2735.3
4.0	143.6	0.001084	0.462	604.2	2552.7	604.7	2133.0	2737.6
4.2	145.4	0.001086	0.442	611.8	2554.4	612.3	2127.5	2739.8
4.4	147.1	0.001088	0.423	619.1	2555.9	619.6	2122.3	2741.9
4.6	148.7	0.001089	0.405	626.2	2557.4	626.7	2117.2	2743.9
4.8	150.3	0.001091	0.389	633.0	2558.8	633.5	2112.2	2745.7
5.0	151.8	0.001093	0.375	639.6	2560.2	640.1	2107.4	2747.5
5.5	155.5	0.001097	0.342	655.2	2563.3	655.8	2095.9	2751.7
6.0	158.8	0.001101	0.315	669.8	2566.2	670.4	2085.0	2755.5
6.5	162.0	0.001105	0.292	683.4	2568.7	684.1	2074.7	2758.9
7.0	165.0	0.001108	0.273	696.3	2571.1	697.1	2064.9	2762.0
7.5	167.8	0.001112	0.2554	708.5	2573.3	709.3	2055.5	2764.8
8.0	170.4	0.001115	0.2403	720.0	2575.5	720.9	2046.5	2767.5
8.5	172.9	0.001118	0.2268	731.1	2577.1	732.0	2037.9	2769.9
9.0	175.4	0.001121	0.2148	741.6	2578.8	742.6	2029.5	2772.1
9.5	177.7	0.001124	0.2040	751.8	2580.4	752.3	2021.4	2774.2
10.0	179.9	0.001127	0.1943	761.5	2581.9	762.6	2013.6	2776.2
10.5	182.0	0.001130	0.1855	770.8	2583.3	772.0	2005.9	2778.0
11.0	184.1	0.001133	0.1774	779.9	2584.5	781.1	1998.5	2779.7
11.5	186.0	0.001136	0.1700	788.6	2585.8	789.9	1991.3	2781.3
12.0	188.0	0.001139	0.1632	797.1	2586.9	798.4	1984.3	2782.7
12.5	189.8	0.001141	0.1569	805.3	2588.0	806.7	1977.4	2784.1
13.0	191.6	0.001144	0.1511	813.2	2589.0	814.7	1970.7	2785.4
14	195.0	0.001149	0.1407	828.5	2590.8	830.1	1957.7	2787.8
15	198.3	0.001154	0.1317	842.9	2592.4	844.7	1945.2	2789.9
16	201.4	0.001159	0.1237	856.7	2593.8	858.6	1933.2	2791.7
17	204.3	0.001163	0.1166	869.9	2595.1	871.8	1921.5	2793.4
18	207.1	0.001168	0.1103	882.5	2596.3	884.6	1910.3	2794.8
19	209.8	0.001172	0.1047	894.6	2597.3	896.8	1899.3	2796.1
20	212.4	0.001177	0.0995	906.2	2598.2	908.6	1888.6	2797.2
21	214.9	0.001181	0.0949	917.5	2598.9	920.0	1878.2	2798.2
22	217.2	0.001185	0.0907	928.3	2599.6	931.0	1868.1	2799.1
23	219.6	0.001189	0.0868	938.9	2600.2	941.6	1858.2	2799.8
24	221.8	0.001193	0.0832	949.1	2600.7	951.9	1848.5	2800.4
25	223.9	0.001197	0.0799	959.0	2601.2	962.0	1839.0	2800.9
26	226.0	0.001201	0.0769	968.6	2601.5	971.7	1829.6	2801.4
27	228.1	0.001205	0.0740	978.0	2601.8	981.2	1820.5	2801.7
28	230.0	0.001209	0.0714	987.1	2602.1	990.5	1811.5	2802.0
29	232.0	0.001213	0.0689	996.0	2602.3	999.5	1802.6	2802.2
30	233.8	0.001216	0.0666	1004.7	2602.4	1008.4	1793.9	2802.3
32	237.4	0.001224	0.0624	1021.5	2602.5	1025.4	1776.9	2802.3
34	240.9	0.001231	0.0587	1037.6	2602.5	1041.8	1760.3	2802.1

TABLE B.5 (Continued)

P(bar)	T(°C)	\hat{V} (m ³ /kg)		\hat{U} (kJ/kg)		\hat{H} (kJ/kg)		
		Water	Steam	Water	Steam	Water	Evaporation	Steam
36	244.2	0.001238	0.0554	1053.1	2602.2	1057.6	1744.2	2801.7
38	247.3	0.001245	0.0524	1068.0	2601.9	1072.7	1728.4	2801.1
40	250.3	0.001252	0.0497	1082.4	2601.3	1087.4	1712.9	2800.3
42	253.2	0.001259	0.0473	1096.3	2600.7	1101.6	1697.8	2799.4
44	256.0	0.001266	0.0451	1109.8	2599.9	1115.4	1682.9	2798.3
46	258.8	0.001272	0.0430	1122.9	2599.1	1128.8	1668.3	2797.1
48	261.4	0.001279	0.0412	1135.6	2598.1	1141.8	1653.9	2795.7
50	263.9	0.001286	0.0394	1148.0	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2
52	266.4	0.001292	0.0378	1160.1	2595.9	1166.8	1625.7	2792.6
54	268.8	0.001299	0.0363	1171.9	2594.6	1178.9	1611.9	2790.8
56	271.1	0.001306	0.0349	1183.5	2593.3	1190.8	1598.2	2789.0
58	273.3	0.001312	0.0337	1194.7	2591.9	1202.3	1584.7	2787.0
60	275.6	0.001319	0.0324	1205.8	2590.4	1213.7	1571.3	2785.0
62	277.7	0.001325	0.0313	1216.6	2588.8	1224.8	1558.0	2782.9
64	279.8	0.001332	0.0302	1227.2	2587.2	1235.7	1544.9	2780.6
66	281.8	0.001338	0.0292	1237.6	2585.5	1246.5	1531.9	2778.3
68	283.8	0.001345	0.0283	1247.9	2583.7	1257.0	1518.9	2775.9
70	285.8	0.001351	0.0274	1258.0	2581.8	1267.4	1506.0	2773.5
72	287.7	0.001358	0.0265	1267.9	2579.9	1277.6	1493.3	2770.9
74	289.6	0.001364	0.0257	1277.6	2578.0	1287.7	1480.5	2768.3
76	291.4	0.001371	0.0249	1287.2	2575.9	1297.6	1467.9	2765.5
78	293.2	0.001378	0.0242	1296.7	2573.8	1307.4	1455.3	2762.8
80	295.0	0.001384	0.0235	1306.0	2571.7	1317.1	1442.8	2759.9
82	296.7	0.001391	0.0229	1315.2	2569.5	1326.6	1430.3	2757.0
84	298.4	0.001398	0.0222	1324.3	2567.2	1336.1	1417.9	2754.0
86	300.1	0.001404	0.0216	1333.3	2564.9	1345.4	1405.5	2750.9
88	301.7	0.001411	0.0210	1342.2	2562.6	1354.6	1393.2	2747.8

90	303.3	0.001418	0.02050	1351.0	2560.1	1363.7	1380.9	2744.6
92	304.9	0.001425	0.01996	1359.7	2557.7	1372.8	1368.6	2741.4
94	306.4	0.001432	0.01945	1368.2	2555.2	1381.7	1356.3	2738.0
96	308.0	0.001439	0.01897	1376.7	2552.6	1390.6	1344.1	2734.7
98	309.5	0.001446	0.01849	1385.2	2550.0	1399.3	1331.9	2731.2
100	311.0	0.001453	0.01804	1393.5	2547.3	1408.0	1319.7	2727.7
105	314.6	0.001470	0.01698	1414.1	2540.4	1429.5	1289.2	2718.7
110	318.0	0.001489	0.01601	1434.2	2533.2	1450.6	1258.7	2709.3
115	321.4	0.001507	0.01511	1454.0	2525.7	1471.3	1228.2	2699.5
120	324.6	0.001527	0.01428	1473.4	2517.8	1491.8	1197.4	2689.2
125	327.8	0.001547	0.01351	1492.7	2509.4	1512.0	1166.4	2678.4
130	330.8	0.001567	0.01280	1511.6	2500.6	1532.0	1135.0	2667.0
135	333.8	0.001588	0.01213	1530.4	2491.3	1551.9	1103.1	2655.0
140	336.6	0.001611	0.01150	1549.1	2481.4	1571.6	1070.7	2642.4
145	339.4	0.001634	0.01090	1567.5	2471.0	1591.3	1037.7	2629.1
150	342.1	0.001658	0.01034	1586.1	2459.9	1611.0	1004.0	2615.0
155	344.8	0.001683	0.00981	1604.6	2448.2	1630.7	969.6	2600.3
160	347.3	0.001710	0.00931	1623.2	2436.0	1650.5	934.3	2584.9
165	349.8	0.001739	0.00883	1641.8	2423.1	1670.5	898.3	2568.8
170	352.3	0.001770	0.00837	1661.6	2409.3	1691.7	859.9	2551.6
175	354.6	0.001803	0.00793	1681.8	2394.6	1713.3	820.0	2533.3
180	357.0	0.001840	0.00750	1701.7	2378.9	1734.8	779.1	2513.9
185	359.2	0.001881	0.00708	1721.7	2362.1	1756.5	736.6	2493.1
190	361.4	0.001926	0.00668	1742.1	2343.8	1778.7	692.0	2470.6
195	363.6	0.001977	0.00628	1763.2	2323.6	1801.8	644.2	2446.0
200	365.7	0.00204	0.00588	1785.7	2300.8	1826.5	591.9	2418.4
205	367.8	0.00211	0.00546	1810.7	2274.4	1853.9	532.5	2386.4
210	369.8	0.00220	0.00502	1840.0	2242.1	1886.3	461.3	2347.6
215	371.8	0.00234	0.00451	1878.6	2198.1	1928.9	366.2	2295.2
220	373.7	0.00267	0.00373	1952	2114	2011	185	2196
221.2 (Critical point)	374.15	0.00317	0.00317	2038	2038	2108	0	2108