

BAB I

PENDAHULUAN

Tujuan Intruksional Umum (TIU)

Mahasiswa diharapkan dapat merencanakan suatu bangunan air berdasarkan konsep mekanika fluida, teori hidrostatis dan hidrodinamika.

Tujuan Intruksional Khusus (TIK)

1. Mahasiswa dapat menjelaskan sejarah mekanika fluida
2. Mahasiswa dapat menjelaskan definisi dan ruang lingkup mekanika fluida
3. Mahasiswa dapat menjelaskan sifat-sifat umum fluida cair dan gas
4. Mahasiswa dapat menjelaskan perbedaan utama fluida dan zat padat
5. Mahasiswa dapat menjelaskan jenis-jenis aliran dalam fluida
6. Mahasiswa dapat menjelaskan dimensi dan satuan dalam ilmu mekanika fluida

1.1. Sejarah Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah suatu ilmu yang mempelajari perilaku fluida baik dalam keadaan diam (*static*) maupun bergerak (*dynamic*) serta akibat interaksi dengan media batasnya (zat padat atau fluida dengan γ lain). Seperti kebanyakan disiplin ilmu lainnya, mekanika fluida mempunyai sejarah panjang dalam pencapaian hasil-hasil pokok hingga menuju ke *era modern* seperti sekarang ini.

Pada masa prasejarah, kebudayaan-kebudayaan kuno sudah memiliki pengetahuan yang cukup untuk memecahkan persoalan-persoalan aliran tertentu. Sebagai contoh perahu layar yang sudah dilengkapi dengan dayung dan sistem pengairan untuk pertanian sudah dikenal pada masa itu. Pada abad ketiga sebelum Masehi, Archimedes dan Hero dari Iskandariah, memperkenalkan hukum jajaran genjang untuk penjumlahan vektor. Selanjutnya Archimedes (285-212 SM) merumuskan hukum apung dan menerapkannya pada benda-benda terapung atau

melayang, dan juga memperkenalkan bentuk kalkulus differensial sebagai bagian dari analisisnya.

Sejak permulaan Masehi sampai zaman *Renaissance* terus menerus terjadi perbaikan dalam rancangan sistem-sistem aliran, seperti: kapal, saluran, dan talang air. Akan tetapi tidak ada bukti-bukti adanya perbaikan yang mendasar dalam analisis alirannya. Akhirnya kemudian Leonardo da Vinci (1452-1519) menjabarkan persamaan kekekalan massa dalam aliran tunak satu-dimensi. Leonardo da Vinci adalah ahli eksperimen yang ulung, dan catatan-catatannya berisi diskripsi yang seksama tentang gelombang, jet atau semburan, loncatan hidraulik, pembentukan pusaran, dan rancangan-rancangan seretan-rendah (bergaris-alir) serta seretan-tinggi (parasut). Galileo (1564-1642) memperkenalkan beberapa hukum tentang ilmu mekanika. Seorang Perancis, Edme Moriotte (1642-1684) membangun terowongan angin yang pertama dan menguji model-model di dalamnya.

Soal-soal yang menyangkut momentum fluida akhirnya dapat dianalisis setelah Isaac Newton (1642-1727) memperkenalkan hukum-hukum gerak dan hukum kekentalan untuk fluida linear yang sekarang dinamakan fluida Newton. Teori itu mula-mula didasarkan atas asumsi fluida ideal (sempurna) dan tanpa gesekan, dan para matematikawan abad kedelapan belas seperti: Daniel Bernoulli dan Leonhard Euler (Swiss), Clairaut dan D'Alembert (Perancis), Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Pierre-Simon Laplace (1749-1827), dan Gerstner (1756-1832), mengembangkan ilmu matematika untuk mekanika fluida (Hidrodinamika), dan banyak menghasilkan penyelesaian-penyelesaian dari soal-

soal aliran tanpa gesekan. Euler mengembangkan persamaan gerak diferensial dan bentuk integralnya, yang sekarang disebut persamaan Bernoulli. D'Alembert memakai persamaan ini untuk menampilkan paradoksnya bahwa suatu benda yang terbenam di dalam fluida tanpa gesekan mempunyai seretan nol, sedangkan Gerstner memakai persamaan Bernoulli untuk menganalisis gelombang permukaan.

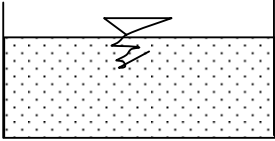

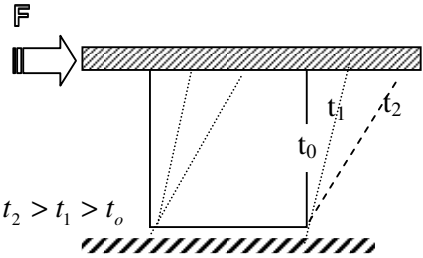
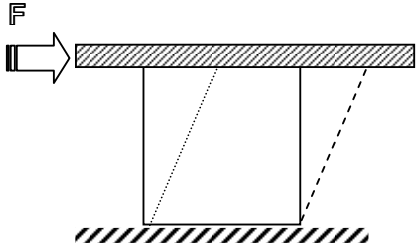
Hasil-hasil ini merupakan hal yang berlebihan, karena asumsi fluida sempurna dalam praktek hanya mempunyai penerapan yang sangat terbatas dan kebanyakan aliran di bidang teknik sangat dipengaruhi oleh efek kekentalan. Para ahli teknik mulai menolak teori yang sama sekali tidak realistis itu, dan mulai mengembangkan hidraulika yang bertumpu pada eksperimen. Ahli-ahli eksperimen seperti Pitot, Chezy, Borda, Bossut, Coulomb (1736-1806), Weber (1804-1891), Francis (1815-1892), Russel (1808-1882), Hagen (1797-1889), Frenchman Poiseuille (1799-1869), Frenchman Darcy (1803-1858), Manning (1816-1897), Bazin (1829-1917), dan Saxon Weisbach (1806-1871) banyak menghasilkan data tentang beraneka ragam aliran seperti saluran terbuka, hambatan kapal, aliran melalui pipa, gelombang, dan turbin.

Pada akhir abad kesembilan belas, hidraulika eksperimental dan hidrodinamika teoritis mulai dipadukan. William Froude (1810-1879) dan putranya, Robert (1842-1924) mengembangkan hukum-hukum pengujian model, Lord Rayleigh (1842-1919) mengusulkan metode analisis dimensional, dan Osborne Reynolds (1842-1912) memperkenalkan bilangan Reynolds takberdimensi yang diambil dari namanya sendiri. Sementara itu, sejak Navier

(1785-1836) dan Stokes (1819-1903) menambahkan suku-suku kental Newton pada persamaan gerak dan dikenal dengan persamaan Navier-Stokes, belum dapat digunakan untuk aliran sembarang. Selanjutnya pada tahun 1904, setelah seorang insinyur Jerman, Ludwig Prandtl (1875-1953), menerbitkan makalah yang barangkali paling penting yang pernah ditulis orang di bidang mekanika fluida. Prandtl menunjukkan bahwa aliran fluida yang kekentalannya rendah, seperti aliran air atau aliran udara, dapat dipilah menjadi suatu lapisan kental (lapisan batas) di dekat permukaan zat padat dan antar muka, dan lapisan luar yang hampir encer yang memenuhi persamaan Euler dan Bernoulli. Teori lapis batas ternyata merupakan salah satu alat yang paling penting dalam analisis-analisis aliran modern, disamping teori yang dikembangkan oleh Theodore von Karman (1881-1963) dan Sir Geoffrey I. Taylor (1886-1975).

1.2. Definisi Fluida

Mekanika fluida melihat semua bahan hanya terdiri atas dua keadaan saja, yaitu fluida dan zat padat. Secara teknis perbedaannya terletak pada reaksi kedua zat tersebut terhadap tegangan geser atau tegangan singgung yang dialaminya. Zat padat dapat menahan tegangan geser dengan deformasi yang tetap (*static*), sedangkan fluida, betapapun kecilnya tegangan geser yang diberikan, akan menyebabkan fluida itu bergerak. Fluida itu bergerak dan berubah bentuk secara terus-menerus selama tegangan geser itu bekerja. Oleh karena itu fluida yang diam (*hydrostatic*) berarti dalam keadaan tegangan gesernya nol. Secara lengkap perhatikan Gambar 1.1 di bawah ini.

Fluida	Zat padat
1. Ikatan partikel-partikel fluida dalam skala molekuler cukup kecil.	1. Ikatan partikel-partikelnya dalam skala molekuler cukup besar.
	
2. Menahan tegangan geser dengan deformasi yang dinamis (terus berubah)	2. Menahan tegangan geser dengan deformasi yang tetap
	

Gambar 1.1. Perbedaan mendasar perilaku fluida dan zat padat

Berdasarkan definisi tersebut di atas, maka fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu zat cair dan gas. Perbedaan antara keduanya juga bersifat teknis, yaitu berhubungan dengan akibat gaya kohesif. Zat cair terdiri atas molekul-molekul tetap dan rapat dengan gaya kohesif yang relatif kuat, sehingga cenderung mempertahankan volumenya dan akan membentuk permukaan bebas yang rata dalam medan gravitasi. Sebaliknya gas, karena terdiri dari molekul-molekul yang tidak rapat dengan gaya kohesif yang cukup kecil (dapat diabaikan), sehingga volume gas dapat memuai dengan bebas dan terus berubah.

Fluida dapat juga dibedakan berdasarkan kekentalannya, yaitu fluida nyata (*viscous fluid*) dan fluida ideal (*non viscous fluid*). Fluida nyata adalah fluida yang

memiliki kekentalan, fluida ini dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari contohnya air dan udara. Sedangkan fluida ideal, tidak ada dalam kehidupan sehari-hari dan hanya dipakai dalam teori dan kondisi-kondisi khusus saja.

1.3. Ruang Lingkup Mekanika Fluida

Bumi ini 75% tertutup oleh air (zat cair) dan 100% tertutup oleh udara (gas), oleh karena itu ruang lingkup mekanika fluida sangat luas dan menyentuh hampir seluruh segi kehidupan manusia. Ilmu cuaca, *oceanography* fisis, dan hidrologi bersangkutan dengan aliran-aliran secara alami, seperti juga halnya dengan penelaahan medis atas pernafasan dan peredaran darah. Semua masalah transportasi yang terkait dengan gerak fluida, dengan cabang-cabang khusus yang telah maju dalam aerodinamika pesawat udara dan roket, dan dalam hidrodinamika bahari kapal dan kapal selam.

Di dalam bidang energi, hampir seluruh energi elektrik kita dibangkitkan dengan aliran air (PLTA) atau aliran uap (PLTU) yang memutar turbin. Semua masalah pembakaran yang melibatkan gerak fluida, seperti juga masalah-masalah pengairan, pengendalian banjir, penyediaan air, pembuangan limbah, gerak umpan atau proyektil, dan pembangunan jalur minyak dan gas.

1.4. Tipe Aliran Fluida

Tipe aliran dalam fluida dapat dibedakan menjadi beberapa macam aliran. Sebagai contoh, aliran tunak (*steady*) atau tak tunak (*unsteady*), seragam (*uniform*) atau tak seragam (*non-uniform*), termampatkan (*compressible*) atau tak

termampatkan (*incompressible*), dan subkritis (*sub critical*) atau superkritis (*supercritical*).

Aliran dikatakan tunak (*steady flow*) jika kecepatan (v) tidak berubah (*constant*) selama selang waktu tertentu, sehingga akan berlaku:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (1.1)$$

$$Q = A.V = \text{konstan} \quad (Q_{\text{in}} = Q_{\text{out}}) \quad (1.2)$$

dan apabila kecepatan aliran selalu berubah selama selang waktu tertentu, maka dikatakan aliran tak tunak (*unsteady flow*), sebagai contoh, aliran banjir atau pasang surut, sehingga akan berlaku:

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0 \quad (1.3)$$

$$Q = A.V = \text{tidak konstan} \quad (Q_{\text{in}} \neq Q_{\text{out}}) \quad (1.4)$$

Aliran dikatakan seragam (*uniform flow*) jika kedalaman aliran pada setiap penampang saluran adalah tetap dan jika kedalamannya selalu berubah, maka dikatakan aliran tidak seragam (*non-uniform flow*) atau aliran berubah (*varied flow*). Aliran seragam dapat dibedakan lagi menjadi aliran seragam tunak (*steady uniform flow*) jika kedalaman dan kecepatan alirannya tetap sepanjang saluran.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \text{ dan } \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1.5)$$

dan apabila kedalaman alirannya tetap tetapi kecepatan alirannya selalu berubah sepanjang saluran, maka dikatakan aliran seragam tak tunak (*unsteady uniform flow*), ini tidak mungkin terjadi.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0 \text{ dan } \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1.6)$$

Aliran tak seragam atau berubah juga dapat dibedakan lagi menjadi aliran berubah tunak (*steady varied flow*), yaitu jika kedalaman aliran tidak tetap tetapi kecepatan alirannya tetap.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0 \quad \text{dan} \quad \frac{\partial p}{\partial x} \neq 0 \quad (1.7)$$

dan apabila kedalaman maupun kecepatan alirannya selalu berubah sepanjang saluran, maka dikatakan aliran berubah tak tunak (*unsteady varied flow*).

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0 \quad \text{dan} \quad \frac{\partial p}{\partial x} \neq 0 \quad (1.8)$$

Aliran tak seragam atau berubah dapat juga dibedakan menjadi aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*), yaitu jika kedalaman aliran mendadak berubah pada jarak yang cukup pendek, misalnya aliran yang melewati mercu, bendung atau terjunan. Apabila kedalaman aliran berubah pada jarak yang cukup panjang, maka dikatakan aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*).

Aliran dikatakan termampatkan (*compressible flow*), jika aliran tersebut mengalami perubahan volume bila diberikan tekanan, dan sebaliknya jika tidak mengalami perubahan volume, dikatakan aliran tersebut taktermampatkan (*incompressible flow*).

Jenis aliran berdasarkan besarnya bilangan Froude (F_r), dapat dibedakan menjadi superkritis (*supercritical flow*), subkritis (*sub critical flow*) atau kritis (*critical flow*).

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gy/\alpha}} \quad (1.9)$$

di mana:

v = kecepatan aliran (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

y = kedalaman aliran (m)

α = koefisien energi

jika $F_r > 1$ dikatakan alirannya superkritis, $F_r < 1$ dikatakan aliran subkritis, dan

jika $F_r = 1$ dikatakan aliran kritis.

Aliran juga dapat diklasifikasikan menjadi aliran satu dimensi (*one-dimensional flow*), dua dimensi (*two-dimensional flow*) atau tiga dimensi (*three-dimensional flow*), tergantung dari bilangan gradien kecepatan yang ada. Aliran satu dimensi adalah aliran dimana seluruh fluida dan parameter alirannya diasumsikan tetap terhadap penampang normal aliran, dan hanya ada satu gradien kecepatan, yaitu dalam arah aliran. Di dalam kenyataannya, tidak ada aliran satu dimensi karena adanya beberapa pembatas. Namun demikian, aliran pada sungai dapat didekati dengan aliran satu dimensi (*1-D flow*). Aliran dua dimensi adalah aliran dimana dibedakan dalam beberapa bidang secara paralel, horisontal atau vertikal (2-DH atau 2-DV). Aliran dua dimensi memiliki dua gradien kecepatan. Aliran tiga dimensi adalah aliran dimana parameter alirannya berubah dalam tiga dimensi, sehingga gradien parameter alirannya terdapat dalam tiga arah.

1.5. Dimensi dan Satuan

Dimensi adalah ukuran untuk menyatakan peubah fisika secara kuantitatif. Satuan adalah suatu cara khusus untuk mengaitkan sebuah bilangan dengan

dimensi kuantitatif. Jadi, panjang adalah suatu dimensi yang dapat dikaitkan dengan peubah-peubah seperti jarak, pergeseran, lebar, simpangan, dan ketinggian. Meter atau inci keduanya merupakan satuan numeris untuk menyatakan panjang.

Sistem satuan senantiasa berbeda-beda dari satu negara ke negara lain, walaupun kesepakatan internasional telah dicapai. Pada mulanya banyak dipakai satuan Inggris, karena terlalu banyak menggunakan faktor konversi, maka dianggap rumit dan tidak praktis. Pada tahun 1872 suatu pertemuan internasional di Perancis mengusulkan suatu perjanjian yang disebut Konvensi Metrik, yang ditandatangani oleh 17 negara. Konvensi Metrik merupakan perbaikan atas sistem Inggris, yaitu dengan memperkenalkan sistem desimal. Masalah tetap ada, sebab beberapa negara yang sudah menggunakan sistem metrik pun masih menggunakan sistem Inggris untuk satuan-satuan tertentu, contohnya kalori padahal seharusnya *joule*, *kilopond* padahal seharusnya newton, dan sebagainya. Konferensi umum tentang timbangan dan ukuran diselenggarakan pada tahun 1960 untuk membakukan sistem metrik. Konferensi ini mengusulkan Sistem Satuan Internasional (SI), seperti yang selama ini kita pakai.

Di dalam mekanika fluida hanya ada empat dimensi pokok. Semua dimensi lainnya dapat diturunkan dari keempat dimensi pokok ini. Dimensi pokok itu ialah massa, panjang, waktu dan suhu.

Tabel 1.1. Dimensi-dimensi pokok dalam sistem SI

Dimensi pokok	Satuan
Massa	Kilogram (kg)
Panjang	Meter (m)
Waktu	Sekon (s)
Suhu	Kelvin (K)

Tabel 1.2. Dimensi-dimensi turunan dalam mekanika fluida dalam sistem SI

Dimensi pokok	Satuan
Luas (L^2)	m^2
Volume (L^3)	m^3
Kecepatan (LT^{-1})	m/s
Percepatan (LT^{-2})	m/s^2
Tekanan ($ML^{-1}T^{-2}$)	$Pa=N/m^2$
Kecepatan sudut (T^{-1})	s^{-1}
Energi, kalor, usaha (ML^2T^{-2})	$J=N.m$
Daya (ML^2T^{-3})	$W=J/s$
Kerapatan (ML^{-3})	kg/m^3
Kekentalan ($ML^{-1}T^{-1}$)	$kg/(m.s)$
Kalor spesifik ($L^2T^{-2}\Theta^{-1}$)	$m^2/(s^2.K)$