



UNIVERSITAS JAYABAYA

MODUL MEKANIKA FLUIDA 2

Oleh : DJAMHIR DJAMRUDDIN

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI PROGRAM
STUDI TEKNIK MESIN (S1) JAKARTA**

JAKARTA, 2023

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Yang Maha Esa, karena atas berkat dan Rahmat-Nya HidayahNya, Penulis dapat menyelesaikan Modul ini.

Penulisan Modul ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu kebutuhan Perkuliahan di Teknik Mesin FTI UJ untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin S1 pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya.

Mata kuliah ini merupakan mata kuliah wajib di Program Studi Teknik Mesin.

Metode pembelajaran yang dilakukan yaitu Membahas dan Mendiskusikan tentang Hidrostatika fluida dan dinamika Fluida, Sifat-sifat fluida, Statika fluida yaitu hidrostatika, Kinematika fluida dan kekekalan massa, klasifikasi aliran, kecepatan dan percepatan fluida, stream line, streamfunction, vortisitas, sirkulasi konsep volume kendali, kekekalan massa dan persamaan kontinuitas, persamaan momentum linier, persamaan energi Persamaan-persamaan Gerak untuk fluida tak Viskos dan fluida viskos, Persamaan Euler, Persamaan Bernoulli dan penerapannya. Persamaan-persamaan Gerak untuk fluida tak Viskos dan fluida viskos dan metode penyelesaian Persamaan Navier-Stokes, Persamaan Euler, Persamaan Bernoulli dan penerapannya. Evaluasi yang digunakan pemberian tugas, UTS, dan UAS

Saya menyadari bahwa, masih ada kekurangan dalam penulisan ini dan diharapkan Perbaikan dari berbagai pihak, :

Akhir kata, penulis berharap kepada Allah Yang Maha Esa berkenaan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Modul ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu di Teknik Mesin S1.

Sekian dan terima kasih.

Jakarta, Juni 2023

Penulis

Djamhir Djamruddin

PERTEMUAN1 MEKANIKAFLUIDA 2

MODUL 1 FLUIDA DAN SIFAT-SIFATNYA

1. PENDAHULUAN

Mekanika Fluida :

Mekanika fluida adalah suatu ilmu yang mempelajari atau menganalisa tentang sifat-sifat fluida baik dalam keadaan diam maupun bergerak. Dalam menganalisa sifat-sifat fluida dibutuhkan hukum-hukum dasar seperti :

1. Hukum Kekekalan Massa
2. Hukum Newton II
3. Hukum Termodinimika I
4. Hukum Termodinimika II

Fluida dapat merupakan cairan maupun gas, dalam membedakannya, dapat ditinjau dari sudut Ke-mampatannya (compressibility).

Gas sangat mudah dimampatkan sedangkan cairan sangat sukar dimampatkan. Dalam praktek sehari-hari cairan tidak dapat dimampatkan (totally incompressible). Sehingga dapat didefinisikan bahwa cairan mempunyai density (ρ) konstan.

Untuk gas, *densitasnya* sangat tergantung pada perubahan tekanannya untuk hal tersebut dipakai hukum-hukum *termodinimika* dalam perhitungannya.

Definisi Fluida :

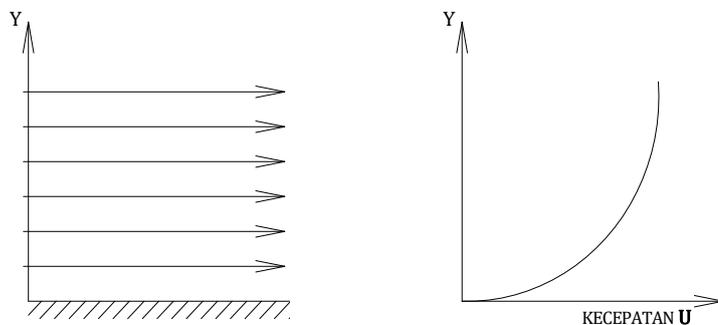
Fluida adalah suatu zat yang bentuknya dapat berubah secara terus menerus akibat adanya suatu gaya geser sebarangpun kecilnya. Sehingga, apabila fluida dalam keadaan diam maka artinya tidak ada gaya geser yang bekerja pada fluida tersebut, seluruh gaya akan tegak lurus pada bidang fluida dimana gaya tersebut bekerja.

Tegangan Geser Pada Fluida Yang Bergerak

Seperti kita ketahui bahwa fluida akan mengalami pergerakan relative antara satu partikel dengan yang lain akibat adanya gaya geser, gerakan relative tersebut akan menyebabkan timbulnya kecepatan yang berbeda-beda pada partikelnya, yang menyebabkan bentuk asli dari fluida tersebut berubah.

Hal-hal umum yang sering kita dapat lihat seperti pada aliran fluida dalam saluran tertutup, dimana fluida yang berhubungan dengan dinding saluran akan melekat, pada dinding tersebut, oleh karena itu fluida akan mempunyai kecepatan sama dengan dindingnya.

Perhatikan gambar dibawah ini, kecepatan dalam setiap partikel fluida akan bervariasi dalam satu lapisan ke lapisan yang lain sesuai dengan naiknya harga Y.



Misalkan elemen fluida merupakan sebuah empat-persegi panjang ABCD dengan tebal S

1. (tegak lurus) pada bidang gambar

PENDAHULUAN

Mekanika Fluida :

Mekanika fluida adalah suatu ilmu yang mempelajari atau menganalisa tentang sifat-sifat fluida baik dalam keadaan diam maupun bergerak. Dalam menganalisa sifat-sifat fluida dibutuhkan hukum-hukum dasar seperti :

1. Hukum Kekekalan Massa
2. Hukum Newton II
3. Hukum Termodinimika I
4. Hukum Termodinimika II

Fluida dapat merupakan cairan maupun gas, dalam membedakannya, dapat ditinjau dari sudut Kemampatannya (compressibility).

Gas sangat mudah dimampatkan sedangkan cairan sangat sukar dimampatkan. Dalam praktek sehari-hari cairan tidak dapat dimampatkan (totally incompressible). Sehingga dapat didefinisikan bahwa cairan mempunyai density (ρ) konstan.

Untuk gas, *densitasnya* sangat tergantung pada perubahan tekanannya untuk hal tersebut dipakai hukum-hukum *termodinimika* dalam perhitungannya.

Definisi Fluida :

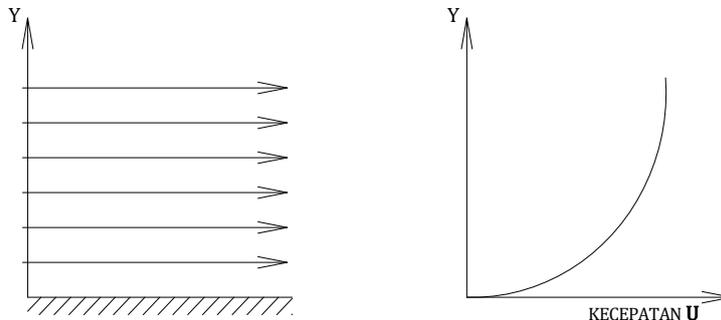
Fluida adalah suatu zat yang bentuknya dapat berubah secara terus menerus akibat adanya suatu gaya geser sebarang kecilnya. Sehingga, apabila fluida dalam keadaan diam maka artinya tidak ada gaya geser yang bekerja pada fluida tersebut, seluruh gaya akan tegak lurus pada bidang fluida dimana gaya tersebut bekerja.

Tegangan Geser Pada Fluida Yang Bergerak

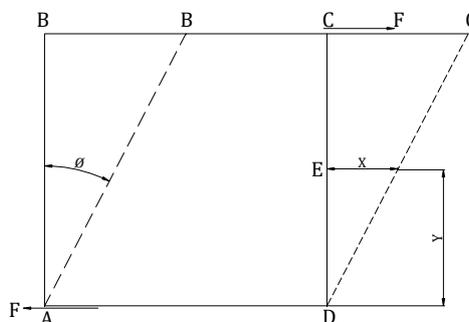
Seperti kita ketahui bahwa fluida akan mengalami pergerakan relative antara satu partikel dengan yang lain akibat adanya gaya geser, gerakan relative tersebut akan menyebabkan timbulnya kecepatan yang berbeda-beda pada partikelnya, yang menyebabkan bentuk asli dari fluida tersebut berubah.

Hal-hal umum yang sering kita dapat lihat seperti pada aliran fluida dalam saluran tertutup, dimana fluida yang berhubungan dengan dinding saluran akan melekat, pada dinding tersebut, oleh karena itu fluida akan mempunyai kecepatan sama dengan dindingnya.

Perhatikan gambar dibawah ini, kecepatan dalam setiap partikel fluida akan bervariasi dalam satu lapisan ke lapisan yang lain sesuai dengan naiknya harga Y .



Misalkan elemen fluida merupakan sebuah empat-persegi panjang ABCD dengan tebal S (tegak lurus) pada bidang gambar



Maka gaya F akan bekerja pada sebuah bidang A , atau bidang $BC \times S$. Sehingga gaya perunit areanya adalah E/A , yang kita mengerti sebagai tegangan geser (τ). Deformasi yang terjadi sebesar sudut θ (regangan geser = *shear strain*) akan seimbang terhadap tegangan gesernya (*shear stress*).

Pada benda padat θ akan mempunyai harga tetap untuk harga yang diberikan. Oleh karena itu benda padat dapat melawan tegangan gesernya secara permanen sebelum melampui titik *yield pointnya*. Lain halnya dengan fluida, regangan geser θ akan secara kontinyu naik sesuai dengan waktu, dan fluida akan tetap mengalir.

Dari percobaan-percobaan yang dilakukan besarnya regangan geser (regangan geser perunit waktunya) akan berbanding lurus dengan tegangan gesernya. Misalkan partikel E dalam t titik bergerak sepanjang x. Jika jarak E terhadap AD adalah y, maka regangan gesernya adalah :

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{x}{y} \\ &= x/t \cdot 1/y : \quad \text{dimana, } x/t = u\end{aligned}$$

Sehingga regangan geser rata-ratanya $\phi = u/y$

Anggaplah dari hasil percobaan mengatakan bahwa tegangan geser (shear stress) berbanding lurus dengan gesernya (shear strain), sehingga :

$$\tau = \text{konstanta} \times u/y$$

Nilai u/y adalah nilai suatu perubahan kecepatan terhadap jarak y, sehingga dapat

Ditulis :

$$\frac{\Delta u}{\Delta y}$$

$$\frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Untuk

$$\Delta y \rightarrow 0, \text{ maka } \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{du}{dy}$$

Dari percobaan konstanta dapat diketahui sebagai μ (*dynamics viscosity*) datp fluida, sehingga :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

yang disebut **Hukum Newton untuk Viscositas.**

Harga μ tergantung dari jenis fluida dengan kondisi yang tertentu.

Perbedaan antara Fluida dengan benda padat :

1. Pada benda padat regangan adalah merupakan tugas fungsi dari tegangan yang bekerja, selama tidak melampui *yield pointnya*
2. Regangan pada benda padat, tidak tergantung pada janngka waktu selama gaya tersebut bekerja dan deformasi akan hilang pada saat gaya yang bekerja (selama tidak melampui *yield poinnya*).

2. SIFAT-SIFAT FLUIDA ALIRAN

Kerapatan (density), volume jenis, dan gravitasi jenis

Kerapatan suatu zat adalah ukuran konsentrasi zat tersebut dan dinyatakan sebagai massa per satuan volume. Misalnya massa (Δm) yang mengelilingi suatu titik dibagi dengan Δv dan diambil llimitnya, jika volume Δv terus diperkecil, dan jika voume menjadi suatu nilai ϵ^3 dimana ρ lebih besar dibandingkan dengan jarak rata-rata antara molekul-molekulnya, maka :

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow \epsilon^3} \frac{\Delta m}{\Delta v}$$

Kebalikan dari kerapatan adalah volume jenis $v = 1/\rho$

Jika temperature maningkat maka jarak rata-rata antara molekul-molekul meningkat (terjadi perenggangan), bila ditinjau dari persamaan diatas hal tersebut menyebabkan kerapatan dari suatu fluida akan menurun.

Gravitasi jenis (S) adalah sifat yang digunakan untuk memperbandingkan kerapatan asuatu zat dengan kerapatan air. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur dan tekanan, maka temperature zay cair yang dipertanyakan serta temperatur air yang dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mmemapatkan harga-harga gravitasi jenis yang tepat :

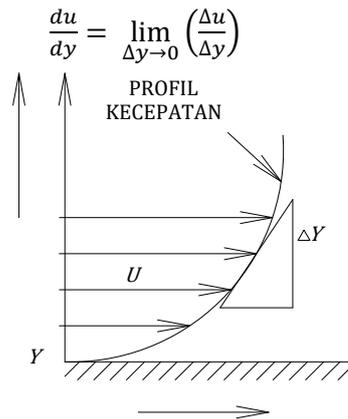
$$S = \rho/\rho_w$$

Viskositas (viscosity)

Viskositas suatu gas bertambah dengan naiknya temperature karena makin besarnya aktivitas molekul ketika temperature meningkat. Teori kinetika untuk gas (dengan mengesampingkan gaya-gaya intermolekuler) menganggap bahwa gerak molekul-molekul gas dengan arah yang acak tumpang tindih dengan gerak fluida rata-rata. Peningkatan temperatur mengurangi kohesi molekuler, dan ini diwujudkan berupa berkurangnya viskositas fluida.

Newton mengemukakan bahwa tegangan geser pada sebuah fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan ruang (spatial rate of change of velocity) yang normal terhadap aliran. Laju kecepatan ruang ini disebut gradient kecepatan (velocity gradient) yang juga merupakan laju deformasi sudut (rate of angular deformation). Dalam gambar dibawah ini, kecepatan u bervariasi dengan jarak y

dari batas pada lokasi A, dan kurva yang berhubungan ujung-ujung vectoe kecepatan disebut profile kecepatan (velocity profile). Gradient kecepatan pada setiap harga y didefinisikan sebagai



Gambar Profil Kecepatan dan Graiden Kecepatan

Sebagaimana tampak dalam gambar diatas tegangan geser T pada suatu harga y adalah

$$T = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)$$

Dengan μ faktor perbandingan yang dikenal sebagai koefisien viskositas dinamik. Apabila fluktuasi ini, yang terdapat dalam ariran-aliran turbulen, dirata-ratakan gerak setiap molekul. Kita membutuhkan hubungan-hubungan tambahan untuk menjelaskan pemindahan atau transfer momentum.

Viskositas dinamik dengan perbandingan tegangan geser terhadap gradient kecepatan sehingga karena itu dimensinya adalah gaya kali waktu peersatuan luas. Atau massa persatuan panjang dan waktu. Satuan viskositas

Dinamika dalam system satuan SI adalah :

$$\mu = \frac{N/m^2}{(m/s)m} = \frac{Ns}{m^2} = \frac{kg}{ms}$$

Viskositas kinematik ν didefinisikan sebagai perbandingan viskositas kinematik dengan kerapatan :

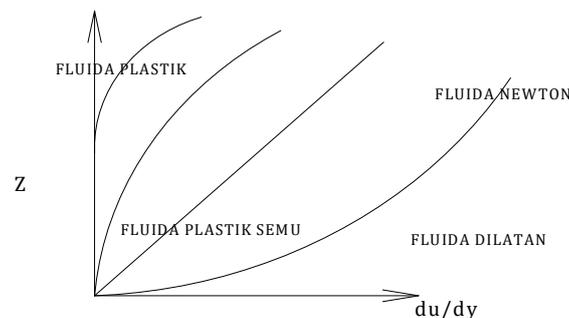
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Dengan dimensi-dimensi luas per satuan waktu (m^2/s) dalam sitem SI.

Viskositas kinematik pada zat cair pada hakikatnya adalah sebuah fungsi temperature karena baik dari viskositas dinamik maupun kerapatan demikian. Jadi, baik harga viskositas dinamik μ maupun viskositas kinematik ν boleh disajikan dalam bentuk grafik atau table sebagai funngsi temperature.

Fluida Newton Dan Fluida Bukan-Newton

Fluida yang koefisien viskositas dinamiknya (μ) bergantung pada temperature dan tekanan namun tidak bergantung pada besar gradient kecepatan disebut fluida Newton (Newtonian fluid). Untuk fluida jenis ini, grafik yang menghubungkan tenggangan geser dengan gradient kecepatan adalah sebuah garis lurus yang melalui titik asal, dan condongnya menyatakan viskositas dinamik $\mu = T/(du/dy)$.



Fluida yang prilaku viskousnya tidak mengikutu persamaan fluida Newton disebut fluida bukan Newton (non-Newtonian fluid). Walaupun fluida bukan-Newton ini bukan fluida yang luar biasa, prilaku viskousnya kompleks dan sering hanya dapat diekspresikan secara kita-kira. Metzner [3] mengklafkasikan fluida kedalam empat golongan :

Fluida viscous Murni

Ini meliputi fluida-fluida Newton dan bukan Newton dengan tegangan geser yang hanya bergantung pada laju geseran dan tidak tergantung pada waktu. Udara dan air termasuk fluida Newton. Gas dan cair yang memiliki berat molekul rendah hampir selalu termasuk fluida Newton, dan untuk fluida-fluida itu $T = \mu (du/dy)$ asalkan alirannya laminar (hanya satu komponen kecepatannya yang tidak nol). Sejumlah persamaan konstitutif yang tidak linier telah digunakan untuk menjelaskan perilaku viscous fluida-fluida viscous yang bukan-Newton. Untuk aliran yang sejajar persamaan-persamaan itu adalah :

1. **Persamaan hukum-pangkat:** $\tau = K \left(\frac{du}{dy}\right)^n$

Dengan K adalah indeks konsistensi dan n indeks perilaku aliran, yang untuk fluida Newton berturut-turut menjadi μ dan 1.

2. **Persamaan Ellis** : $\frac{du}{dy} = \frac{\tau_1}{\tau_0} + \left(\frac{\tau}{K}\right)^{1/n}$

Yang mengoreksi ketidaktepatan persamaan hukum-pangkat untuk laju-laju geseran yang rendah.

3. **Persamaan Bingham** : $\tau = \tau_1 + \mu_\beta \left(\frac{du}{dy}\right)$

Untuk menerangkan perilaku fluida yang bertindak sebagai zat padat apabila tegangan geser kurang dari T_1 dan sebagai fluida Newton apabila tegangan geser lebih besar dari T_1

4. **Persamaan Eyring-Powell dengan tiga parameter** : $\tau = \mu \left(\frac{du}{dy}\right) + C^1 \sinh^{-1} \left(\frac{1}{C^2} \frac{du}{dy}\right)$

Yang tidak eksplisit dalam du/dy , tetapi lebih teliti untuk rentang laju-laju geseran yang lebih besar dibanding persamaan-persamaan terdahulu.

Fluida-fluida hukum-pangkat seperti lumpur, larutan polimer dan polimer-polimer cair (termasuk turunan-turunan selulosa) yang kebanyakan tergolong bukan-Newton mempunyai indeks perilaku aliran n lebih kecil dari satu. Fluida-fluida ini disebut *pseudoplastik* karena viskositasnya seolah-olah berkurang dengan meningkatnya laju geseran-kurva liran menjadi lebih rata apabila laju geseran bertambah. Contoh fluida-fluida Bingham antara lain adalah lumpur sungai, lumpur pengeboran, cat minyak, pasta gigi, dan lumpur septic tank.

Fluida Bergantung pada Waktu

Fluida-fluida yang viskositasnya seolah makin lama makin berkurang meskipun laju geseran tetap disebut fluida tiksotropik; sedangkan yang viskositasnya seolah makin lama makin besar disebut fluida rheopektik. Perilaku ini merupakan karakteristik pasta, gips, lumpur dan suspensi-suspensi zat padat dalam zat cair. Fluida tiksotropik seperti tinta cetak sering menunjukkan efek-efek histeresis.

Fluida Viskoelastik

Bahan-bahan seperti ter, tepung donat, dan beberapa polimer padat atau cair menunjukkan karakteristik baik zat padat elastis maupun fluida viscous.

Sistem-sistem Rheologi yang Lebih Kompleks

Bidang yang mempelajari fluida bukan-Newton merupakan bagian dari ilmu yang disebut rheologi [5]. Sebuah fluida mungkin mempunyai hubungan laju geser-tegangan geser yang mencakup efek-efek magnetohidrodinamik.

Satuan dan besaran

1. **Mass density**

$$\rho = \lim_{\delta v \rightarrow x^3} \frac{\delta m}{\delta v} \quad \text{units : } \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Dimensi} = ML^{-3}$$

Harga standardnya pada

$$p = 1.03 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$T = 288,15^0 \text{ K}$$

$$\text{Udara} = 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

2. **Specific weight :**

$$y = \rho \cdot g \quad \text{units : } \frac{N}{m^3}$$

$$\text{Dimensi : } ML^{-3}T^{-2}$$

$$\text{Udara} = 12,07 \text{ N/m}^3$$

$$\text{Air} = 9,81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$$

3. **Relative density / Specific gravity (s.g)**

Relatif density / specific gravity didefinisikan sebagai perbandingan antara density (ρ) atau specific weight (γ) suatu zat terhadap density (ρ) atau zat specific weight (γ) suatu standar zat, yang pada umumnya standard zat tersebut adalah air pada temperature $4^\circ C$ (untuk zat padat dan cair). Density (ρ) air pada temperature $4^\circ C = 9,81 \text{ N/m}^3$, specific gravity (s.g) atau relative density tidak mempunyai satuan. Untuk gas, standar density yang dipakai adalah (biasanya) udara atau hydrogen pada temperature atau tekanan tertentu. Namun cara ini pada umumnya jarang dipakai.

4. **Viscositas**

4.1 **Dynamic viscosity (viskositas dinamik)**

$$\mu = \left(\frac{N \cdot s}{m^2} \right) = \text{Kg/m} \cdot \text{s} ; \text{seringkali satuan ditulis dalam poise : dimana } 10 \text{ poise} \\ = 1 \text{ kg/ms} = \text{N} \cdot \text{S/m}^2.$$

Standar viskositas dinamik untuk:

$$\text{air} = 1,14 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{S/m}^2$$

$$\text{udara} = 1,78 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{S/m}^2$$

Contoh soal :

Dinamik viscosity dari air pada $60^\circ F$ adalah $1,359 \times 10^{-5} \text{ lb} \cdot \text{sec/ft}^2 = 2,359 \times 47,88 \text{ Nsec/m}^2$. Hitung : Viscositas Kinematik !

Penyelesaian :

$$v = \frac{\mu}{\rho} ; 1 \text{ slug/ft}^2 = 515,4 \text{ kg/m} ; \mu = 2,359 \cdot 10^{-5} \times 47,88$$

$$\rho = 1,938 \cdot \text{slug/ft}^3 = 1,938 \times 510,4 \text{ kg/m}^3 = 998,85 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \frac{1,295 \cdot 10^{-3}}{998,85} = 1,2965 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$$