

MEKANIKA DASAR

Ika Maulita, Fifi Damayanti, Nurul Amalia Silviyanti,
Awal Syahrani Sirajuddin, Widyantoro, Harmailis,
Didiek Hari Nugroho



MEKANIKA DASAR

**Ika Maulita
Fifi Damayanti
Nurul Amalia Silviyanti
Awal Syahrani Sirajuddin
Widyantoro
Harmailis
Didiek Hari Nugroho**



CV HEI PUBLISHING INDONESIA

MEKANIKA DASAR

Penulis:

Ika Maulita
Fifi Damayanti
Nurul Amalia Silviyanti
Awal Syahrani Sirajuddin
Widyantoro
Harmailis
Didiek Hari Nugroho

ISBN: 978-634-7214-04-1

Editor : Purnama Wirawan, S.Si, M.Si

Penyunting : Atyka Trianisa, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak: Ipah Kurnia Putri S.St

Penerbit : CV HEI PUBLISHING INDONESIA

Nomor IKAPI 043/SBA/2023

Redaksi :

Jl. Air Paku No.29 RSUD Rasidin, Kel. Sungai Sapih, Kec Kuranji
Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.HeiPublishing.id
Email : heipublishing.id@gmail.com

Cetakan pertama, April 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah subhanahu wa'taala atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku "Mekanika Dasar", dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini berisikan tentang Besaran, Satuan Dan Dimensi, Skalar Dan Vektor, Kinematika Dalam 1 Garis Lurus, Dinamika Gerak, Usaha - Energi Mekanik, Fluida Statik, Fluida Dinamik.

Semoga buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, dan para profesional di bidang Mekanika Dasar, serta siapa saja yang tertarik mempelajari Mekanika Dasar. Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini, Harapan terbesar buku ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif dalam perkembangan ilmu pengetahuan.

Selamat membaca dan semoga bermanfaat.

Padang, April 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 BESARAN, SATUAN DAN DIMENSI	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Besaran.....	1
1.2.1 Besaran pokok.....	1
1.2.2 Besaran turunan.....	4
1.3 Satuan.....	6
1.3.1 Satuan Dasar dalam Sistem SI	6
1.3.2 Satuan Turunan dalam Sistem SI.....	7
1.4 Dimensi	7
1.5 Aplikasi dalam Kehidupan Sehari-hari	8
1.6 Kesimpulan	8
1.7 Latihan soal	9
DAFTAR PUSTAKA.....	10
BAB 2 VEKTOR DAN SKALAR	11
2.1 Vektor	11
2.1.1 Perbandingan Vektor dan Skalar	11
2.1.2 Aplikasi Vektor dalam Kehidupan Sehari-hari	12
2.1.3 Ciri-ciri Vektor	12
2.1.4 Notasi Vektor	12
2.2 Representasi Vektor.....	13
2.3 Operasi Dasar Pada Vektor	14
2.4 Sifat-sifat Vektor.....	15
2.5 Skalar	21
2.6 Operasi pada Skalar	23
2.7 Keunggulan dan Aplikasi Skalar	23
2.8 Kesimpulan	24
DAFTAR PUSTAKA.....	25
BAB 3 KINEMATIKA DALAM SATU GARIS LURUS	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Gerak lurus	27
3.3 Perpindahan dan Jarak.....	28
3.4 Kecepatan dan Percepatan.....	29

3.4.1 Kecepatan.....	30
3.4.2 Percepatan	31
3.5 GLB dan GLBB.....	32
3.6 Gerak Jatuh Bebas.....	34
3.7 Gerak Vertikal.....	35
3.7.1 Gerak Vertikal Ke Atas.....	35
3.7.2 Gerak Vertikal Ke Bawah	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38
BAB 4 DINAMIKA GERAK.....	39
4.1 Pendahuluan.....	39
4.2 Hukum Newton tentang Gerak.....	40
4.3 Gaya dan Jenis-Jenisnya.....	43
4.4 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)	47
4.5 Gerak Melingkar	48
4.6 Hukum Kekekalan Energi dan Momentum	50
4.7 Tumbukan dan Gerak Relatif	54
4.8 Gerak Harmonik Sederhana (GHS)	56
4.9 Rotasi Benda Tegar	59
4.10 Hukum Kekekalan Energi dan Momentum.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	65
BAB 5 USAHA – ENERGI MEKANIK.....	67
5.1 Pendahuluan.....	67
5.2 Usaha.....	67
5.3 energi mekanik	69
DAFTAR PUSTAKA.....	73
BAB 6 FLUIDA STATIS	75
6.1 Sifat Dasar Fluida.....	75
6.2 Rapat Massa (<i>density</i>).....	76
6.3 Berat Jenis atau Berat Spesifik	76
6.4 Rapat Relatif	77
6.5 Kekentalan Zat Cair (Viskositas).....	77
6.6 Tegangan Permukaan.....	78
6.7 Kapilaritas.....	79
6.8 Tekanan	81
6.8.1 Tekanan pada Suatu Titik (Hukum Pascal)	82
DAFTAR PUSTAKA.....	87

BAB 7 FLUIDA DINAMIK: STUDI HIDRODINAMIKA	
PADA REAKTOR GELEMBUNG PANCARAN	89
7.1 Pendahuluan.....	89
7.2 Teori Dasar Fluida Dinamik dalam Reaktor	
Gelembung Pancaran	90
7.3 Pola Aliran dalam Reaktor Gelembung Pancaran	92
7.4 Distribusi Gelembung, Kedalaman penetrasi	
gelembung dan <i>Hold-up</i> Gas.....	93
7.5 Studi Kasus dan Aplikasi Industri	95
7.6 Kesimpulan dan Prospek Masa Depan	97
DAFTAR PUSTAKA.....	99
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 21. Vektor	16
Gambar 22. Gambar vektor dengan metode polygon.....	17
Gambar 23. Gambar vektor dengan metode jajaran genjang.....	18
Gambar 24. Segitiga siku-siku	19
Gambar 25. Segitiga dengan perbandingan sisi 3 : 4 : 5.....	19
Gambar 26. Segitiga dengan hubungan sudut dan sisi	20
Gambar 27. Vektor dan resultannya	20
Gambar 3.1. Gerak partikel pada lintasan garis lurus.....	27
Gambar 3.2. Gerak translasi, rotasi dan menggelinding	28
Gambar 3.3. Perpindahan dan jarak yang ditempuh oleh partikel.....	29
Gambar 3.4. Benda dengan percepatan dipercepat dan diperlambat.....	31
Gambar 3.5. Percobaan gerak jatuh bebas antara batu dan bulu a) pada tabung dengan udara dan b) pada tabung tanpa udara.....	38
Gambar 6.1. Deformasi zat cair	78
Gambar 6.2. Gaya-gaya molekul di dalam zat cair	78
Gambar 6.3. Tegangan permukaan pada tetesan zat cair.....	79
Gambar 6.4. Kapilaritas	80
Gambar 6.5. Gaya-gaya pada kapilaritas	81
Gambar 6.6. Gaya dan Tekanan	82
Gambar 6.7. Elemen zat cair diam.....	83
Gambar 6.8. Tangki berisi zat cair.....	84
Gambar 6.9. Tekanan hidrostatik	85

BAB 1

BESARAN, SATUAN DAN DIMENSI

Oleh Ika Maulita

1.1 Pendahuluan

Besaran, satuan, dan dimensi adalah konsep mendasar dalam fisika yang memungkinkan kuantifikasi dan perbandingan fenomena fisik. Proses menentukan suatu besaran fisik dinyatakan dalam satuan tertentu. Dimensi menggambarkan hubungan antara besaran fisika dengan satuan dasarnya. Dengan ini, kita dapat memahami hubungan antara besaran seperti kecepatan, waktu, dan panjang secara sistematis. Pemahaman yang tepat tentang besaran, satuan, dan dimensi memberikan landasan yang kokoh untuk mempelajari materi fisika yang lebih kompleks dan mendukung perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

1.2 Besaran

Besaran fisika adalah segala sesuatu yang dapat diukur dan memiliki nilai numerik dalam konteks fisika. Besaran ini bisa berupa kuantitas yang kita amati dan ukur di dunia nyata, seperti panjang, massa, waktu, suhu, dan sebagainya. Setiap besaran memiliki satuan yang digunakan untuk menyatakan ukurannya. Misalnya, panjang diukur dalam satuan meter (m), massa dalam kilogram (kg), dan waktu dalam detik (s). Besaran fisika sangat penting karena mereka menjadi dasar dalam menjelaskan berbagai fenomena alam, seperti gerak, gaya, dan energi. Besaran fisika dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu besaran pokok dan besaran turunan.

1.2.1 Besaran pokok

Besaran pokok merupakan besaran dasar yang digunakan untuk mengukur berbagai fenomena fisika. Besaran pokok tidak dapat dijelaskan atau dinyatakan dalam bentuk kombinasi dari besaran lain.

1. Panjang (L)

Panjang (L) adalah ukuran objek dalam dimensi ruang satu arah atau linear, sering digunakan untuk menyatakan jarak atau ukuran suatu benda. Contohnya, panjang meja adalah jarak antara dua ujungnya. Dalam sistem internasional (SI), satuan panjang adalah meter (m), yang sejak 1983 didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh cahaya dalam ruang hampa selama $1/299.792.458$ detik. Alat ukur panjang bervariasi sesuai kebutuhan ketelitian, seperti penggaris untuk pengukuran sederhana, pita ukur untuk objek besar, dan mikrometer untuk pengukuran yang sangat presisi.

2. Massa (M)

Massa (M) adalah ukuran inersia suatu benda, yaitu ketahanan terhadap perubahan gerak. Semakin besar massa, semakin sulit benda untuk dipercepat atau diperlambat. Dalam fisika, massa juga berkaitan dengan energi melalui persamaan $E=mc^2$, yang menunjukkan hubungan antara massa dan energi. Dalam sistem internasional (SI), satuan massa adalah kilogram (kg), yang sejak 2019 didefinisikan berdasarkan konstanta Planck, menggantikan definisi sebelumnya sebagai massa satu liter air pada suhu 4°C . Massa diukur menggunakan alat seperti timbangan pegas, yang mengukur berdasarkan perubahan panjang pegas, atau timbangan digital, yang menggunakan sensor elektronik untuk hasil yang lebih presisi.

3. Waktu (T)

Waktu (T) adalah besaran yang mengukur durasi atau interval antara dua peristiwa. Waktu sangat penting dalam fisika karena hampir semua fenomena, seperti gerak benda atau perubahan energi, bergantung padanya. Dalam sistem internasional (SI), satuan waktu adalah detik (s), yang didefinisikan berdasarkan $9.192.631.770$ getaran radiasi atom cesium-133. Definisi ini memungkinkan pengukuran waktu dengan presisi tinggi. Alat pengukur waktu bervariasi, mulai dari jam mekanik dan digital untuk kebutuhan sehari-hari hingga stopwatch dan sistem berbasis osilasi elektromagnetik untuk pengukuran yang lebih akurat. Pengukuran waktu berdasarkan osilasi gelombang elektromagnetik.

4. Suhu (θ)

Suhu (θ) menggambarkan tingkat energi termal suatu sistem yang berhubungan dengan gerakan partikel seperti atom dan molekul. Ketika suhu meningkat, energi kinetik partikel juga meningkat, yang dapat menyebabkan perubahan wujud, seperti dari padat menjadi cair atau gas. Dalam sistem internasional (SI), satuan suhu adalah kelvin (K), yang dimulai dari nol mutlak ($0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$), titik di mana tidak ada energi termal yang tersisa. Kelvin digunakan dalam penelitian fisika karena skala ini menghindari nilai negatif. Untuk kebutuhan sehari-hari, suhu sering diukur dalam derajat Celsius ($^\circ\text{C}$) atau Fahrenheit ($^\circ\text{F}$), menggunakan alat seperti termometer, yang mendeteksi perubahan sifat fisik bahan akibat perubahan suhu.

5. Jumlah Zat (N)

Jumlah Zat (N) mengacu pada jumlah partikel dasar, seperti atom, molekul, atau ion, dalam suatu sampel materi. Karena jumlah partikel sangat besar, satuan praktis mol (mol) digunakan untuk mengukurnya. Dalam sistem internasional (SI), satu mol didefinisikan sebagai jumlah partikel yang setara dengan jumlah atom dalam 12 gram karbon-12, yaitu sekitar $6,022 \times 10^{23}$ partikel, yang dikenal sebagai Bilangan Avogadro. Konsep ini mempermudah perhitungan jumlah atom atau molekul dalam zat dalam skala makroskopis.

6. Arus Listrik (I)

Arus Listrik (I) adalah aliran muatan listrik yang terjadi akibat perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam konduktor. Dalam logam, arus listrik disebabkan oleh pergerakan elektron, sedangkan dalam larutan atau plasma, arus disebabkan oleh pergerakan ion. Satuan arus listrik dalam sistem SI adalah ampere (A), yang didefinisikan sebagai aliran muatan sebesar 1 coulomb per detik ($I = \frac{q}{t}$). Arus listrik diukur menggunakan ammeter, yang dihubungkan secara seri dalam rangkaian untuk mendeteksi aliran muatan listrik dengan prinsip medan magnet yang dihasilkan.

7. Intensitas Cahaya (J)

Intensitas Cahaya (J) mengukur jumlah energi cahaya yang diterima oleh suatu permukaan per satuan waktu. Intensitas ini dipengaruhi oleh kekuatan sumber cahaya, jarak dari sumber, sudut cahaya, dan panjang gelombang, karena energi cahaya bervariasi berdasarkan panjang gelombangnya. Dalam sistem internasional (SI), satuan intensitas cahaya adalah candela (cd), yang didefinisikan sebagai intensitas cahaya dalam arah tertentu dari sumber dengan panjang gelombang 540 nanometer (cahaya hijau), menghasilkan energi $1/683$ watt/steradian. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan fotometer, alat yang digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pengukuran pencahayaan ruangan, pengujian lampu, atau bahkan observasi astronomi.

1.2.2 Besaran turunan

Besaran Turunan adalah besaran yang diperoleh dari kombinasi atau operasi matematika antara dua atau lebih besaran pokok. Berbeda dengan besaran pokok yang berdiri sendiri, besaran turunan terdiri dari satuan-satuan dasar dan sering digunakan untuk menggambarkan fenomena yang lebih kompleks dalam fisika.

1. Kecepatan (v)

Kecepatan adalah besaran turunan yang mengukur laju perubahan posisi suatu benda terhadap waktu. Kecepatan menggambarkan seberapa cepat suatu benda bergerak dalam arah tertentu, dan merupakan hasil dari pembagian jarak yang ditempuh dengan waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut. Dalam sistem internasional (SI), satuan kecepatan adalah meter per detik (m/s). Kecepatan bersifat vektor, artinya memiliki besar dan arah. Kecepatan rata-rata dihitung dengan membagi total jarak dengan total waktu, sementara kecepatan sesaat menggambarkan kecepatan benda pada suatu titik waktu tertentu.

2. Percepatan (a)

Percepatan adalah besaran turunan yang mengukur laju perubahan kecepatan suatu benda terhadap waktu. Artinya, percepatan menggambarkan seberapa cepat kecepatan suatu

benda berubah, baik itu semakin cepat (percepatan positif) atau semakin lambat (percepatan negatif atau deselerasi). Percepatan diukur dalam satuan meter per detik kuadrat (m/s^2) dalam sistem SI.

3. Gaya (F)

Gaya adalah besaran turunan yang menggambarkan interaksi yang dapat menyebabkan perubahan dalam gerakan suatu benda, baik itu mempercepat, memperlambat, atau mengubah arah gerakan benda. Gaya diukur dalam satuan newton (N) dalam sistem SI. Satu newton didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memberikan percepatan sebesar 1 meter per detik kuadrat pada suatu benda dengan massa 1 kilogram.

4. Energi Kinetik (KE)

Energi kinetik adalah bentuk energi yang dimiliki oleh suatu benda yang sedang bergerak. Energi ini bergantung pada massa benda dan kecepatan geraknya, dan dihitung menggunakan rumus $KE = \frac{1}{2}mv^2$, di mana (m) adalah massa benda dan (v) adalah kecepatan benda. Satuan energi kinetik dalam sistem SI adalah joule (J). Energi kinetik menjelaskan seberapa banyak energi yang dimiliki benda karena gerakannya, dan dapat berubah menjadi bentuk energi lain, seperti energi potensial atau energi panas, tergantung pada interaksi yang terjadi.

5. Tekanan (P)

Tekanan adalah besaran turunan yang mengukur gaya per satuan luas yang bekerja pada suatu permukaan. Tekanan digunakan untuk menggambarkan interaksi antara fluida (gas atau cair) dan permukaan benda yang terendam atau terpapar fluida tersebut. Tekanan dihitung dengan rumus $P = \frac{F}{A}$, di mana (F) adalah gaya yang bekerja pada permukaan dan (A) adalah luas permukaan tersebut. Satuan tekanan dalam sistem SI adalah pascal (Pa), yang didefinisikan sebagai satu newton per meter persegi (N/m^2). Tekanan sering digunakan dalam banyak bidang, termasuk dalam mekanika fluida, termodinamika, dan teknik mesin.

6. Daya (P)

Daya adalah besaran turunan yang mengukur laju perubahan energi atau kerja yang dilakukan per satuan waktu. Daya

menggambarkan seberapa cepat energi digunakan atau dipindahkan dalam suatu sistem. Daya dihitung dengan rumus $P = \frac{W}{t}$, di mana (W) adalah kerja yang dilakukan dan (t) adalah waktu yang diperlukan. Satuan daya dalam sistem SI adalah watt (W), yang didefinisikan sebagai satu joule per detik (J/s). Daya sangat penting dalam banyak aplikasi fisika dan teknik, seperti dalam pengoperasian mesin, perangkat listrik, dan sistem tenaga.

7. Volume (V)

Volume adalah besaran turunan yang mengukur jumlah ruang tiga dimensi yang ditempati oleh suatu objek atau substansi. Volume digunakan untuk menggambarkan seberapa besar ruang yang dimiliki oleh suatu benda. Dalam sistem SI, satuan volume yang digunakan adalah meter kubik (m³). Volume sangat penting dalam berbagai bidang, seperti dalam kimia (misalnya, volume gas dalam hukum gas ideal), dalam mekanika fluida (misalnya, volume aliran fluida), dan dalam aplikasi sehari-hari (seperti volume air dalam ember atau volume bahan makanan dalam wadah).

1.3 Satuan

Satuan adalah ukuran standar yang dipilih untuk menyatakan besaran fisika tertentu. Satuan Internasional (SI) adalah sistem satuan yang diakui secara internasional dan digunakan di hampir seluruh dunia untuk pengukuran dalam ilmu pengetahuan, teknologi, dan industri. Sistem SI dirancang untuk menyediakan satuan yang konsisten dan standar, sehingga hasil pengukuran dapat dipahami dan dibandingkan di seluruh dunia. SI berdasarkan tujuh besaran pokok, dan dari kombinasi besaran pokok ini, terbentuk satuan turunan yang digunakan untuk mengukur berbagai fenomena fisika lainnya.

1.3.1 Satuan Dasar dalam Sistem SI

Satuan dasar adalah satuan untuk besaran pokok, yaitu besaran yang tidak didefinisikan atau dijelaskan lebih lanjut dengan besaran lainnya. Dalam sistem SI, terdapat tujuh besaran pokok, yaitu:

1. Panjang (meter, m): Mengukur jarak atau dimensi ruang.
2. Massa (kilogram, kg): Mengukur jumlah materi dalam suatu objek.

3. Waktu (detik, s): Mengukur durasi atau interval antara dua kejadian.
4. Suhu (kelvin, K): Mengukur tingkat panas atau dingin suatu benda.
5. Jumlah zat (mol, mol): Mengukur jumlah partikel (atom, molekul, atau ion) dalam suatu sampel.
6. Arus listrik (ampere, A): Mengukur jumlah aliran muatan listrik per detik.
7. Intensitas cahaya (candela, cd): Mengukur terang atau redupnya cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya.

1.3.2 Satuan Turunan dalam Sistem SI

Satuan turunan adalah satuan yang diperoleh dari kombinasi atau operasi matematika antara satuan dasar. Satuan turunan digunakan untuk mengukur besaran yang lebih kompleks, seperti kecepatan, gaya, dan energi, yang membutuhkan lebih dari satu besaran pokok. Beberapa contoh satuan turunan dalam sistem SI adalah:

1. Kecepatan (meter per detik, m/s): Mengukur laju perubahan posisi benda terhadap waktu.
2. Gaya (newton, N): Mengukur pengaruh suatu kekuatan pada benda, yang didefinisikan sebagai $N = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$. Ini menggabungkan satuan massa, panjang, dan waktu.
3. Energi (joule, J): Mengukur kerja atau energi, yang didefinisikan sebagai $J = N \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.
4. Daya (watt, W): Mengukur laju penggunaan energi, didefinisikan sebagai $W = J/\text{s}$.
5. Tekanan (pascal, Pa): Mengukur gaya per satuan luas, yang didefinisikan sebagai $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$.

1.4 Dimensi

Dimensi suatu besaran fisika menunjukkan bagaimana besaran tersebut dapat diturunkan atau dijelaskan melalui satuan dasar dalam sistem SI. Dalam kata lain, dimensi adalah struktur yang menggambarkan sifat dasar dari besaran tersebut. Sekarang, mari kita lihat bagaimana dimensi bekerja pada besaran-besaran dasar dan turunan dalam fisika:

1. Panjang (L): Dimensi panjang adalah ($[L]$), ini adalah besaran dasar yang mengukur jarak atau ukuran ruang. Misalnya, jarak antara dua titik, panjang sebuah meja, atau tinggi gedung—semuanya diukur dalam dimensi panjang.
2. Massa (M): Dimensi massa adalah $[M]$, mengukur jumlah materi dalam objek. Massa digunakan dalam perhitungan gaya, energi, dan banyak hal lainnya. Misalnya, massa sebuah batu atau massa mobil, semuanya berhubungan dengan dimensi massa ini.
3. Waktu (T): Dimensi waktu adalah $[T]$, mengukur durasi atau interval. Waktu digunakan untuk menentukan seberapa cepat sesuatu terjadi—seperti kecepatan atau percepatan—dan dimensi waktu ini selalu berhubungan langsung dengan perubahan.
4. Gaya (F): Gaya memiliki dimensi $[M L T^{-2}]$. Ini berasal dari hukum Newton, di mana gaya bergantung pada massa dan percepatan.
5. Energi (E): Dimensi energi adalah $[M L^2 T^{-2}]$, yang menunjukkan bahwa energi berhubungan dengan massa, panjang, dan waktu.

1.5 Aplikasi dalam Kehidupan Sehari-hari

1. Saat berkendara, kita sering kali melihat pengukuran dalam satuan meter atau kilometer. Di sini, kita menggunakan besaran panjang (meter) untuk mengukur jarak, dan kecepatan (meter per detik atau kilometer per jam) untuk mengetahui seberapa cepat kendaraan bergerak.
2. Ketika menggunakan peralatan elektronik di rumah, kita sering mengukur konsumsi energi listrik dalam satuan kilowatt-jam (kWh).
3. Saat bermain olahraga, konsep gaya dan percepatan memainkan peran yang sangat penting. Misalnya percepatan yang terjadi ketika bola bergerak setelah ditendang,

1.6 Kesimpulan

Memahami besaran, satuan, dan dimensi adalah dasar yang sangat penting untuk mempelajari fisika. Tanpa pemahaman yang jelas tentang ketiganya, akan sulit untuk menyusun dan memahami konsep-konsep fisika yang lebih kompleks. Ketiga elemen ini saling terkait dan membentuk struktur yang memungkinkan kita untuk

mengukur, menghitung, dan menganalisis fenomena fisika dengan akurat dan konsisten.

Besaran adalah konsep fisika yang menggambarkan sesuatu yang dapat diukur, seperti panjang, massa, waktu, dan gaya. Besaran ini bisa bersifat dasar (seperti panjang atau massa) atau turunan (seperti kecepatan atau gaya), yang diperoleh dari kombinasi besaran dasar.

Satuan adalah standar yang digunakan untuk mengukur besaran-besaran tersebut. Dengan adanya satuan, kita dapat memberikan konteks yang jelas terhadap nilai-nilai yang diperoleh, seperti meter (m) untuk panjang, kilogram (kg) untuk massa, dan detik (s) untuk waktu.

Dimensi adalah representasi matematis dari hubungan antara besaran dan satuan dasarnya. Dimensi memungkinkan kita untuk memahami "struktur" suatu besaran tanpa bergantung pada satuan tertentu, dan memberikan kita kemampuan untuk memverifikasi kesesuaian dan konsistensi rumus fisika.

Pemahaman tentang ketiga konsep ini sangat berperan dalam pengembangan ilmu fisika dan teknologi, dari perhitungan dasar hingga aplikasi-aplikasi canggih seperti sistem transportasi, teknologi komunikasi, dan perangkat elektronik. Ketika kita memahami besaran, satuan, dan dimensi, kita dapat lebih mudah menguasai topik-topik fisika lainnya, mulai dari mekanika hingga termodinamika, listrik dan magnetisme, dan bahkan teori relativitas atau kuantum.

1.7 Latihan soal

1. Apa yang dimaksud dengan besaran pokok dan besaran turunan? Berikan masing-masing satu contoh.
2. Tentukan dimensi dari kecepatan dalam satuan meter per detik (m/s). Jelaskan juga hubungan dimensi ini dengan besaran pokok yang terkait.
3. Sebuah mobil bergerak dengan jarak 150 meter dalam waktu 30 detik. Hitung kecepatan mobil tersebut dan berikan satuannya.
4. Berikan perbedaan antara massa dan berat. Sebutkan satuan untuk massa dalam sistem SI dan bagaimana berat dihitung dengan menggunakan massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Escudier, M. P. (2017). Units of Measurement, Dimensions, and Dimensional Analysis. 47–86.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780198719878.003.0003>
- Langtangen, H. P., & Pedersen, G. (2016). Dimensions and Units. 1–15.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-32726-6_1
- Martienssen, W. (2018). The International System of Units (SI), Physical Quantities, and Their Dimensions. 11–24.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-69743-7_2
- Okun, L. B. (2004). Fundamental Units: Physics and Metrology. 57–74.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-40991-5_4
- Skow, B. (2017). The Metaphysics of Quantities and Their Dimensions. 171–198.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198791973.003.0008>
- Sterrett, S. G. (2019). Relations Between Units and Relations Between Quantities. 99–124. <https://doi.org/10.4324/9781351048989-6>

BAB 2

VEKTOR DAN SKALAR

Oleh Fifi Damayanti

2.1 Vektor

Vektor adalah jenis besaran dalam fisika dan matematika yang memiliki nilai (*magnitude*) serta arah. Contoh penerapan besaran vektor meliputi perpindahan (*displacement*), percepatan, gaya, dan kecepatan. Elemen-elemen ini tidak hanya membutuhkan angka untuk menggambarkan nilainya tetapi juga arah yang spesifik untuk memberikan makna yang lengkap. Dalam konteks ini, vektor menjadi sangat penting karena mampu menjelaskan fenomena atau situasi yang tidak bisa diwakili oleh nilai saja, seperti halnya pada besaran skalar.

1. *Magnitude* (Besar atau Panjang)

Magnitude pada vektor merepresentasikan ukuran atau panjangnya. Sebagai ilustrasi, jika sebuah vektor menggambarkan kecepatan suatu benda, maka magnitudenya adalah nilai kecepatan tersebut, umumnya dinyatakan dalam satuan seperti meter per detik (m/s) atau kilometer per jam (km/jam). *Magnitude* dilambangkan dengan simbol $|\vec{v}|$ atau hanya v , dan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$|\vec{v}| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (\text{di 2D}) \quad \text{atau}$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (\text{di 3D})$$

2. Arah

Arah suatu vektor menggambarkan orientasinya dalam ruang tertentu. Biasanya, arah ini dinyatakan relatif terhadap sumbu koordinat atau sistem arah seperti i, j, k , yang merupakan basis vektor pada koordinat Cartesian.

2.1.1 Perbandingan Vektor dan Skalar

Untuk memahami perbedaan antara vektor dan skalar, berikut ini karakteristik utamanya:

1. **Skalar** hanya memiliki **nilai (magnitude)** tanpa melibatkan arah. Contohnya adalah suhu 35°C , massa 5 kg, atau waktu 60 detik.
2. **Vektor**, di sisi lain, mencakup **nilai dan arah**. Contohnya adalah kecepatan 50 km/jam ke arah utara, gaya 10 N ke kanan, atau perpindahan 3 meter ke barat.

2.1.2 Aplikasi Vektor dalam Kehidupan Sehari-hari

1. **Kecepatan**: Pernyataan "10 m/s ke timur" lebih informatif dibanding hanya "10 m/s," karena arah memberikan makna tambahan yang penting.
2. **Perpindahan**: Bergerak sejauh 5 km ke utara berbeda dengan hanya menyebutkan jarak 5 km, karena arah perpindahan memberikan detail tambahan.
3. **Gaya**: Gaya sebesar 20 N diarahkan ke kanan akan memiliki efek yang berbeda daripada gaya yang sama besar tetapi diarahkan ke atas.

2.1.3 Ciri-ciri Vektor

1. **Memiliki Magnitude**: Nilai ini menggambarkan ukuran atau besaran kuantitatif dari vektor, seperti dalam meter (m) atau newton (N).
2. **Memiliki Arah**: Mengindikasikan orientasi vektor, misalnya ke timur, ke atas, atau pada sudut tertentu terhadap sumbu koordinat.
3. **Dapat Direpresentasikan secara Visual**: Biasanya digambarkan sebagai panah pada grafik. Panjang panah menunjukkan magnitudenya, sementara arah panah menunjukkan orientasinya.
4. **Dapat Diuraikan dalam Komponen**: Pada sistem koordinat Cartesius, vektor dapat dipecah menjadi komponen-komponennya, misalnya $\vec{v} = (x, y)$ di 2D, atau $\vec{v} = (x, y, z)$ di 3D.

2.1.4 Notasi Vektor

Vektor dapat dinyatakan dalam beberapa notasi berbeda, tergantung pada konteks penggunaannya:

1. **Huruf Tebal:** Biasanya dilambangkan dengan huruf tebal, seperti \mathbf{v} atau \mathbf{u} .
2. **Simbol Panah:** Sering dituliskan dengan panah kecil di atas huruf, misalnya \vec{v} .
3. **Komponen Vektor:** Dalam sistem koordinat Cartesian, vektor direpresentasikan sebagai pasangan bilangan dalam dimensi tertentu, misalnya $\vec{v} = (x, y)$ di dua dimensi (2D) atau $\vec{v} = (x, y, z)$ di tiga dimensi (3D).
4. **Grafis:** Vektor digambarkan sebagai panah dalam diagram, dengan titik awal dan akhir menunjukkan arah, serta panjang panah menggambarkan besar vektor.
5. **Simbolik:**
 - a. Huruf tebal: \mathbf{v}, \mathbf{u} .
 - b. Dengan Panah: \vec{v}, \vec{u} .
 - c. Dengan komponen: $\vec{v} = (x, y, z)$.

2.2 Representasi Vektor

Vektor dapat digambarkan dalam berbagai cara tergantung pada kebutuhan analisis:

1. **Vektor Geometris**
Biasanya direpresentasikan sebagai panah pada bidang koordinat. Panjang panah menunjukkan magnitudo vektor, dan arah panah menunjukkan orientasi atau arah vektor.
2. **Vektor Posisi**
Menunjukkan posisi relatif suatu titik terhadap titik asal pada sistem koordinat. Sebagai contoh, jika titik $P(x, y, z)$, maka vektor posisi $\vec{r} = (x, y, z)$.
3. **Komponen Cartesian**
Vektor dinyatakan dalam bentuk kombinasi linear sumbu x, y, z , seperti $\vec{v} = ai + bj + ck$, di mana i, j, k adalah vektor satuan pada sumbu-sumbu tersebut.
4. **Unit Vektor:**
Digunakan untuk menunjukkan arah tanpa memperhitungkan besar vektor, misalnya $\vec{v} = 3i + 4j + 5k$ yang berarti vektor memiliki komponen 3 pada sumbu x , 4 pada y , dan 5 pada z .

Komponen Vektor

Vektor dapat dinyatakan dalam bentuk komponen tergantung pada dimensi ruangnya:

1. Dua Dimensi (2D):

Jika vektor \vec{v} memiliki titik awal di $(0,0)$ dan titik akhir di (x, y) , maka dapat ditulis sebagai $\vec{v} = (x, y)$

2. Tiga Dimensi (3D):

Jika titik awalnya di $(0,0,0)$ dan titik akhirnya di (x, y, z) , maka dapat dituliskan sebagai $\vec{v} = (x, y, z)$

2.3 Operasi Dasar Pada Vektor

1. Penjumlahan dan Pengurangan

a. Penjumlahan dilakukan dengan menambahkan komponen-komponen yang sesuai.

$$\vec{u} + \vec{v} = (u_x + v_x, u_y + v_y)$$

b. Pengurangan dilakukan dengan mengurangkan komponen-komponen yang sesuai.

$$\vec{u} - \vec{v} = (u_x - v_x, u_y - v_y)$$

2. Perkalian Skalar dengan Vektor

Ketika sebuah vektor dikalikan dengan skalar, besar vektor berubah tanpa memengaruhi arahnya, kecuali skalar tersebut bernilai negatif, yang akan membalikkan arah vektor tersebut.

$$k \cdot \vec{v} = (k \cdot v_x, k \cdot v_y)$$

3. *Dot Product* (Perkalian Titik)

Hasil dari operasi ini adalah nilai skalar yang menunjukkan hubungan antara dua vektor.

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = u_x \cdot v_x + u_y \cdot v_y$$

4. *Cross Product* (Perkalian Silang)

Operasi ini menghasilkan vektor baru yang tegak lurus terhadap kedua vektor masukan (hanya berlaku dalam tiga dimensi).

$$\vec{u} \times \vec{v} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ u_x & u_y & u_z \\ v_x & v_y & v_z \end{bmatrix}$$

2.4 Sifat-sifat Vektor

1. Komutatif: Penjumlahan vektor tidak tergantung pada urutan, sehingga
$$\vec{u} + \vec{v} = \vec{v} + \vec{u}$$
2. Asosiatif: Kelompok operasi tidak memengaruhi hasil, yaitu
$$(\vec{u} + \vec{v}) + \vec{w} = \vec{u} + (\vec{v} + \vec{w})$$
3. Identitas: Penjumlahan dengan vektor nol tidak mengubah nilai vektor, yaitu
$$\vec{v} + \vec{0} = \vec{v}$$
4. Invers: Vektor memiliki pasangan invers sehingga
$$\vec{v} + (-\vec{v}) = \vec{0}$$

Pentingnya Vektor dalam Ilmu Pengetahuan

1. **Fisika:** Digunakan untuk menggambarkan berbagai fenomena seperti gaya, percepatan, momentum, dan perpindahan.
2. **Matematika:** Konsep vektor menjadi fondasi aljabar linear, kalkulus multivariat, dan geometri analitik.
3. **Rekayasa:** Diterapkan dalam analisis struktur, desain mekanik, hingga simulasi komputer.
4. **Komputer Grafis:** Berperan penting dalam pengaturan posisi, orientasi, dan transformasi objek dalam ruang tiga dimensi.

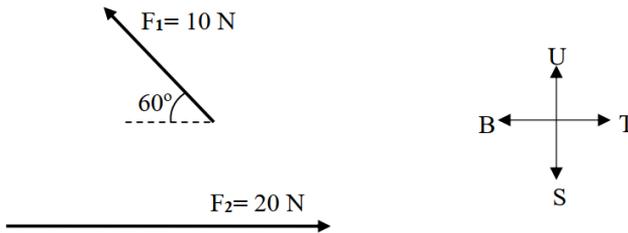
1. Simbol Vektor

Simbol yang digunakan untuk menggambarkan vektor dapat ditulis menggunakan berbagai cara, seperti huruf yang tebal atau huruf yang memiliki panah di atasnya. Sebagai contoh, vektor gaya dapat ditulis dengan simbol F atau \vec{F} . Namun, jika hanya menggambarkan besar (magnitudo) vektor tanpa arah, simbolnya menggunakan huruf biasa atau garis mutlak, misalnya $|F|$ atau $|\vec{F}|$.

Contoh:

- a. Jika sebuah benda diberi gaya sebesar 5 N ke arah timur, penulisannya adalah $F = 5 \text{ N}$ ke timur atau $\vec{F} = 5 \text{ N}$ ke timur
- b. Jika besar gaya 5 N yang disebutkan tanpa arah, maka ditulis sebagai $F = 5 \text{ N}$ atau $|\vec{F}| = 5 \text{ N}$

Vektor secara grafis digambarkan sebagai garis berpanah, di mana titik pangkal menunjukkan awal vektor (titik tangkap), panjang garis merepresentasikan besarnya vektor, dan ujung panah menunjukkan arahnya.



Gambar 21. Vektor
Sumber: id.scribd.com

2. Penjumlahan Vektor

Penjumlahan besaran skalar dan penjumlahan vektor tidak sama. Sebagai contoh:

- Jika massa 3 kg ditambah dengan 4 kg (besaran skalar), hasilnya pasti 7 kg.
- Sebaliknya, jika gaya 3 N dan 4 N dijumlahkan, hasilnya dapat berkisar antara 1 N hingga 7 N, tergantung pada sudut antara kedua vektor.

Penjelasan Hasil:

- Jika dua vektor berlawanan arah (sudut 180°), besar hasilnya adalah 1 N.
- Jika keduanya memiliki arah yang sama (sudut 0°), besar resultannya menjadi 7 N.
- Jika kedua vektor saling tegak lurus (sudut 90°), besar resultannya adalah 5 N.

Metode Penjumlahan Vektor

Ada dua cara utama untuk menghitung penjumlahan vektor:

- Metode Grafis** (seperti metode poligon dan jajaran genjang).
- Metode Analitis** (menggunakan rumus trigonometri).

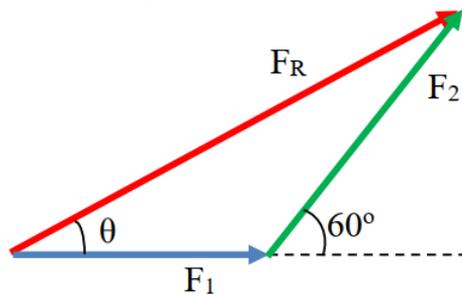
A. Metode Grafis

Untuk menggambar vektor hasil, digunakan alat seperti mistar untuk mengukur panjang garis dan arah busur derajat.

Langkah-Langkah Metode Poligon (Segi Banyak)

1. Tentukan skala, misalnya $1 \text{ N} = 1 \text{ cm}$.
2. Gambarkan vektor pertama (F_1) sebagai garis panah sesuai skala.
3. Letakkan pangkal vektor kedua (F_2) pada ujung vektor pertama.
4. Lanjutkan langkah ini jika ada lebih dari dua vektor.
5. Gambarkan resultan (R) dengan garis panah dari pangkal vektor pertama hingga ujung vektor terakhir.
6. Ukur panjang resultan (R) dan arah sudutnya (θ).

Dengan mengikuti langkah-langkah tersebut, hasil akhirnya dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 2.2 Gambar vektor dengan metode polygon

Sumber: id.scribd.com

Ukur panjang garis F_R , untuk menentukan besar vektor resultan. Gunakan busur derajat untuk mengukur sudut θ , yang menunjukkan arah vektor resultan terhadap garis mendatar. Setelah langkah-langkah tersebut dilakukan, diperoleh $F_R = 6,08 \text{ cm} \approx 6,1 \text{ cm}$ dan $\theta \approx 35^\circ$.

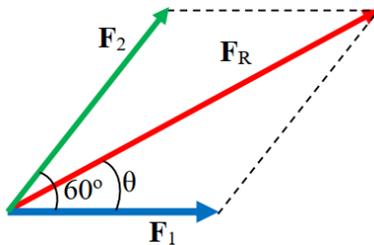
Kesimpulan:

- a. Jika dua vektor dijumlahkan, bentuknya adalah segitiga.
- b. Jika tiga vektor dijumlahkan, bentuknya menjadi segiempat.
- c. Jika tujuh vektor, bentuknya menjadi segi delapan, dan seterusnya.

Metode Jajaran genjang:

1. Gambarkan vektor pertama (F_1) dan vektor kedua (F_2) dengan titik pangkal yang sama.
2. Buat pola jajaran genjang dengan menjadikan kedua vektor tersebut sebagai sisi-sisinya.
3. Gambarkan resultan sebagai diagonal jajaran genjang yang dimulai dari titik pangkal kedua vektor.

Jika langkah-langkah ini diikuti, akan terbentuk ilustrasi seperti berikut:



Gambar 2.3. Gambar vektor dengan metode jajaran genjang

Sumber: id.scribd.com

Dengan mengukur panjang garis F_R , besar vektor resultan dapat ditentukan. Untuk mengetahui arah resultan terhadap garis horizontal, gunakan busur derajat untuk mengukur sudut θ . Dari pengukuran, diperoleh $F_R = 6,08 \text{ cm} \approx 6,1 \text{ cm}$ dan $\theta \approx 35^\circ$.

B. Metode Analisis

Metode ini menggunakan perhitungan matematis untuk menentukan besar dan arah resultan vektor. Dua cara utama adalah:

1. Rumus Cosinus (Besar Resultan):

Jika dua vektor v_1 dan v_2 memiliki sudut α di antaranya, besar resultan (v_R) dihitung dengan:

$$v_R = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \alpha}$$

2. Rumus Sinus (Arah Resultan):

Arah vektor resultan (θ) dihitung dengan:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_2}{v_1} = \frac{\cos \alpha}{v_R}$$

Konsep dasar trigonometri

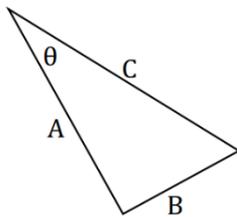
Trigonometri merupakan dasar penting untuk analisis vektor. Hubungan sisi dan sudut dalam segitiga siku-siku dirumuskan sebagai:

$$\sin \angle = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi miring}} \rightarrow \text{Sisi depan} = \text{sisi miring} \times \sin \angle$$

$$\cos \angle = \frac{\text{sisi samping}}{\text{sisi miring}} \rightarrow \text{Sisi samping} = \text{sisi miring} \times \cos \angle$$

$$\tan \angle = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi samping}}$$

Lihat ilustrasi segitiga siku-siku berikut!



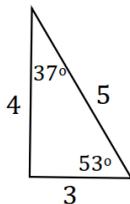
$$\sin \theta = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi miring}} = \frac{B}{C}$$

$$\cos \theta = \frac{\text{sisi samping}}{\text{sisi miring}} = \frac{A}{C}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi samping}} = \frac{B}{A}$$

Gambar 2.4. Segitiga siku-siku

Sumber: id.scribd.com



Dari gambar ini, menunjukkan bahwa:

$$\sin 37^\circ = 3/5$$

$$\sin 53^\circ = 4/5$$

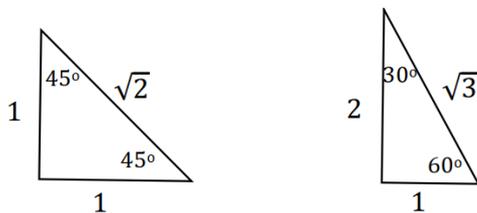
$$\cos 37^\circ = 4/5$$

Gambar 2.5. Segitiga dengan perbandingan sisi 3 : 4 : 5

Sumber: id.scribd.com

Pada segitiga dengan perbandingan sisi 3 : 4 : 5, sudut-sudutnya sesuai dengan gambar yang ditunjukkan.

Selain itu, terdapat dua segitiga lain dengan hubungan sudut dan sisi yang dapat digunakan sebagai referensi.



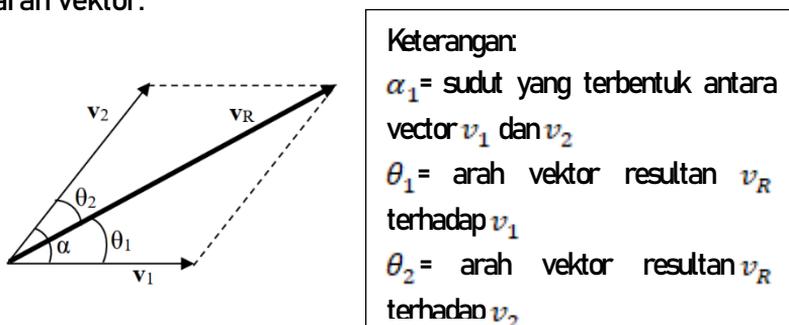
Gambar 2.6. Segitiga dengan hubungan sudut dan sisi
 Sumber: id.scribd.com

Tabel 2.1. Nilai *sin*, *cos* dan *tan* sudut istimewa

	0°	30°	45°	60°	90°
<i>sin</i>	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1
<i>cos</i>	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}$	0
<i>tan</i>	0	$1/\sqrt{3}$	1	$\sqrt{2}$	~

Rumus Cosinus dan Sinus dalam Analisis Vektor

1. Rumus cosinus digunakan untuk menghitung besar vektor resultan.
 2. Rumus sinus digunakan untuk menentukan arah vektor resultan.
- Sebagai contoh, dua vektor v_1 dan v_2 , bersama dengan vektor resultan v_R , dapat digambarkan menggunakan metode jajaran genjang, memberikan representasi visual hubungan antara besar dan arah vektor:



Gambar 2.7. Vektor dan resultannya
 Sumber: id.scribd.com

Jika besar v_1 , v_2 , dan sudut di antara keduanya (α), maka:

Besar Resultan (v_R)

Besar v_R dihitung menggunakan rumus cosinus sebagai berikut:

$$v_R = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2 v_1 \cdot v_2 \cos \alpha}$$

Arah Resultan (θ_1 atau θ_2)

Arah v_R dapat diperoleh melalui rumus sinus:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_2}{v_1} = \frac{\cos \alpha}{v_R}$$

2.5 Skalar

Dalam fisika dan matematika, Besar yang hanya memiliki nilai (magnitudo) tanpa arah disebut skalar. Skalar sering digunakan untuk menyatakan nilai kuantitatif secara murni.

Karakteristik Besaran Skalar:

1. **Hanya Memiliki Nilai:** Tidak dipengaruhi oleh arah, cukup direpresentasikan dengan angka dan satuan.
2. **Tetap terhadap Rotasi/Translasi:** Nilainya tidak berubah meskipun sistem koordinat bergeser atau berputar.
3. **Representasi:** Biasanya berupa angka positif atau negatif disertai satuan.

Contoh Besara Skalar:

- Massa: 10 kg
- Waktu: 5 detik
- Suhu: 25°C
- Panjang: 20 meter

Jenis-Jenis Skalar

Skalar dapat diklasifikasikan berdasarkan penggunaannya dalam berbagai bidang ilmu.

1. Skalar Fisika

Merupakan besaran fisik tanpa arah, seperti:

- a. **Massa (m):** Jumlah materi dalam benda (kg).
- b. **Suhu (T):** Tingkat panas atau dinginnya suatu benda, biasanya dinyatakan dalam Celsius, Kelvin, atau Fahrenheit.

- c. **Energi (E):** Kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja, dinyatakan dalam Joule (J).
- d. **Waktu (t):** Durasi antara dua kejadian, dinyatakan dalam detik, menit, atau jam.

Rumus-Rumus Terkait:

Energi Kinetik (E_k):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

di mana m adalah massa, dan v adalah kecepatan (skalar di sini karena kecepatan dikuadratkan).

Energi Potensial (E_p):

$$E_p = mgh$$

di mana m sebagai massa (kg), g merupakan percepatan gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$, dan h adalah ketinggian (meter).

2. Skalar dalam Matematika

Dalam matematika, skalar sering digunakan dalam operasi aljabar dan geometri.

- a. **Bilangan Real (x):** Nilai numerik yang bisa positif, negatif, atau nol.
- b. **Konstanta Skalar (c):** Nilai tetap yang digunakan, misalnya pada operasi seperti $c \cdot \vec{v}$, di mana c adalah skalar.

3. Skalar dalam Termodinamika

Skalar juga digunakan dalam termodinamika untuk menggambarkan:

- a. **Tekanan (P):** Gaya per satuan luas, biasanya dalam pascal (Pa).
- b. **Volume (V):** Ruang yang ditempati zat, dinyatakan dalam meter kubik (m^3).
- c. **Temperatur (T):** Tingkat panas sistem, biasanya dalam Kelvin (K).

Rumus Penting (Hukum Gas Ideal):

$$PV = nRT$$

dengan:

- a. P : Tekanan (Pa)

- b. V : Volume (m^3)
- c. n : Jumlah mol gas
- d. R : Konstanta gas ideal ($8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$)
- e. T : Suhu (K)

4. Skalar Ekonomi

Dalam ekonomi dan statistik, skalar sering digunakan untuk merepresentasikan data atau indikator:

- a. Pendapatan rata-rata
- b. Laju inflasi
- c. Nilai tukar mata uang

2.6 Operasi pada Skalar

1. Penjumlahan dan Pengurangan Skalar

Operasi ini merupakan dasar dalam matematika, di mana dua skalar dapat dijumlahkan atau dikurangi untuk menghasilkan nilai baru:

$$a + b = c$$

$$a - b = d$$

2. Perkalian Skalar

Perkalian antara dua skalar menghasilkan nilai yang merepresentasikan produk dari keduanya:

$$c = a \cdot b$$

3. Pembagian Skalar

Pembagian antara dua skalar dilakukan jika penyebut tidak nol:

$$d = \frac{a}{b}$$

2.7 Keunggulan dan Aplikasi Skalar

1. **Kesederhanaan:** Skalar hanya memerlukan nilai besar, sehingga mudah untuk dipahami dan dihitung.
2. **Aplikasi Universal:** Digunakan di berbagai disiplin ilmu, seperti fisika, ekonomi, dan statistik.
3. **Fondasi untuk Perhitungan Kompleks:** Menjadi elemen dasar dalam penghitungan besaran yang lebih rumit.

Contoh Soal dan Pembahasan

1. Menghitung Energi Kinetik

Sebuah mobil dengan massa 1000 kg melaju pada kecepatan 20 m/s. Hitung energi kinetiknya!

Penyelesaian:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1000)(20)^2 = 200,000 \text{ Joule}$$

2. Menghitung Energi Potensial

Sebuah objek bermassa 10 kg berada pada ketinggian 5 meter dari tanah. Hitung energi potensialnya!

Penyelesaian:

$$E_p = mgh = (10)(9.8)(5) = 490 \text{ Joule}$$

3. Hukum Gas Ideal

Gas dengan tekanan 100,000 Pa memiliki volume 0.01 m³, dan jumlah mol $n = 0.5$, hitung suhu gas!

Penyelesaian:

$$T = \frac{PV}{nR} = \frac{(100,000)(0.01)}{(0.5)(8.314)} \approx 240 \text{ K}$$

2.8 Kesimpulan

Besaran skalar adalah konsep mendasar yang hanya memiliki nilai tanpa mempertimbangkan arah. Dalam berbagai bidang seperti fisika, ekonomi, dan matematika, skalar digunakan untuk menggambarkan fenomena kuantitatif murni. Operasi pada skalar relatif sederhana namun sangat luas penerapannya dalam ilmu pengetahuan dan kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfken, G. B., & Weber, H. J. (2013). *Mathematical methods for physicists* (7th ed.). Academic Press.
- Axler, S. (2015). *Linear algebra done right* (3rd ed.). Springer.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2010). *Vector mechanics for engineers: Statics and dynamics* (14th ed.). McGraw-Hill Education.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2013). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications*. McGraw-Hill Education.
- Gradshteyn, I. S., & Ryzhik, I. M. (2007). *Table of integrals, series, and products* (7th ed.). Academic Press.
- Hamilton, W. R. (1843). *On a new species of imaginary quantities*. *Philosophical Magazine*, 25(3), 489–495.
- Heath, T. L. (2016). *Vector Analysis: An Introduction for Engineers and Scientists*. CRC Press.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Engineering mechanics: Dynamics* (14th ed.). Pearson.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. (2013). *Kurikulum 2013: Fisika SMA/MA*. Jakarta: Kemdikbud.
- Kreyszig, E. (2011). *Advanced engineering mathematics* (10th ed.). Wiley.
- Marsden, J., & Hughes, T. (1994). *Mathematical foundations of elasticity*. Dover Publications.
- Marsden, J. E., & Tromba, A. J. (2012). *Vector calculus* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Noether, E. (1918). *Invariante Variationsprobleme*. *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 235–257.
- O'Neill, B. (1997). *Elementary Differential Geometry*. Academic Press.
- Purcell, E. M., & Morin, D. J. (2013). *Electricity and magnetism* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Russell, B. (1903). *The Principles of Mathematics*. Cambridge University Press.
- Said, A. (2005). *Fisika dasar: Vektor dan aplikasinya*. Prenadamedia Group.

- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for scientists and engineers* (9th ed.). Cengage Learning.
- Shikhandi, R. (2008). *Vector Calculus* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Spiegel, M. R. (1980). *Schaum's Outline of Vector Analysis*. McGraw-Hill.
- Stewart, J. (2015). *Calculus: Early transcendentals* (8th ed.). Cengage Learning.
- Suryadi, D. (2012). *Matematika teknik: Aljabar linear dan kalkulus vektor*. Salemba Empat.
- Tait, G. B. (1891). *Elements of vector analysis*. Macmillan and Co.
- Taylor, J. R. (2000). *Classical mechanics*. University Science Books.
- Thompson, R. (2000). *Introduction to Vector Analysis*. Oxford University Press.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for scientists and engineers* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Wijaya, A. (2018). *Pemahaman vektor dan skalar dalam fisika*. Erlangga.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University physics with modern physics* (15th ed.). Pearson.
- Yustisia, F. (2015). *Pengantar Aljabar Linear untuk Teknik*. Deepublish.
- Zill, D. G., & Wright, S. (2014). *Advanced engineering mathematics* (6th ed.). Jones & Bartlett Learning.
- Zulkarnain, M. (2010). *Fisika untuk teknik: Dinamika vektor dan skalar*. Bumi Aksara.

BAB 3

KINEMATIKA DALAM SATU GARIS LURUS

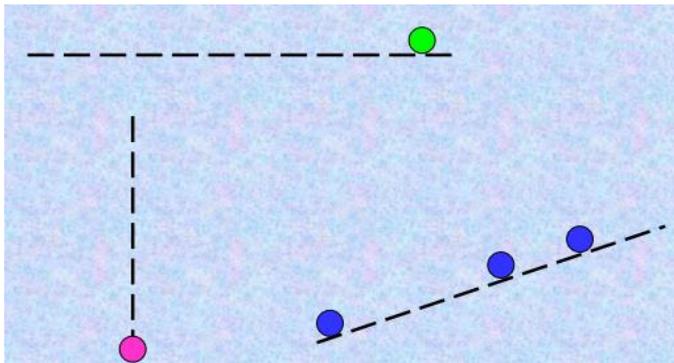
Oleh Nurul Amalia Silviyanti

3.1 Pendahuluan

Definisi gerak dapat diartikan sebagai perubahan letak partikel pada lintasan tertentu. Gerak partikel dapat diproyeksikan pada sumbu kartesian dalam tiga dimensi (x,y,z) , dua dimensi pada sumbu x dan y serta pada satu dimensi. Pada bab ini akan dibahas gerak pada lintasan garis lurus yakni gerak satu dimensi pada sumbu x .

3.2 Gerak lurus

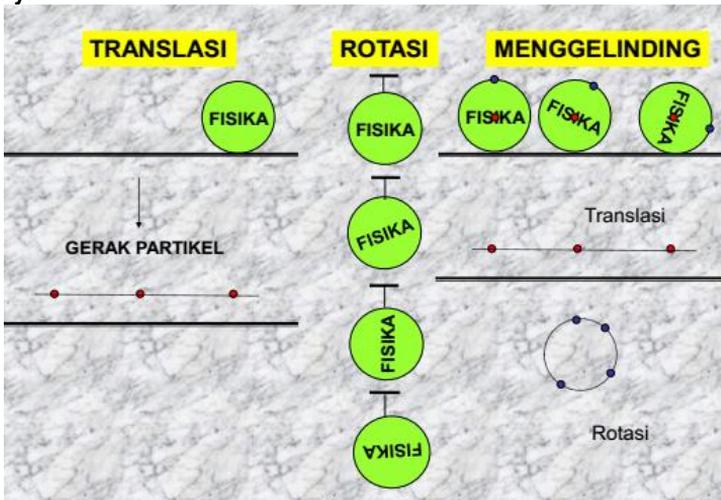
Konsep gerak lurus merupakan dasar dalam fisika, khususnya dalam mempelajari kinematika, yang membahas gerakan tanpa memperhatikan penyebabnya (gaya). Gerak lurus adalah gerak yang dialami suatu partikel pada lintasan garis lurus.



Gambar 3.1. Gerak partikel pada lintasan garis lurus

Istilah lain yang digunakan untuk pergerakan partikel pada garis lurus adalah gerak translasi. Gerak translasi pada umumnya digambarkan sebagai satu dimensi pada sumbu x . Selain gerak translasi terdapat pula gerak rotasi atau berputar serta gerak menggelinding dimana gerak ini adalah perpaduan dari gerak

translasi dan rotasi. Kedua gerak ini merupakan representasi dari gerak dua dimensi dimana dapat diproyeksikan pada sumbu x dan sumbu y.



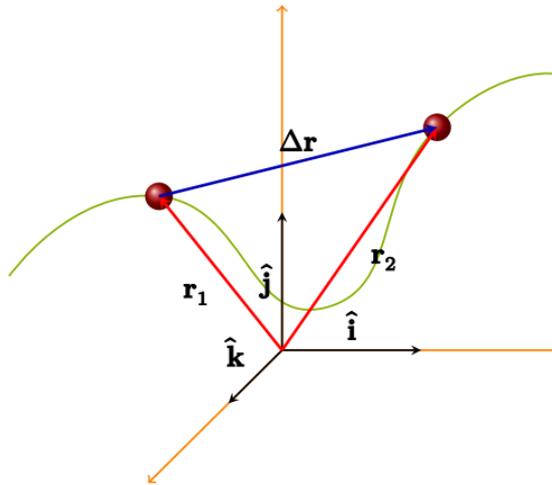
Gambar 3.2. Gerak translasi, rotasi dan menggelinging

3.3 Perpindahan dan Jarak

Sebuah benda atau partikel dapat dikatakan bergerak jika mengalami perubahan posisi. Perubahan posisi erat kaitannya dengan perpindahan dan jarak. Perpindahan adalah perubahan posisi suatu benda dari titik awal ke titik akhir dalam lintasan, yang mempertimbangkan arah. Perpindahan mengukur jarak terpendek antara dua titik dan memiliki arah, sehingga merupakan besaran vektor. Sedangkan jarak adalah total panjang lintasan yang ditempuh oleh benda tanpa memperhatikan arah geraknya. Jarak hanya mengukur seberapa jauh sebuah benda bergerak, tanpa memperhatikan posisi awal dan akhir. Dengan kata lain, jarak selalu bernilai positif dan hanya memperhitungkan panjang lintasan yang dilalui.

Pada contoh kehidupan sehari-hari, perpindahan dan jarak tempuh suatu benda dapat berbeda namun juga dapat bernilai sama. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah. Terdapat partikel yang bergerak sesuai dengan lintasan berwarna hijau, perpindahan yang dialami oleh partikel adalah r_1 menuju r_2 dengan panjang lintasan

Δr berwarna biru. Sedangkan jarak yang ditempuh partikel merupakan panjang lintasan berwarna hijau.



Gambar 3.3. Perpindahan dan jarak yang ditempuh oleh partikel

Contoh kasus lain, seorang anak berjalan lurus dari rumahnya menuju warung sejauh 500 m. Pada kasus ini perpindahan dan jarak yang ditempuh oleh anak adalah sama karena lintasannya berupa garis lurus sehingga anak tersebut berpindah dengan jarak 500 m. Namun, jika anak tersebut pulang ke rumah maka perpindahan yang dialami adalah 0 karena anak tersebut bergerak dari rumah ke warung dan kembali ke rumah (kembali ke titik awal) sedangkan jarak yang ditempuh dari rumah ke warung dan kembali ke rumah adalah 1000 m.

3.4 Kecepatan dan Percepatan

Dalam fisika, kecepatan dan percepatan adalah dua konsep penting yang digunakan untuk menggambarkan gerak benda. Meskipun keduanya terkait dengan gerakan, kecepatan dan percepatan memiliki perbedaan dalam hal yang diukur dan bagaimana perubahan gerak tersebut digambarkan.

3.4.1 Kecepatan

Kecepatan adalah besaran vektor yang menunjukkan seberapa cepat suatu benda berpindah dari satu titik ke titik lain dalam suatu waktu tertentu, sekaligus memperhitungkan arah gerak benda tersebut.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Dimana : v = kecepatan (m/s)

Δs = perpindahan benda (m)

Δt = waktu tempuh (s)

Pada kehidupan sehari-hari kita sering mendengar istilah laju. Laju adalah jarak yang ditempuh suatu benda pada selang waktu tertentu. Selain itu terdapat kecepatan rata-rata dan kecepatan sesaat.

Kecepatan rata-rata adalah kecepatan suatu benda dalam selang waktu t_1 hingga t_2 . Sedangkan kecepatan sesaat adalah kecepatan suatu benda dalam selang waktu sangat singkat. Dari beberapa definisi diatas dapat diartikan bahwa laju setara dengan kecepatan sesaat.

Perbedaan nyata dari kecepatan rata-rata dan kecepatan sesaat adalah saat kita mengendarai kendaraan bermotor, nilai yang tertera pada speedometer merupakan laju atau kecepatan sesaat, sedangkan rata-rata dari kecepatan sejak berangkat hingga sampai tujuan merupakan kecepatan sesaat.

Contoh Soal:

Sebuah mobil menempuh jarak 120 km dalam waktu 2 jam. Berapakah kecepatan rata-rata mobil tersebut?

Diketahui : $s = 120$ km

$t = 2$ jam

Ditanya : v ?

Jawab :

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{120}{2} = 60 \text{ km/jam}$$

Jadi kecepatan rata-rata mobil tersebut adalah 60 km/jam.

3.4.2 Percepatan

Percepatan adalah besaran vektor yang menggambarkan seberapa cepat kecepatan suatu benda berubah dalam waktu tertentu. Percepatan terjadi ketika kecepatan suatu benda bertambah atau berkurang, baik dalam hal nilai (magnitude) maupun arah.

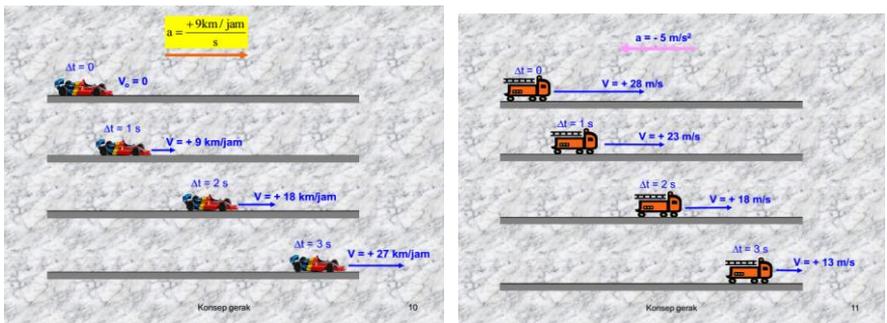
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Dimana : a = percepatan suatu benda (m/s^2)

Δv = perubahan kecepatan (m/s)

Δt = waktu tempuh benda (s)

Suatu benda mengalami percepatan jika benda tersebut memiliki kecepatan yang berubah. Benda mengalami percepatan positif (dipercepat) jika kecepatan berubah dan terus bertambah, sebaliknya akan mengalami percepatan negatif (diperlambat) jika kecepatan terus berkurang. Jika benda tersebut bergerak dengan kecepatan konstan atau tetap maka benda tersebut tidak memiliki percepatan.



Gambar 3.4. Benda dengan percepatan dipercepat dan diperlambat

Contoh Soal :

Sebuah motor mula-mula bergerak dengan kecepatan 10 m/s. Setelah bergerak selama 5 detik, kecepatan motor bertambah menjadi 25 m/s. Berapakah percepatan motor tersebut?

Diketahui : $V_{\text{awal}} = 10 \text{ m/s}$

$V_{\text{akhir}} = 25 \text{ m/s}$

$t = 5$ detik

Jawab :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$a = \frac{v_{akhir} - v_{awal}}{\Delta t}$$
$$a = \frac{25 - 10}{5} = 3 \text{ m/s}^2$$

Jadi percepatan motor tersebut adalah 3 m/s²

3.5 GLB dan GLBB

Suatu benda yang bergerak dengan kecepatan konstan tidak memiliki percepatan. Jika benda tersebut bergerak dilintasan lurus maka benda ini mengalami gerak lurus beraturan atau disebut GLB. Dengan kata lain, GLB (gerak lurus berubah beraturan) adalah gerak dengan kecepatan konstan dan percepatan nol, di mana jarak yang ditempuh sebanding dengan waktu.

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah gerakan benda pada lintasan lurus dan mengalami perubahan kecepatan secara teratur dalam rentang waktu tertentu. Dalam GLBB, percepatan menyebabkan perubahan kecepatan benda. Jika percepatannya positif, kecepatan benda meningkat; jika percepatan negatif (perlambatan), kecepatan benda menurun.

GLBB merupakan gerak suatu benda dengan percepatan tetap sehingga didapatkan persamaan :

$$dv = a dt \quad (3.3)$$

Jika waktu awal adalah $t=0$ dan waktu akhir t maka

$$\int_{v_0}^{v_t} v = a \int_0^t dt$$

Hasil integral kecepatan dan percepatan terhadap waktu menghasilkan rumus :

$$v_t - v_0 = a (t - t_0)$$

$$v_t = v_0 + at \quad (3.4)$$

Jika v merupakan kecepatan rata-rata, untuk menghitung posisi menggunakan rumus :

$$\int_{x_0}^{x_t} dx = \int_0^t v_0 dt + a(t - 0)dt$$
$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (3.5)$$

Dengan percepatan $a = \text{konstan}$ maka :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t}$$
$$t = \frac{v_t - v_0}{a} \quad (3.6)$$

Masukkan persamaan 3.6 kedalam persamaan 3.4 sehingga didapatkan :

$$v_t^2 = v_0^2 + 2ax \quad (3.7)$$

Contoh soal 1 :

Sebuah mobil awalnya diam, kemudian dipercepat secara konstan dengan percepatan 2 m/s^2 . Berapa jarak yang ditempuh mobil dalam waktu 10 detik?

Diketahui : $a = 2 \text{ m/s}^2$

$t = 10 \text{ detik}$

Jawab :

$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$
$$x_t = 0 + 0 + \frac{1}{2} 2 \cdot 10^2$$
$$x_t = 100 \text{ m}$$

Posisi terakhir mobil ada pada 100 m dari posisi awal sehingga jarak yang ditempuh mobil adalah 100 m.

Contoh soal 2 :

Seorang anak mengendarai sepeda dengan kecepatan awal 5 m/s dan mengalami percepatan sebesar 3 m/s² selama 4 detik. Berapakah kecepatan akhir yang dialami anak tersebut?

Diketahui : $v_0 = 5 \text{ m/s}$

$a = 3 \text{ m/s}^2$

$t = 4 \text{ detik}$

Jawab :

$$v_t = v_0 + at$$

$$v_t = 5 + 3 \cdot 4$$

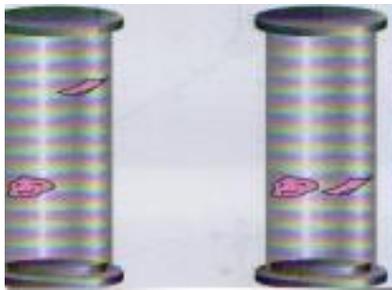
$$v_t = 17 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan akhir yang dialami anak tersebut adalah 17 m/s.

3.6 Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak suatu benda yang jatuh ke bawah hanya karena pengaruh gravitasi, tanpa adanya gaya lain seperti dorongan awal atau hambatan udara. Dalam gerak jatuh bebas, benda tersebut mengalami percepatan konstan yang disebabkan oleh gaya gravitasi bumi.

Sebuah benda dikatakan jatuh bebas jika dia bergerak tanpa kecepatan awal. Galileo menyatakan bahwa semua benda akan bergerak jatuh dengan kecepatan yang sama jika tidak ada gesekan udara seperti percobaan yang dilakukan dengan menjatuhkan batu dan bulu pada tabung hampa udara dan tabung berisi udara seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.5. Percobaan gerak jatuh bebas antara batu dan bulu a) pada tabung dengan udara dan b) pada tabung tanpa udara

Dikarenakan kecepatan awal pada gerak jatuh bebas adalah 0 dan percepatan yang dialami benda adalah percepatan gravitasi, maka persamaan 3.4 menjadi:

$$v_t = gt \quad (3.8)$$

Rumus (3.5) jika $v_0=0$ dan posisi awal dianggap 0 maka ketinggian benda jatuh bebas adalah

$$h = \frac{1}{2} gt^2 \quad (3.9)$$

Sedangkan rumus (3.7) menjadi

$$v_t = \sqrt{2gh} \quad (3.10)$$

Contoh Soal :

Sebuah bola dijatuhkan dari atas gedung dengan ketinggian 80 meter. Berapakah kecepatan bola sesaat sebelum menyentuh tanah?

Diketahui : $h = 80 \text{ m}$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Jawab :

$$v_t = \sqrt{2gh}$$

$$v_t = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 80}$$

$$v_t = \sqrt{1600} = 40 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan yang dialami bola sesaat sebelum menyentuh tanah adalah 40 m/s.

3.7 Gerak Vertikal

Gerak vertikal adalah gerak suatu benda yang terjadi sepanjang garis vertikal. Pada gerak vertikal, benda dapat bergerak ke atas atau ke bawah, dengan arah yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Secara umum, gerak vertikal dibedakan menjadi dua jenis:

3.7.1 Gerak Vertikal Ke Atas

Gerak vertikal ke atas adalah gerakan di mana suatu benda dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal tertentu. Pada gerakan ini, benda melawan gravitasi sehingga kecepatan benda berkurang seiring waktu hingga mencapai titik tertinggi. Setelah itu, benda akan berhenti sesaat sebelum akhirnya jatuh kembali ke bawah akibat pengaruh gravitasi.

3.7.2 Gerak Vertikal Ke Bawah

Gerak vertikal ke bawah adalah gerakan di mana suatu benda dilemparkan atau dijatuhkan dari ketinggian tertentu dengan kecepatan awal, atau bisa juga tanpa kecepatan awal (gerak jatuh bebas). Dalam kasus ini, benda bergerak sesuai dengan pengaruh gravitasi bumi, sehingga percepatannya bertambah seiring waktu.

Rumus-rumus yang digunakan pada gerak vertikal sesuai dengan rumus GLBB, namun dikarenakan vertikal maka posisi diganti menggunakan tinggi. Sehingga persamaan pada gerak vertikal adalah :

$$v_t = v_0 + gt \quad (3.11)$$

$$h = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} gt^2 \quad (3.12)$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2gh \quad (3.13)$$

Contoh Soal 1:

Sebuah bola dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s. Berapa waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai titik tertinggi?

Diketahui : $v_0 = 20$ m/s

$v_{\text{puncak}} = 0$ m/s

$g = -10$ m/s² (minus karena berlawanan arah dengan percepatan gravitasi)

Jawab :

$$v_t = v_0 + gt$$

$$0 = 20 + (-10)t$$

$$10t = 20$$

$$t = \frac{20}{10} = 2 \text{ detik}$$

Waktu yang diperlukan bola untuk mencapai titik tertinggi adalah 2 detik.

Contoh soal 2:

Sebuah benda dilempar ke bawah dengan kecepatan awal 10 m/s dari ketinggian 50 meter. Berapakah ketinggian benda setelah 2 detik?

Diketahui : $v_0 = 10$ m/s

$h = 50$ m

Jawab :

$$h = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$h = 50 - (10 \cdot 2 + \frac{1}{2} 10 \cdot 2^2)$$

$$h = 50 - (20 + 20) = 10 \text{ m}$$

ketinggian bola setelah 2 detik adalah 10 m

DAFTAR PUSTAKA

- Hugh, D.Y and Roger, A.F. 2001. Fisika Universitas. Edisi Kesepuluh. Jakarta : Erlangga.
- Andi, S dan Syamsul, B. 2021. Fisika 1. Solok : Penerbit Insan Cendekia Mandiri.
- M Farchani R, Eko F, Yusuf D P. 2014. Fisika Dasar, Jilid 1 : Mekanika. Yogyakarta Sleman : Periuk.
- Ice T, Ayu NL, Firda H. 2022. Fisika Untuk Perguruan Tinggi. Banyumas : Pena Persada.
- Nurlina, Riskawati. 2018. Fisika Dasar. Makassar : LPP Unismuh Makassar.

BAB 4

DINAMIKA GERAK

Oleh Awal Syahrani Sirajuddin

4.1 Pendahuluan

Dinamika adalah cabang mekanika yang mempelajari gaya dan efeknya terhadap gerak benda. Dalam dinamika, perhatian utama adalah mengapa benda bergerak, yang melibatkan analisis gaya yang bekerja pada benda serta bagaimana gaya-gaya tersebut memengaruhi gerakannya. Berbeda dengan kinematika, yang hanya fokus pada deskripsi gerak tanpa mempertimbangkan penyebabnya, dinamika berfokus pada interaksi antara gaya, massa, dan percepatan.

Perbedaan antara Kinematika dan Dinamika:

1. Kinematika:
 - a. Kinematika mempelajari gerak benda tanpa memerhatikan penyebab gerak tersebut. Fokusnya pada deskripsi gerak, seperti posisi, kecepatan, percepatan, dan waktu.
 - b. Kinematika tidak mempertimbangkan gaya atau massa benda. Sebagai contoh, kinematika bisa menjelaskan lintasan atau kecepatan benda, tetapi tidak menjelaskan mengapa benda itu bergerak dengan cara tersebut.
2. Dinamika:
 - a. Dinamika mempelajari penyebab gerak, yaitu gaya yang bekerja pada benda. Ini termasuk bagaimana gaya menghasilkan percepatan atau mengubah keadaan gerak benda.
 - b. Dinamika melibatkan massa benda, gaya yang bekerja padanya, dan perubahan geraknya, sesuai dengan hukum-hukum Newton.

Relevansi Dinamika dalam Mekanika:

Dinamika adalah bagian integral dari mekanika, yang memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana dan mengapa benda bergerak. Relevansi dinamika meliputi:

1. **Penjelasan Fenomena Fisika:** Dinamika menjelaskan fenomena sehari-hari, seperti mengapa benda jatuh, bagaimana gaya gravitasi bekerja, atau bagaimana benda bergerak saat dikenai gaya dorong atau tarikan.
2. **Hukum Gerak Newton:** Dinamika mengandalkan hukum-hukum Newton untuk menganalisis gerak benda. Hukum-hukum ini memberikan kerangka teoretis untuk memahami interaksi gaya dan gerak, yang berlaku dari skala mikroskopik hingga astronomi.
3. **Aplikasi dalam Teknik dan Rekayasa:** Dinamika digunakan dalam berbagai disiplin teknik, seperti perancangan mesin, analisis struktur, dan penerbangan. Dinamika memungkinkan insinyur memahami bagaimana sistem mekanik akan berperilaku di bawah beban dinamis atau gaya eksternal.
4. **Dinamika Sistem Kompleks:** Selain benda padat, dinamika juga digunakan untuk menganalisis gerak fluida, sistem partikel, dan fenomena osilasi, seperti gerak harmonik atau rotasi benda tegar.

Secara keseluruhan, dinamika adalah fondasi penting dalam memahami dan memprediksi gerak di alam semesta, dari objek sederhana hingga sistem kompleks.

4.2 Hukum Newton tentang Gerak

Hukum Pertama Newton, yang juga dikenal sebagai Hukum Inersia, menyatakan bahwa:

"Suatu benda akan tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang garis lurus, kecuali ada gaya eksternal yang bekerja untuk mengubah keadaan tersebut." Inersia adalah kecenderungan alami suatu benda untuk mempertahankan keadaan geraknya, baik itu dalam keadaan diam atau bergerak lurus dengan kecepatan tetap. Benda yang diam akan tetap diam kecuali ada gaya yang bekerja padanya, seperti gaya dorong atau tarikan. Benda yang bergerak dengan kecepatan tetap

tidak akan berubah kecepatannya (baik dalam besar maupun arah) kecuali ada gaya yang mempengaruhi, seperti gaya gesekan atau gaya gravitasi.

Massa benda berhubungan langsung dengan inersia. Semakin besar massa suatu benda, semakin besar inersianya, dan semakin sulit untuk mengubah keadaan gerak benda tersebut. Benda yang lebih berat memerlukan lebih banyak gaya untuk mempercepat, memperlambat, atau mengubah arahnya.

Hukum Pertama Newton adalah landasan penting dalam dinamika yang menjelaskan bahwa gerak atau diamnya suatu benda tidak akan berubah kecuali dipengaruhi oleh gaya eksternal. Inersia menunjukkan bahwa setiap benda memiliki kecenderungan untuk mempertahankan keadaan geraknya, dan perubahan tersebut hanya dapat terjadi jika ada gaya yang bekerja.

Hukum Kedua Newton menyatakan bahwa:

"Percepatan suatu benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya."

Secara matematis, hukum ini ditulis sebagai:

$$F = ma$$

di mana:

1. F = gaya total yang bekerja pada benda (dalam satuan Newton, N)
2. m = massa benda (dalam satuan kilogram, kg)
3. a = percepatan benda (dalam satuan meter per detik kuadrat, m/s^2)

Hubungan antara Gaya, Massa, dan Percepatan:

1. **Gaya Berbanding Lurus dengan Percepatan:** Semakin besar gaya total yang diterapkan pada suatu benda, semakin besar percepatan yang dihasilkan, jika massanya tetap.
Misalnya, jika gaya pada sebuah benda dilipatgandakan, percepatannya juga akan menjadi dua kali lipat (dengan massa yang sama).
2. **Percepatan Berbanding Terbalik dengan Massa:** Semakin besar massa suatu benda, semakin kecil percepatan yang dihasilkan oleh gaya yang sama.

Misalnya, benda yang lebih berat (massa lebih besar) akan lebih sulit untuk dipercepat daripada benda yang lebih ringan dengan gaya yang sama.

Konsep Gaya dan Massa dalam Sistem Tertutup:

Dalam hukum ini, gaya total yang bekerja pada benda merupakan resultan gaya, yaitu gabungan semua gaya eksternal yang bekerja. Gaya internal (misalnya antara partikel dalam benda itu sendiri) tidak mempengaruhi percepatan benda secara keseluruhan.

Hukum Kedua Newton menggambarkan hubungan kuantitatif antara gaya, massa, dan percepatan suatu benda. Benda yang diberi gaya akan mempercepat, di mana percepatan itu berbanding lurus dengan gaya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan massa benda. Hukum ini adalah dasar dari banyak aplikasi fisika dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi, mulai dari pergerakan kendaraan hingga perilaku benda di ruang angkasa.

Hukum Ketiga Newton menyatakan bahwa:

"Untuk setiap aksi terdapat reaksi yang sama besar tetapi berlawanan arah."

Secara formal, hukum ini menjelaskan bahwa jika suatu benda A memberikan gaya pada benda B, maka benda B juga memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah pada benda A. Dengan kata lain, gaya selalu datang dalam pasangan — satu sebagai aksi dan yang lain sebagai reaksi.

Aksi dan Reaksi Berhubungan:

1. Jika kamu mendorong sebuah dinding, kamu memberikan gaya dorong ke dinding (aksi), dan dinding memberikan gaya balik yang sama besar ke arah tubuhmu (reaksi).
2. Meskipun gaya-gaya ini saling bertentangan, keduanya bekerja pada objek yang berbeda.

Keseimbangan Gaya:

1. Meskipun aksi dan reaksi sama besar dan berlawanan arah, gaya-gaya ini tidak saling meniadakan karena bekerja pada benda yang berbeda.

2. Hukum ini berlaku untuk semua interaksi gaya, baik gaya kontak (misalnya dorongan) maupun gaya jarak jauh (seperti gaya gravitasi).

Gaya Aksi dan Reaksi dalam Sistem:

1. Hukum ini berlaku untuk semua interaksi gaya di alam semesta. Misalnya, saat kamu duduk di kursi, tubuhmu memberikan gaya ke bawah pada kursi (aksi), sementara kursi memberikan gaya ke atas ke tubuhmu (reaksi) sehingga kamu tetap duduk dengan stabil.

Hukum Ketiga Newton mengajarkan bahwa gaya tidak berdiri sendiri; setiap gaya yang kita berikan pada benda lain akan dibalas oleh gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah. Hukum ini menjelaskan banyak fenomena fisika yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari dan merupakan dasar bagi berbagai teknologi, mulai dari kendaraan hingga peluncuran satelit ke luar angkasa.

4.3 Gaya dan Jenis-Jenisnya

1. Gaya Gravitasi:

Gaya gravitasi adalah gaya tarik-menarik yang bekerja antara dua massa. Di permukaan bumi, gravitasi adalah gaya yang menarik setiap benda dengan massa menuju pusat bumi. Gaya ini menyebabkan benda memiliki berat dan memengaruhi segala bentuk gerakan di dekat permukaan bumi.

Persamaan Gaya Gravitasi:

Besarnya gaya gravitasi pada suatu benda dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$F = m g$$

di mana:

F = gaya gravitasi atau berat benda (dalam Newton, N)

m = massa benda (dalam kilogram, kg)

g = percepatan gravitasi bumi (sekitar $9,8 \text{ m/s}^2$)

Hubungan Gravitasi dengan Jarak dan Massa:

- a. Gaya gravitasi bergantung pada massa kedua benda. Semakin besar massa benda, semakin kuat gaya gravitasi yang menariknya.
- b. Gaya gravitasi juga bergantung pada jarak antara benda dan pusat bumi. Semakin jauh benda dari pusat bumi, semakin lemah gaya gravitasinya.

Gaya gravitasi adalah gaya fundamental yang menyebabkan benda jatuh ke bumi dan memberikan berat pada setiap benda dengan massa. Gaya ini mengarah ke pusat bumi dan memainkan peran penting dalam menentukan gerakan benda di permukaan bumi serta dalam interaksi benda langit di luar angkasa.

2. Gaya Normal, Gesekan, dan Torsi

a. Gaya Normal (*Normal Force*):

Gaya normal adalah gaya yang diberikan oleh suatu permukaan yang mendukung suatu benda. Gaya ini selalu tegak lurus terhadap permukaan dan bekerja untuk menyeimbangkan gaya lain yang bekerja pada benda.

Sifat Gaya Normal:

- 1) Arah gaya normal selalu tegak lurus terhadap permukaan tempat benda berada.
- 2) Besarnya gaya normal sering kali sama dengan komponen gaya gravitasi yang bekerja tegak lurus pada permukaan, tetapi tergantung pada kondisi gaya lain (misalnya ketika permukaan miring atau ada gaya luar lain).

b. Gaya Gesekan (*Friction Force*):

Gaya gesekan adalah gaya yang melawan gerak relatif antara dua permukaan yang bersentuhan. Gaya ini dapat mencegah atau memperlambat gerakan benda.

Jenis-jenis Gaya Gesekan:

- 1) Gesekan Statik: Gaya yang melawan usaha benda untuk mulai bergerak. Gaya gesekan statik bekerja ketika benda tidak bergerak relatif terhadap permukaan.
- 2) Gesekan Kinetik: Gaya yang bekerja pada benda yang sudah bergerak relatif terhadap permukaan. Biasanya lebih kecil dari gesekan statik.

Persamaan Gaya Gesekan:

Besarnya gaya gesekan F_f dapat dihitung dengan:

$$F_f = \mu F_n$$

di mana:

μ = koefisien gesekan (statik atau kinetik)

- F_n = gaya normal yang bekerja pada benda

c. Torsi (Torque):

Torsi adalah momen gaya yang bekerja untuk menyebabkan benda berotasi atau berputar. Torsi dihasilkan ketika gaya bekerja pada suatu titik yang tidak berada di pusat massa benda, sehingga menyebabkan benda berotasi.

Persamaan Torsi:

Torsi τ dihitung dengan rumus:

$$\tau = rF \sin \theta$$

di mana:

- 1) r = jarak dari titik rotasi ke titik di mana gaya bekerja (lengan torsi)
- 2) F = gaya yang diberikan
- 3) θ = sudut antara lengan torsi dan arah gaya

Sifat Torsi:

- 1) Torsi bergantung pada seberapa jauh gaya bekerja dari titik rotasi. Semakin besar jarak r , semakin besar torsi yang dihasilkan.
- 2) Torsi berperan penting dalam sistem rotasi seperti roda, mesin, atau palang jungkat-jungkit.

Ketiga konsep ini sering bekerja secara bersamaan dalam situasi sehari-hari:

- 1) Ketika Anda mendorong benda di permukaan, gaya normal bekerja ke atas, gaya gesekan bekerja melawan arah gerak, dan torsi mungkin bekerja jika benda berotasi.

- 2) Dalam mekanisme rotasi seperti mobil, torsi dari mesin menyebabkan rotasi roda, sementara gesekan antara ban dan jalan menghasilkan gerak maju.

Catatan :

- 1) Gaya Normal: Gaya yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda, menahan benda agar tidak jatuh.
- 2) Gaya Gesekan: Gaya yang melawan gerakan relatif antara dua permukaan yang bersentuhan.
- 3) Torsi: Momen gaya yang menyebabkan benda berotasi. Ketiganya berperan penting dalam memahami interaksi benda dengan permukaan dan rotasi benda dalam dinamika mekanika.

3. Gaya Sentripetal dan Sentrifugal

a. Gaya Sentripetal:

Gaya sentripetal adalah gaya yang bekerja pada suatu benda yang bergerak dalam lintasan melingkar dan selalu mengarah ke pusat lingkaran. Gaya ini yang membuat benda terus bergerak dalam lintasan melingkar, mempertahankan gerak melingkar.

Sifat Gaya Sentripetal:

- 1) Gaya ini selalu mengarah ke pusat lintasan melingkar.
- 2) Gaya sentripetal tidak menyebabkan perubahan besar kecepatan benda, tetapi mengubah arah geraknya sehingga benda tetap dalam lintasan melingkar.

Persamaan Gaya Sentripetal:

Gaya sentripetal F_c dapat dihitung dengan rumus:

$$F_c = \frac{m v^2}{r}$$

di mana:

- m = massa benda (kg)
- v = kecepatan benda (m/s)
- r = jari-jari lintasan melingkar (m)

b. Gaya Sentrifugal:

Gaya sentrifugal adalah gaya yang tampaknya mengarah keluar dari pusat lintasan melingkar. Namun, gaya ini

sebenarnya merupakan gaya semu (fiktif) yang dirasakan oleh benda dalam kerangka acuan yang berputar, atau sistem yang bergerak melingkar.

Sifat Gaya Sentrifugal:

- 1) Gaya sentrifugal tidak nyata, tetapi merupakan hasil dari inersia benda yang bergerak melingkar. Ini terjadi karena benda cenderung untuk bergerak dalam garis lurus (hukum inersia), tetapi dipaksa oleh gaya sentripetal untuk bergerak melingkar.
- 2) Dari sudut pandang kerangka acuan benda yang diam atau tidak bergerak, gaya sentrifugal tidak ada.

Meskipun gaya sentripetal dan sentrifugal sering dianggap berlawanan arah, mereka berasal dari dua perspektif berbeda. Gaya sentripetal adalah gaya nyata yang diperlukan untuk mempertahankan gerak melingkar, sedangkan gaya sentrifugal hanya muncul dari sudut pandang benda yang berada dalam kerangka acuan yang bergerak melingkar.

Memahami kedua gaya ini sangat penting untuk menganalisis gerak melingkar dalam berbagai sistem, mulai dari kendaraan yang membelok hingga sistem orbit planet.

4.4 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) adalah gerakan suatu benda di sepanjang garis lurus dengan percepatan tetap. Dalam GLBB, kecepatan benda berubah secara linier seiring waktu, tetapi percepatan yang dialami benda konstan.

Karakteristik GLBB:

1. Percepatan Tetap: Perubahan kecepatan per satuan waktu selalu sama. Ini berarti percepatan, yang merupakan perubahan kecepatan per satuan waktu, tidak berubah.
2. Kecepatan Berubah: Kecepatan benda bisa meningkat (percepatan positif) atau menurun (percepatan negatif atau deselerasi), tetapi perubahan kecepatan ini terjadi secara konstan.
3. Lintasan Lurus: Gerak benda selalu dalam lintasan lurus tanpa perubahan arah.

Persamaan GLBB:

Persamaan kinematika yang sering digunakan dalam GLBB adalah:

1. Kecepatan akhir:

$$v = v_0 + at$$

di mana:

- v = kecepatan akhir (m/s)
- v_0 = kecepatan awal (m/s)
- a = percepatan (m/s²)
- t = waktu (s)

2. Jarak tempuh:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

di mana:

- s = jarak tempuh (m)
- v_0 = kecepatan awal (m/s)
- a = percepatan (m/s²)
- t = waktu (s)

3. Kecepatan dan jarak tanpa waktu:

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

di mana:

- v = kecepatan akhir (m/s)
- v_0 = kecepatan awal (m/s)
- a = percepatan (m/s²)
- s = jarak tempuh (m)

GLBB adalah gerakan di mana percepatan tetap, dan kecepatan benda berubah secara konstan seiring waktu. Persamaan kinematika yang terkait membantu kita menghitung kecepatan, jarak, dan waktu dalam analisis gerak ini.

4.5 Gerak Melingkar

1. Kecepatan Sudut (*Angular Velocity*):

Kecepatan sudut menggambarkan seberapa cepat suatu benda berputar atau bergerak melingkar di sekitar titik atau sumbu rotasi. Ini adalah laju perubahan sudut suatu benda dalam lintasan melingkar per satuan waktu.

1) Simbol: ω (huruf Yunani "omega")

2) Satuan: Rad/s (radian per detik)

Kecepatan sudut ω didefinisikan sebagai:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

di mana:

- $\Delta\theta$ = perubahan sudut (radian)

- Δt = waktu yang diperlukan untuk perubahan sudut tersebut (detik)

Hubungan Kecepatan Sudut dengan Kecepatan Linear:

Kecepatan sudut terkait dengan kecepatan linear benda yang bergerak melingkar melalui persamaan:

$$v = \omega r$$

di mana:

- v = kecepatan linear (m/s)

- ω = kecepatan sudut (rad/s)

- r = jari-jari lintasan melingkar (m)

2. Percepatan Sudut (Angular Acceleration):

Percepatan sudut menggambarkan laju perubahan kecepatan sudut suatu benda. Ini adalah percepatan yang dialami oleh benda yang bergerak melingkar ketika kecepatannya meningkat atau menurun.

1) Simbol: α (huruf Yunani "alpha")

2) Satuan: Rad/s² (radian per detik kuadrat)

Percepatan sudut α didefinisikan sebagai:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

di mana:

- $\Delta\omega$ = perubahan kecepatan sudut (rad/s)

- Δt = waktu yang diperlukan untuk perubahan tersebut (detik)

Hubungan Percepatan Sudut dengan Percepatan Linear:

Percepatan sudut berhubungan dengan percepatan tangensial (percepatan linear sepanjang lintasan melingkar) melalui:

$$a_t = \alpha r$$

di mana:

- at = percepatan tangensial (m/s^2)
- α = percepatan sudut (rad/s^2)
- r = jari-jari lintasan melingkar (m)

Dalam gerak melingkar, posisi sudut θ , kecepatan sudut ω , dan percepatan sudut α saling berhubungan:

1. Posisi Sudut: Dinyatakan dalam radian, menunjukkan seberapa jauh benda telah bergerak dari posisi awal dalam lintasan melingkar.
2. Kecepatan Sudut: Menggambarkan laju perubahan posisi sudut benda; seberapa cepat benda bergerak dalam lintasan melingkar.
3. Percepatan Sudut: Menggambarkan laju perubahan kecepatan sudut benda; seberapa cepat rotasi benda meningkat atau menurun.

Kecepatan Sudut (ω) adalah laju perubahan sudut rotasi benda dalam gerak melingkar.

Percepatan Sudut (α) adalah laju perubahan kecepatan sudut dalam gerak melingkar.

Keduanya berperan penting dalam menganalisis gerakan rotasi dalam berbagai aplikasi mekanis dan fisik.

4.6 Hukum Kekekalan Energi dan Momentum

Kekekalan Energi Mekanik adalah prinsip fundamental dalam fisika yang menyatakan bahwa dalam sistem tertutup dan tanpa gaya eksternal seperti gesekan atau hambatan udara, total energi mekanik suatu benda atau sistem akan tetap konstan. Energi mekanik ini terdiri dari dua jenis utama: energi kinetik dan energi potensial.

1. Energi Kinetik (Energi Gerak)

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena geraknya. Semakin cepat suatu benda bergerak, semakin besar energi kinetiknya.

Persamaan Energi Kinetik:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

di mana:

- E_k = energi kinetik (Joule)

- m = massa benda (kg)
- v = kecepatan benda (m/s)

Energi kinetik bertambah seiring bertambahnya kecepatan benda.

2. Energi Potensial (Energi Simpanan)

Energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena posisinya dalam medan gaya tertentu, seperti medan gravitasi. Ada beberapa bentuk energi potensial, tetapi yang paling umum dalam dinamika gerak benda adalah energi potensial gravitasi.

4. Persamaan Energi Potensial Gravitasi:

$$E_p = mgh$$

di mana:

- E_p = energi potensial gravitasi (Joule)
- m = massa benda (kg)
- g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$ di permukaan bumi)
- h = ketinggian benda dari referensi tertentu (m)

Energi potensial gravitasi bertambah seiring bertambahnya ketinggian benda.

3. Prinsip Kekekalan Energi Mekanik

Dalam sistem tertutup tanpa gaya gesekan atau hambatan lainnya, energi mekanik total yang terdiri dari energi kinetik dan energi potensial adalah konstan. Ini berarti bahwa energi dapat berubah bentuk dari energi potensial menjadi energi kinetik atau sebaliknya, tetapi jumlah totalnya tidak berubah.

5. Energi Mekanik Total (E_{total}):

$$E_{total} = E_k + E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{konstan}$$

4. Transformasi Energi dalam Sistem Tertutup

Ketika sebuah benda bergerak dalam sistem tertutup, energi potensialnya dapat berubah menjadi energi kinetik, dan sebaliknya. Berikut adalah contoh umum transformasi energi mekanik dalam sistem tertutup:

- **Gerak Benda Jatuh Bebas**

Misalkan suatu benda dilepaskan dari ketinggian tertentu:

- 1) Pada saat benda berada di ketinggian maksimum, kecepatannya nol, sehingga energi potensialnya maksimum, dan energi kinetiknya nol.
- 2) Saat benda jatuh, energi potensialnya berkurang karena ketinggian menurun, tetapi kecepatan benda bertambah, sehingga energi kinetiknya meningkat.
- 3) Tepat sebelum mencapai tanah, energi potensialnya menjadi nol, dan energi kinetiknya maksimum.
- 4) Energi mekanik total tetap konstan sepanjang proses ini.

- **Gerakan Pendulum**

Pada posisi terjauh dari titik ekuilibrium (titik paling tinggi), energi potensial pendulum maksimum, sedangkan energi kinetiknya nol. Ketika pendulum mencapai posisi ekuilibrium (titik paling rendah), energi kinetiknya maksimum, sementara energi potensialnya minimum.

Prinsip kekekalan energi mekanik menyatakan bahwa dalam sistem tertutup tanpa adanya gaya luar yang melakukan kerja, jumlah total energi mekanik (kinetik dan potensial) akan selalu konstan. Ini menggambarkan transformasi energi antara energi kinetik dan energi potensial, yang terjadi dalam berbagai fenomena fisik, seperti gerak benda jatuh bebas, gerakan pendulum, atau gerakan proyektil.

****Kekekalan Momentum Linear**** adalah prinsip fundamental dalam fisika yang menyatakan bahwa dalam ****sistem tertutup****, jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem, maka ****momentum total**** dari sistem tersebut tetap konstan. Prinsip ini berlaku baik dalam dinamika partikel tunggal maupun dalam interaksi antara beberapa benda, seperti tumbukan.

5. Momentum Linear

a. Definisi Momentum Linear

Momentum linear (p) adalah besaran yang menggambarkan produk dari massa dan kecepatan suatu benda. Momentum adalah vektor, artinya memiliki besar dan arah yang sama dengan kecepatan benda.

Persamaan Momentum Linear:

$$p = mv$$

di mana:

- p = momentum linear (kg·m/s)

- m = massa benda (kg)

- v = kecepatan benda (m/s)

b. Prinsip Kekekalan Momentum Linear

Prinsip kekekalan momentum linear menyatakan bahwa jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem, maka momentum total dari sistem tersebut akan tetap konstan. Dengan kata lain, perubahan momentum hanya dapat terjadi jika ada gaya luar yang bertindak pada sistem. Ini dapat dinyatakan sebagai:

$$P_{total\ sebelum} = P_{total\ sesudah}$$

Untuk sistem dua benda, momentum total sebelum dan sesudah suatu peristiwa (seperti tumbukan atau ledakan) adalah sama, sehingga:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1\hat{v}_1 + m_2\hat{v}_2$$

di mana:

- m_1, m_2 = massa benda 1 dan 2

- v_1, v_2 = kecepatan benda 1 dan 2 sebelum peristiwa

- \hat{v}_1, \hat{v}_2 = kecepatan benda 1 dan 2 setelah peristiwa

c. Aplikasi Kekekalan Momentum Linear

Tumbukan Elastis dan Inelastis

Prinsip kekekalan momentum linear sering digunakan untuk menganalisis tumbukan.

- 1) Tumbukan Elastis: Kedua benda memantul satu sama lain, dan tidak hanya momentum linear yang kekal, tetapi juga energi kinetik total sistem. Contoh tumbukan elastis adalah bola biliar yang saling berbenturan.
- 2) Tumbukan Inelastis: Benda-benda yang bertumbukan melekat satu sama lain setelah tumbukan, sehingga energi kinetik total tidak kekal (sebagian diubah menjadi energi lain, seperti panas), tetapi momentum total tetap kekal. Contohnya adalah dua mobil yang bertabrakan dan saling menempel setelah tabrakan.

d. Gaya Eksternal dan Perubahan Momentum

Jika terdapat gaya eksternal yang bekerja pada sistem, momentum tidak kekal, tetapi berubah sesuai dengan hukum kedua Newton:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Ini berarti gaya luar yang bekerja pada suatu benda atau sistem menyebabkan perubahan momentum benda tersebut dalam jangka waktu tertentu.

Prinsip kekekalan momentum linear adalah hukum fisika yang sangat penting dalam memahami interaksi antara benda-benda dalam sistem tertutup. Momentum total sistem tidak berubah selama tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem, dan prinsip ini sangat berguna dalam menganalisis berbagai fenomena fisik, seperti tumbukan dan gerak balistik.

4.7 Tumbukan dan Gerak Relatif

Tumbukan dan Gerak Relatif adalah dua konsep penting dalam dinamika yang berhubungan dengan interaksi antara benda-benda yang bergerak. Tumbukan terjadi ketika dua atau lebih benda bertabrakan, dan gerak relatif mengacu pada pengamatan gerak satu benda relatif terhadap benda lain.

1. Tumbukan (*Collision*)

Tumbukan adalah interaksi fisik antara dua benda yang menyebabkan perubahan kecepatan, momentum, atau energi. Tergantung pada sifat tumbukan, energi kinetik bisa dipertahankan atau tidak.

Jenis-Jenis Tumbukan:

a. Tumbukan Elastis:

Dalam tumbukan elastis, momentum dan energi kinetik total sistem kekal. Tidak ada energi yang hilang dalam bentuk panas, suara, atau deformasi.

Persamaan kekekalan momentum:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 \dot{v}_1 + m_2 \dot{v}_2$$

Persamaan kekekalan energi kinetik:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \dot{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{v}_2^2$$

b. Tumbukan Inelastis:

Pada tumbukan inelastis, momentum total tetap kekal, tetapi energi kinetik total tidak kekal. Sebagian energi kinetik hilang menjadi energi internal (panas, deformasi, suara).

Persamaan kekekalan momentum tetap berlaku:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)\dot{v}$$

Di mana \dot{v} adalah kecepatan gabungan kedua benda setelah tumbukan.

c. Tumbukan Sempurna Inelastis:

Pada jenis tumbukan ini, dua benda saling melekat setelah bertumbukan dan bergerak bersama dengan kecepatan yang sama. Dalam kasus ini, energi kinetik yang hilang maksimum.

Aplikasi Kekekalan Momentum dalam Tumbukan:

- 1) Tumbukan Bola Biliar**: Saat dua bola biliar bertumbukan, kita dapat menghitung kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan menggunakan prinsip kekekalan momentum dan energi kinetik (untuk tumbukan elastis).
- 2) Tumbukan Mobil: Saat dua mobil bertabrakan, kekekalan momentum dapat digunakan untuk menghitung kecepatan gabungan jika terjadi tumbukan inelastis sempurna.

2. Gerak Relatif (Relative Motion)

Gerak relatif adalah konsep yang menggambarkan bagaimana kecepatan satu benda dilihat atau diukur dari kerangka acuan benda lain. Gerak relatif sangat penting dalam memahami interaksi dan tumbukan, terutama ketika benda-benda bergerak dalam arah yang berbeda atau dengan kecepatan yang berbeda.

Kecepatan Relatif:

Kecepatan suatu benda relatif terhadap benda lain dapat dihitung dengan menggunakan penjumlahan atau pengurangan vektor kecepatan dari kedua benda tersebut.

a. Kecepatan Relatif (Satu Dimensi):

Jika dua benda bergerak di sepanjang garis lurus yang sama, kecepatan relatif benda A terhadap benda B dinyatakan sebagai:

$$v_{AB} = v_A - v_B$$

Di mana:

- v_{AB} = kecepatan relatif benda A terhadap benda B
- v_A = kecepatan benda A
- v_B = kecepatan benda B

Jika kedua benda bergerak mendekati satu sama lain, kecepatan relatifnya adalah hasil penjumlahan kecepatan masing-masing.

b. Kecepatan Relatif dalam Dua Dimensi:

Dalam gerak dua dimensi, kecepatan relatif antara dua benda dihitung dengan menggunakan vektor kecepatan. Jika benda A memiliki kecepatan V_A dan benda B memiliki kecepatan V_B), kecepatan relatifnya adalah:

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

- 1) Tumbukan melibatkan interaksi antara dua benda yang dapat dianalisis menggunakan prinsip kekekalan momentum dan energi. Jenis tumbukan (elastis atau inelastis) menentukan apakah energi kinetik kekal atau tidak.
- 2) Gerak Relatif memungkinkan kita untuk menghitung kecepatan dan posisi benda-benda relatif terhadap satu sama lain, baik dalam satu dimensi maupun dua dimensi. Ini penting dalam konteks tumbukan dan pengamatan gerak dari berbagai kerangka acuan.

4.8 Gerak Harmonik Sederhana (GHS)

Gerak Periodik pada Sistem yang Mengikuti Gaya Pemulih merupakan bagian penting dari dinamika yang mencakup fenomena gerak berulang yang terjadi secara teratur dalam jangka waktu tertentu. Contoh paling umum dari sistem yang mengalami gerak periodik adalah pegas dan pendulum, di mana gerakan benda bolak-balik terjadi di bawah pengaruh gaya pemulih yang berusaha mengembalikan sistem ke posisi kesetimbangan.

Pengertian Gerak Periodik

Gerak periodik adalah gerak yang berulang pada interval waktu yang tetap, atau disebut periode. Benda yang melakukan gerak periodik akan bergerak dalam lintasan yang sama berulang kali dalam

rentang waktu tertentu. Contoh-contoh gerak periodik dalam kehidupan sehari-hari meliputi ayunan pendulum, osilasi pegas, atau gerakan jarum jam.

1. Periode (T): Waktu yang diperlukan untuk satu siklus penuh gerakan.
2. Frekuensi (f): Jumlah siklus yang terjadi dalam satu detik (Hz), dengan hubungan:

$$f = \frac{1}{T}$$

Gaya Pemulih (*Restoring Force*)

Gaya pemulih adalah gaya yang selalu menarik atau mendorong benda kembali ke posisi kesetimbangan ketika benda berada di luar posisi tersebut. Gaya ini berbanding lurus dengan simpangan benda dari posisi keseimbangan, tetapi arahnya selalu menuju ke titik keseimbangan. Dalam sistem pegas dan pendulum, gaya pemulih bertanggung jawab atas gerakan osilasi benda.

1. Dalam kasus pegas, gaya pemulih diberikan oleh Hukum Hooke:

$$F = -kx$$

di mana:

F = gaya pemulih (N)

k = konstanta pegas (N/m)

x = simpangan dari posisi kesetimbangan (m)

2. Dalam kasus pendulum, gaya pemulih adalah komponen gaya gravitasi yang mengarah ke posisi kesetimbangan pendulum.

Gerak Harmonik Sederhana (GHS)

Gerak harmonik sederhana adalah bentuk gerak periodik di mana gaya pemulih yang bekerja pada benda sebanding dengan simpangan dari posisi kesetimbangan dan arah gaya selalu menuju ke posisi keseimbangan.

Karakteristik GHS mencakup:

1. **Posisi Kesetimbangan:** Titik di mana gaya pemulih sama dengan nol dan benda tidak mengalami percepatan.
2. **Simpangan Maksimum (Amplitudo):** Jarak maksimum dari posisi kesetimbangan yang dicapai oleh benda.

3. **Percepatan:** Dalam GHS, percepatan benda sebanding dengan simpangan, tetapi berlawanan arah.

Pegas dan Gerak Harmonik Sederhana

Sistem pegas ideal yang berosilasi di bawah pengaruh gaya pemulih dari Hukum Hooke merupakan contoh klasik GHS.

1. Persamaan gerak untuk benda yang terikat pada pegas adalah:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx$$

Solusi dari persamaan ini menggambarkan gerak harmonik sederhana:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

Di mana:

A = amplitude (simpangan maksimum)

ω = frekuensi sudut, yang diberikan oleh $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

t = waktu

ϕ = fase awal (bergantung pada kondisi awal)

2. Periode osilasi pegas adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Ini menunjukkan bahwa periode osilasi hanya bergantung pada massa benda dan konstanta pegas, tidak pada amplitudo gerakan.

Pendulum Sederhana dan Gerak Harmonik

Pendulum yang berosilasi dengan simpangan kecil juga dapat dianggap mengalami gerak harmonik sederhana. Pada simpangan kecil, sudut simpangan θ berbanding lurus dengan gaya pemulih yang dihasilkan oleh komponen gaya gravitasi, sehingga gerakan tersebut menyerupai GHS.

Periode osilasi pendulum sederhana adalah:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Di mana:

- T = periode (detik)
- L = panjang tali pendulum (meter)
- g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Energi dalam Gerak Harmonik Sederhana

Energi dalam gerak harmonik sederhana berosilasi antara energi kinetik dan energi potensial:

1. Pada posisi ekstrem (simpangan maksimum), energi kinetik nol dan seluruh energi disimpan sebagai energi potensial.
2. Pada posisi kesetimbangan, energi potensial nol dan seluruh energi berupa energi kinetik.

Jumlah energi mekanik dalam sistem tertutup tetap konstan, sehingga kita dapat menulis:

$$E = \frac{1}{2} kA^2$$

di mana A adalah amplitudo simpangan maksimum.

Gerak periodik pada sistem yang mengikuti gaya pemulih seperti pegas dan pendulum mengikuti prinsip gerak harmonik sederhana. Gaya pemulih yang bekerja untuk mengembalikan benda ke posisi kesetimbangan adalah kunci dari gerakan osilasi yang teratur. Memahami konsep ini penting dalam aplikasi teknologi dan fenomena alam yang melibatkan osilasi dan gerak bolak-balik.

4.9 Rotasi Benda Tegar

Rotasi adalah gerakan di mana semua titik suatu benda tegar bergerak mengelilingi sumbu rotasi yang tetap. Setiap titik pada benda bergerak dalam lintasan melingkar dengan jari-jari yang berbeda, tetapi dengan kecepatan sudut yang sama. Rotasi benda tegar melibatkan gerakan berputar di sekitar sumbu tetap baik di ruang dua dimensi maupun tiga dimensi.

Rotasi Benda Tegar adalah salah satu topik kunci dalam mekanika, terutama ketika kita berbicara tentang benda-benda yang tidak hanya bergerak dalam lintasan lurus (translasi), tetapi juga berputar pada sumbu tertentu. Benda tegar adalah benda yang bentuk

dan ukurannya tidak berubah ketika gaya atau momen bekerja padanya, sehingga semua titik di dalam benda mengalami gerakan rotasi yang sama.

Contoh umum dari rotasi benda tegar termasuk putaran roda, gerakan rotasi baling-baling, atau rotasi planet pada sumbunya.

Kecepatan Sudut (ω): Merupakan besaran yang menunjukkan seberapa cepat suatu benda berputar, dinyatakan dalam radian per detik.

Percepatan Sudut (α): Merupakan perubahan kecepatan sudut terhadap waktu, yang menggambarkan percepatan atau perlambatan rotasi.

Momen Inersia dan Torsi

1. Momen Inersia (I)

Momen inersia adalah besaran yang mengukur kecenderungan suatu benda tegar untuk menolak perubahan dalam gerakan rotasinya, mirip dengan massa dalam gerakan translasi. Semakin besar momen inersia suatu benda, semakin sulit untuk mengubah keadaan rotasinya. Momen inersia bergantung pada distribusi massa benda relatif terhadap sumbu rotasi.

a. Rumus momen inersia untuk partikel dengan massa m yang terletak pada jarak r dari sumbu rotasi:

$$I = \sum mr^2$$

b. Untuk benda tegar yang kontinu, momen inersia dihitung dengan integrasi:

$$I = \int r^2 dm$$

di mana r adalah jarak elemen massa kecil dm dari sumbu rotasi.

2. Torsi (τ)

Torsi atau momen gaya adalah besaran yang mengukur kecenderungan suatu gaya untuk menyebabkan rotasi pada suatu benda tegar. Torsi dihasilkan oleh gaya yang bekerja pada jarak tertentu dari sumbu rotasi. Torsi adalah analog rotasi dari gaya dalam gerak translasi.

Rumus torsi:

$$\tau = rF \sin \theta$$

di mana:

T = torsi

r = jarak dari sumbu rotasi ke titik di mana gaya diterapkan

F = gaya yang bekerja

θ = sudut antara gaya dan garis yang menghubungkan titik aplikasi gaya dengan sumbu rotasi

Persamaan Gerak Rotasi

Persamaan gerak rotasi adalah analog dari hukum gerak Newton pada gerak translasi. Pada gerak rotasi, hubungan antara torsi, momen inersia, dan percepatan sudut (α) dituliskan sebagai:

$$\tau = I\alpha$$

Ini adalah persamaan dasar dalam gerak rotasi, yang setara dengan $F = ma$ dalam gerak translasi. Dalam kata lain, percepatan sudut suatu benda sebanding dengan torsi total yang bekerja padanya, dan berbanding terbalik dengan momen inersianya.

Energi Kinetik Rotasi

Benda yang berotasi juga memiliki energi kinetik rotasi, yang bergantung pada kecepatan sudut dan momen inersia:

$$E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Energi kinetik rotasi adalah analog energy kinetic translasi yang diberikan oleh $\frac{1}{2}mv^2$.

Hubungan antara Rotasi dan Translasi

Dalam banyak kasus, benda tegar mengalami gerak translasi dan rotasi secara bersamaan. Contoh klasik adalah roda atau bola yang menggelinding. Pada gerakan menggelinding tanpa slip, terdapat hubungan khusus antara gerak translasi (gerakan benda sebagai keseluruhan) dan gerak rotasi (putaran benda pada sumbu).

Kecepatan dan Percepatan dalam Rotasi dan Translasi

Jika benda berotasi dengan kecepatan sudut ω dan bertranslasi dengan kecepatan linear v , maka kecepatan linier pada

titik mana pun pada benda yang berjarak r dari sumbu rotasi dapat dinyatakan sebagai:

$$v = r\omega$$

Persamaan ini menghubungkan kecepatan linear dari gerak translasi dengan kecepatan sudut dari gerak rotasi.

Gerak Menggelinding Tanpa Slip

Pada gerakan menggelinding tanpa slip, hubungan antara translasi dan rotasi menjadi:

$$v = r\omega$$

Dengan demikian, kecepatan translasi pusat massa v berhubungan langsung dengan kecepatan sudut ω , dan torsi yang bekerja pada benda menyebabkan baik translasi maupun rotasi.

Energi Kinetik Total dalam Gerak Menggelinding

Energi kinetik total dari benda yang menggelinding tanpa slip terdiri dari energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasi:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Dengan I adalah momen inersia terhadap sumbu rotasi.

Rotasi benda tegar adalah salah satu aspek fundamental dari dinamika yang mencakup momen inersia, torsi, dan gerak rotasi. Dengan memahami hubungan antara rotasi dan translasi, serta bagaimana gaya dan torsi mempengaruhi benda yang berputar, kita bisa menganalisis berbagai fenomena fisika, mulai dari gerakan roda hingga rotasi planet.

4.10 Hukum Kekekalan Energi dan Momentum

Kekekalan Energi Mekanik

Prinsip fundamental dalam mekanika klasik yang menyatakan bahwa jumlah total energi mekanik dalam suatu sistem tertutup tetap konstan selama tidak ada gaya luar yang melakukan kerja non-konservatif (seperti gaya gesekan atau hambatan udara). Energi mekanik mencakup energi kinetik (E_k) dan energi potensial (E_p).

Prinsip kekekalan energi mekanik dirumuskan sebagai:

$$E_{total} = E_k + E_p = \textit{konstan}$$

1. Energi Kinetik (E_k)

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya, diberikan oleh:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

di mana:

- m = massa benda (kg),
- v = kecepatan benda (m/s).

2. Energi Potensial (E_p)

Energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena posisinya dalam medan gaya. Jenis energi potensial yang umum adalah:

Energi Potensial Gravitasi:

$$E_p = mgh$$

di mana:

m = massa benda (kg),

g = percepatan gravitasi (9.8m/s^2),

h = ketinggian benda dari referensi (m).

Energi Potensial Elastis (untuk pegas):

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

di mana:

k = konstanta pegas (N/m),

x = simpangan dari posisi setimbang (m).

3. Prinsip Kekekalan Energi Mekanik

Dalam sistem tertutup tanpa gaya non-konservatif:

$$E_{mekanik} = E_k + E_p = \textit{konstan}$$

Artinya, energi dapat berpindah dari bentuk kinetik ke potensial atau sebaliknya, tetapi total energi mekanik tetap sama.

Prinsip kekekalan energi mekanik membantu kita memahami perubahan energi dalam berbagai sistem fisika. Dengan mempelajari bagaimana energi kinetik dan energi potensial berubah tetapi tetap mempertahankan totalnya, kita dapat menganalisis gerakan benda, osilasi, dan berbagai fenomena lainnya dengan lebih sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

- Hibbeler, R.C. (2016). *Engineering Mechanics: Dynamics*. Pearson Education
- Tipler, P.A. & Mosca, G. (2008). *Physics for Scientists and Engineers*. W.H. Freeman..
- Newton, I. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. University of California Press.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics*. Wiley.
- Meriam, J.L., Kraige, L.G. (2007). *Engineering Mechanics: Dynamics*. Wiley.
- Young, H.D. & Freedman, R.A. (2011). *University Physics with Modern Physics*. Pearson.
- Serway, R.A. & Jewett, J.W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.
- Giancoli, D.C. (2008). *Physics: Principles with Applications*. Pearson.
- Beer, F.P., Johnston, E.R. (2013). *Vector Mechanics for Engineers: Dynamics*. McGraw-Hill Education.
- Kleppner, D. & Kolenkow, R. (2014). *An Introduction to Mechanics*. Cambridge University Press.
- Marion, J.B. & Thornton, S.T. (2004). *Classical Dynamics of Particles and Systems*. Thomson Brooks/Cole.
- Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical Mechanics*. Addison Wesley.
- Landau, L.D. & Lifshitz, E.M. (1976). *Mechanics*. Butterworth-Heinemann.
- Feynman, R.P., Leighton, R.B., & Sands, M. (2010). *The Feynman Lectures on Physics*. Basic Books.
- French, A.P. (1971). *Vibrations and Waves*. W.W. Norton & Company.
- Crawford, F.S. (1968). *Waves*. McGraw-Hill.
- Rigid Body Dynamics - Greenwood, D.T. (2003). *Principles of Dynamics*. Prentice Hall.
- Thornton, S.T., & Marion, J.B. (2004). *Classical Dynamics of Particles and Systems*. Thomson Brooks/Cole.
- Bower, T., & Amundson, S.J. (2007). *Mechanics of Solids*. CRC Press.

Misner, C.W., Thorne, K.S., & Wheeler, J.A. (1973). Gravitation. W.H. Freeman.

BAB 5

USAHA – ENERGI MEKANIK

Oleh Widyantoro

5.1 Pendahuluan

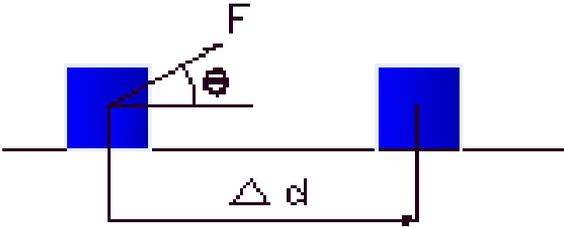
Konsep usaha dan energi merupakan bagian penting dalam fisika yang memiliki aplikasi luas dalam kehidupan sehari-hari dan berbagai bidang teknologi. Pemahaman yang baik tentang usaha dan energi sangat diperlukan untuk memahami bagaimana benda bergerak, bagaimana energi dialirkan, serta bagaimana perubahan energi terjadi dalam sistem mekanik. Dalam dunia teknik dan industri, konsep ini menjadi fondasi bagi pengembangan mesin, alat-alat mekanik, hingga sistem pembangkit energi.

Pada dasarnya, usaha didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada sebuah benda dan menyebabkan perpindahan, sedangkan energi adalah kapasitas untuk melakukan usaha. Konsep-konsep ini terkait erat dan saling melengkapi dalam menjelaskan fenomena-fenomena fisika. Misalnya, energi kinetik dan energi potensial, dua bentuk energi mekanik, memainkan peran kunci dalam sistem yang bergerak dan dalam mekanisme prinsip konservasi energi, yang menyatakan bahwa energi dalam sistem tertutup tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, melainkan hanya dapat berubah bentuk.

5.2 Usaha

Usaha adalah konsep yang menjelaskan hubungan antara gaya dan perpindahan. Secara sederhana, usaha terjadi ketika gaya yang diberikan pada sebuah benda menyebabkan benda tersebut berpindah. Usaha merupakan besaran skalar yang dinyatakan sebagai hasil perkalian antara gaya yang diberikan pada benda dengan jarak perpindahan benda dalam arah gaya tersebut.

Rumus Usaha



Secara matematis, usaha dapat dirumuskan sebagai:

$$W = F \cdot d \cdot \cos(\theta)$$

Keterangan:

- W adalah usaha (joule, J),
- F adalah besar gaya yang bekerja pada benda (newton, N),
- d adalah jarak perpindahan benda (meter, m),
- θ adalah sudut antara arah gaya dan perpindahan.

Dari persamaan ini, dapat dilihat bahwa usaha bergantung pada komponen gaya yang searah dengan perpindahan benda. Jika gaya bekerja tegak lurus terhadap arah perpindahan ($\theta = 90^\circ$), maka usaha yang dilakukan adalah nol, karena gaya tersebut tidak menyebabkan perpindahan dalam arah gaya.

Satuan Usaha

Dalam Sistem Internasional (SI), usaha diukur dalam **joule (J)**. Satu joule didefinisikan sebagai usaha yang dilakukan ketika gaya sebesar satu newton menggerakkan suatu benda sejauh satu meter dalam arah gaya tersebut. Dengan kata lain:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Tanda Usaha

1. **Usaha positif:** terjadi ketika gaya yang diberikan searah dengan perpindahan benda, misalnya saat Anda mendorong sebuah benda dan benda tersebut bergerak maju.
2. **Usaha negatif:** terjadi ketika gaya yang diberikan berlawanan arah dengan perpindahan, seperti saat Anda mencoba menghentikan gerakan benda yang bergerak.

3. **Usaha nol:** terjadi ketika tidak ada perpindahan meskipun gaya diberikan, atau ketika gaya tegak lurus dengan perpindahan.

Contoh Usaha dalam Kehidupan Sehari-hari

1. **Mendorong mobil yang mogok:** Usaha dilakukan ketika Anda mendorong mobil dan mobil tersebut bergerak.
2. **Mengangkat benda:** Ketika Anda mengangkat barang dari lantai ke atas meja, Anda melakukan usaha terhadap barang tersebut dengan mengatasi gaya gravitasi.
3. **Melempar bola:** Saat Anda memberikan gaya pada bola dan bola bergerak, usaha dilakukan untuk memindahkan bola dari satu titik ke titik lain.

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Usaha

1. **Besar Gaya:** Semakin besar gaya yang diberikan, semakin besar usaha yang dilakukan.
2. **Perpindahan:** Usaha bergantung pada seberapa jauh benda berpindah dalam arah gaya.
3. **Arah Gaya dan Perpindahan:** Usaha maksimum terjadi jika gaya dan perpindahan searah. Jika tidak, hanya komponen gaya yang searah perpindahan yang berkontribusi pada usaha.

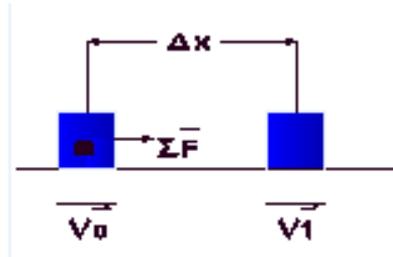
Usaha adalah besaran yang menggambarkan transfer energi melalui gaya yang menyebabkan perpindahan. Pemahaman tentang usaha menjadi dasar penting dalam berbagai penerapan fisika, termasuk perhitungan energi dalam sistem mekanik, desain alat-alat kerja, dan dalam analisis berbagai fenomena fisik di sekitar kita.

5.3 energi mekanik

Energi mekanik adalah bentuk energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya (energi kinetik) dan posisinya (energi potensial). Dalam konteks fisika, energi mekanik merupakan jumlah dari energi kinetik dan energi potensial dalam suatu sistem. Energi mekanik sering digunakan untuk memahami gerakan benda, seperti benda yang jatuh, kendaraan yang bergerak, atau pegas yang beresilasi.

Jenis Energi Mekanik

1. **Energi Kinetik (Energi Gerak)** Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena gerakannya. Besarnya energi kinetik tergantung pada massa dan kecepatan benda.



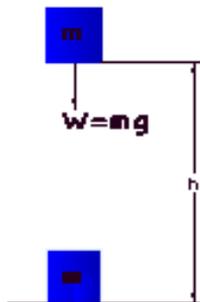
Gambar menunjukkan sebuah balok bermassa m yang bergerak melalui perpindahan yang diarahkan ke kanan di beri aksi gaya yang diarahkan ke kanan.

Secara matematis, energi kinetik dirumuskan sebagai:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Di mana:

- E_k adalah energi kinetik (dalam joule),
 - m adalah massa benda (dalam kilogram),
 - v adalah kecepatan benda (dalam meter per detik).
2. **Energi Potensial (Energi Simpanan)** Energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh benda karena posisinya dalam medan gaya, seperti gaya gravitasi atau gaya elastis. Ada dua jenis energi potensial yang paling umum:



Pada gambar dimana sebuah benda dijatuhkan dari atas dengan jarak h bergerak kebawah karena gravitasi bumi

- **Energi Potensial Gravitasi:** Energi ini dimiliki oleh benda karena posisinya relatif terhadap permukaan bumi, seperti batu di ketinggian tertentu. Rumusnya:

$$E_p = mgh$$

Di mana:

- E_p adalah energi potensial gravitasi (dalam joule),
- m adalah massa benda (dalam kilogram),
- g adalah percepatan gravitasi (sekitar $9,8 \text{ m/s}^2$),
- h adalah ketinggian benda (dalam meter).

Energi Mekanik Total

Energi mekanik total dalam suatu sistem merupakan jumlah dari energi kinetik dan energi potensial. Rumusnya adalah:

$$E_m = E_k + E_p$$

Di mana:

- E_m adalah energi mekanik total,
- E_k adalah energi kinetik,
- E_p adalah energi potensial.

Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Dalam sistem tertutup tanpa pengaruh gaya eksternal (seperti gesekan atau resistansi udara), energi mekanik total suatu benda akan tetap konstan. Ini dikenal sebagai hukum kekekalan energi mekanik. Dengan kata lain, jika tidak ada energi yang hilang, energi potensial dapat berubah menjadi energi kinetik dan sebaliknya, tetapi jumlah total energi mekanik tetap sama.

Contoh Energi Mekanik

1. **Bola yang dilempar ke atas:** Saat bola mencapai ketinggian tertinggi, energi kinetiknya berkurang menjadi nol dan energi potensialnya maksimum. Ketika bola jatuh, energi potensial berubah kembali menjadi energi kinetik.
2. **Bandul:** Pada saat bandul berada di titik tertinggi, energi potensialnya maksimum dan energi kinetiknya nol. Saat bandul

melewati titik terendah, energi kinetiknya maksimum dan energi potensialnya minimum.

Energi mekanik adalah konsep kunci dalam memahami gerak dan perubahan energi dalam sistem fisik. Ini membantu kita memahami bagaimana energi berubah dari satu bentuk ke bentuk lain dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada mesin, alat transportasi, dan berbagai fenomena alam.

DAFTAR PUSTAKA

Raymond A. S. and John W. J. 2018. Physics for Scientists and Engineers. Boston: Cengage Learning

BAB 6

FLUIDA STATIS

Oleh Harmailis

6.1 Sifat Dasar Fluida

Zat Cair (Fluida) adalah zat yang bisa mengalir, yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk (*deformasi*) apabila mengalami tegangan geser. Fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Fluida dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu zat cair dan gas. Zat cair dan gas mempunyai sifat-sifat yang serupa, dua hal yang penting yaitu : 1. Kedua zat tidak melawan perubahan bentuk. 2. Kedua zat tidak mengadakan reaksi terhadap gaya geser, yaitu gaya yang bekerja sejajar dengan permukaan lapisan-lapisan zat cair atau gas yang mencoba untuk menggeser lapisan-lapisan tersebut antara satu terhadap yang lain. Perbedaan utama antara zat cair dan gas adalah : 1. Zat cair mempunyai muka air bebas, dan massa zat cair hanya akan mengisi volume yang diperlukan dalam suatu ruangan; sedangkan gas tidak mempunyai permukaan bebas dan massanya akan mengisi seluruh ruangan. 2. Zat cair merupakan zat cair yang praktis tidak termampatkan, sedangkan gas adalah zat bisa dimampatkan. Perilaku zat cair, terutama air, banyak dipelajari dalam bidang teknik sipil, sedangkan gas banyak dipelajari dalam bidang teknik mesin, kimia, dan sebagainya. Pada pada buku ini akan dibahas perilaku zat cair, terutama air. Zat cair mempunyai beberapa sifat berikut : 1. Apabila ruangan lebih besar dari volume zat cair, akan terbentuk permukaan bebas horizontal yang berhubungan dengan atmosfer. 2. Mempunyai rapat massa (*density*), berat jenis, dan kapilaritas, 3. Dapat dianggap tidak termampatkan (*incompressible*), 4. Mempunyai viskositas (kekentalan), 5. Mempunyai kohesi, adhesi dan tegangan permukaan.

6.2 Rapat Massa (*density*)

Rapat massa, ρ (rho) didefinisikan sebagai massa zat cair tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

dimana M adalah massa yang menempati volume V.

Dalam sistem satuan SI apabila massa diberikan dalam kilogram (kg), maka rapat massa adalah dalam kilogram per meter kubik (kg m^{-3}). Rapat massa air pada suhu 40C dan tekanan atmosfer standar adalah 1000 kg / m^3

6.3 Berat Jenis atau Berat Spesifik

Berat jenis yang diberi notasi γ (gamma), adalah berat benda tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu. Berat suatu benda adalah hasil kali antara massa dan percepatan gravitasi.

$$W = mg$$

Hubungan antara berat jenis dan rapat massa adalah :

$$\gamma = \rho g$$

Dimana :

γ = berat jenis (N/m^3 untuk satuan SI atau kgf/m^3 untuk satuan MKS)

ρ = rapat massa (kg/m^3 untuk satuan SI atau kgm/m^3 untuk MKS)

g = percepatan gravitasi (m/det^2).

Berat jenis air pada suhu 4° C dan tekanan atmosfer adalah $9,81 \text{ kN/m}^3$ atau 1000 kgf/m^3 atau 1 ton/m^3 .

Apabila di dalam suatu permasalahan digunakan sistem satuan SI maka semua hitungan menggunakan rapat massa ρ , dan nilainya untuk air pada suhu 4°C dan tekanan atmosfer adalah $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Sedangkan pada pemakaian sistem satuan MKS hitungan dilakukan dengan menggunakan berat jenis γ , yang nilainya untuk air pada suhu 4°C dan tekanan atmosfer adalah $\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3 = 1 \text{ ton/m}^3$.

6.4 Rapat Relatif

Rapat relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara rapat massa suatu zat dan rapat massa air. Karena $\gamma = \rho g$ maka rapat relatif juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara berat jenis suatu zat dan berat jenis air pada 4°C dan tekanan atmosfer. Bilangan rapat relatif tak berdimensi dan diberi dengan notasi S .

$$S = \frac{\rho_{\text{zat - cair}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{\gamma_{\text{zat - cair}}}{\gamma_{\text{air}}}$$

6.5 Kekentalan Zat Cair (Viskositas)

Kekentalan adalah sifat zat cair untuk melawan tegangan geser pada waktu bergerak/mengalir. Kekentalan disebabkan karena kohesi antara partikel zat cair. Zat cair ideal tidak mempunyai kekentalan. Zat cair kental seperti sirup atau oli, mempunyai kekentalan besar; sedangkan zat cair encer, seperti air, mempunyai kekentalan kecil.

Gambar 6.1, di bawah ini menunjukkan zat cair yang terletak di antara dua plat sejajar yang berjarak sangat kecil Y . Plat bagian bawah diam sedangkan plat bagian atas bergerak dengan kecepatan U . Partikel zat cair yang bersinggungan dengan plat yang bergerak mempunyai kecepatan yang sama dengan plat tersebut. Tegangan geser antara dua lapis zat cair adalah sebanding dengan gradien kecepatan dalam arah tegak lurus dengan gerak (dv/dy).

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

dimana :

μ = adalah kekentalan dinamik (N det /m²)

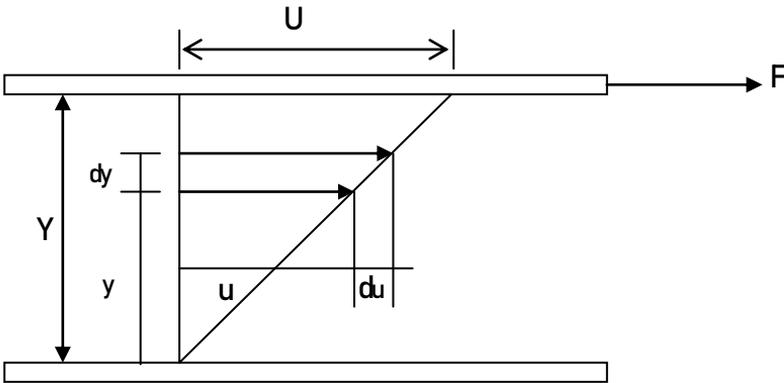
τ = tegangan geser (N/m²)

Dalam beberapa masalah mengenai gerak zat cair, kekentalan absolut dihubungkan dengan dengan rapat massa dalam bentuk :

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

dimana :

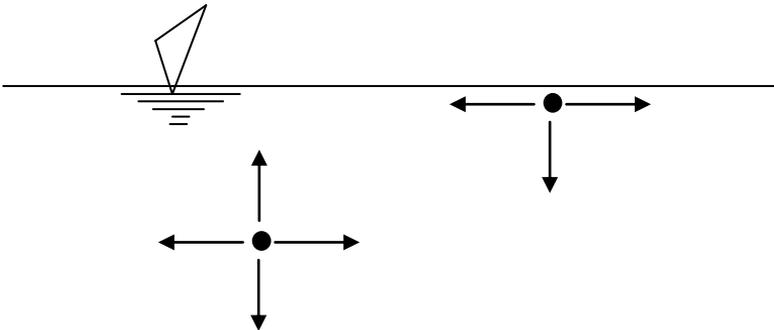
ν = adalah kekentalan kinematik (m^2 / det)



Gambar 6.1. Deformasi zat cair

6.6 Tegangan Permukaan

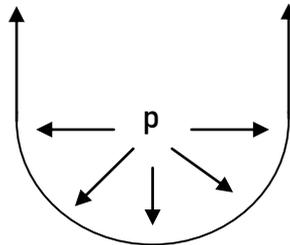
Melekul-melekul zat cair saling tarik menarik di antara sesamanya dengan gaya berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat massa. Gaya tarik menarik tersebut adalah setimbang. Tetapi pada permukaan antara zat cair dan udara, atau antara zat satu dengan zat lainnya, gaya tarik ke atas dan ke bawah tidak setimbang (perhatikan Gambar 6.2)



Gambar 6.2. Gaya-gaya molekul di dalam zat cair

Ketidaksetimbangan tersebut menyebabkan melekul-melekul pada permukaan melakukan kerja untuk membentuk permukaan zat cair. Kerja yang dilakukan untuk melawan gaya tarik ke bawah tersebut dikenal dengan tegangan permukaan. Adanya tegangan

permukaan tersebut menyebabkan terbentuknya lapisan tipis pada permukaan zat cair yang mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan tarik. Tegangan permukaan σ (sigma) bekerja pada bidang permukaan yang sama besar di semua titik. Gaya tarik yang bekerja pada permukaan akan berusaha untuk meminimumkan luas permukaan. Oleh karena itu tetesan zat cair akan berusaha untuk berbentuk bulat agar luas permukaannya minimum. Pada tetesan zat cair, tegangan permukaan akan menaikkan tekanan di dalam tetesan. Suatu tetes zat cair dengan jari-jari r ; tekanan dalam p yang diperlukan untuk mengimbangi gaya tarik karena tegangan permukaan dihitung berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada belahan tetesan zat cair (Gambar 6.3).



Gambar 6.3. Tegangan permukaan pada tetesan zat cair

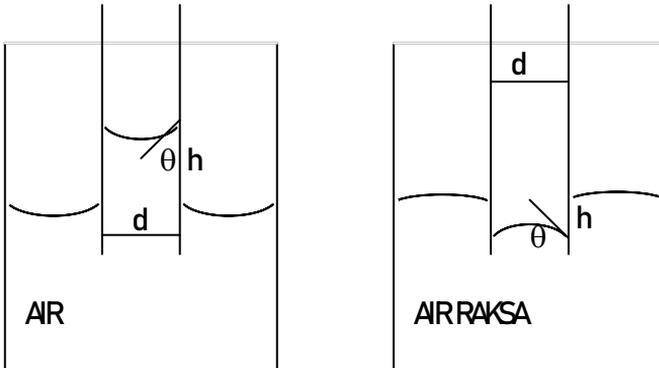
Gaya tekanan dalam adalah $p \pi r^2$ sedang tegangan permukaan pada keliling adalah $2 \pi r \sigma$. Untuk kesetimbangan, akan terdapat hubungan :

$$2 \pi r \sigma = \pi r^2 p \text{ atau } p = 2\sigma / r$$

Di dalam bidang keteknikan, besarnya gaya tegangan permukaan adalah sangat kecil dibandingkan dengan gaya-gaya lain yang bekerja pada zat cair, sehingga biasanya dapat diabaikan.

6.7 Kapilaritas

Kapilaritas disebabkan oleh gaya kohesi dan adhesi. Di dalam suatu tabung yang dimasukkan ke dalam zat cair, jika kohesi lebih kecil dari adhesi maka zat cair akan naik; jika kohesi lebih besar dari adhesi maka zat cair akan turun. Sebagai contoh, kapilaritas akan membuat air naik pada tabung gelas, sementara air raksa akan turun seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Kapilaritas

Kenaikan kapiler (atau penurunan) di dalam suatu tabung dapat dihitung dengan menyamakan gaya angkat yang dibentuk oleh tegangan permukaan dengan gaya berat.

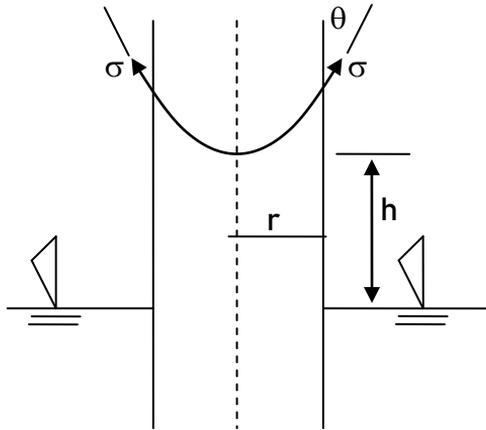
$$P \sigma \cos \theta = A h \gamma$$

$$2 \pi r \sigma \cos \theta = \pi r^2 h \gamma$$

$$h = 2 \sigma \cos \theta / \gamma r$$

Dimana :

- P = keliling tabung
- A = luas penampang tabung
- σ = tegangan permukaan
- γ = berat jenis zat cair
- r = jari-jari tabung
- h = kenaikan kapiler.



Gambar 6.5. Gaya-gaya pada kapilaritas

Zat cair yang berada di dalam tangki atau kolom air mempunyai permukaan horizontal dimana tekanannya adalah konstan. Pada tangki terbuka permukaan tersebut mengalami tekanan atmosfer, sedang pada tangki tertutup tekanannya bisa lain dari tekanan atmosfer

Pada zat cair dalam keadaan diam tidak terjadi tegangan geser diantara partikel zat cair. Suatu benda yang berada dalam zat cair diam akan mengalami gaya-gaya yang ditimbulkan oleh tekanan zat cair. Tekanan tersebut bekerja tegak lurus pada permukaan benda. Gaya-gaya yang bekerja tersebut tidak tergantung kepada viskositas zat cair. Oleh sebab itu analisis tentang zat cair dalam keadaan diam akan lebih sederhana dibandingkan zat cair yang bergerak.

6.8 Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai jumlah gaya tiap satuan luas. Apabila gaya terdistribusi secara merata pada suatu luasan, maka tekanan dapat ditentukan dengan membagi gaya dengan luas, yang diberikan dalam bentuk persamaan berikut :

$$P = \frac{F}{A}$$

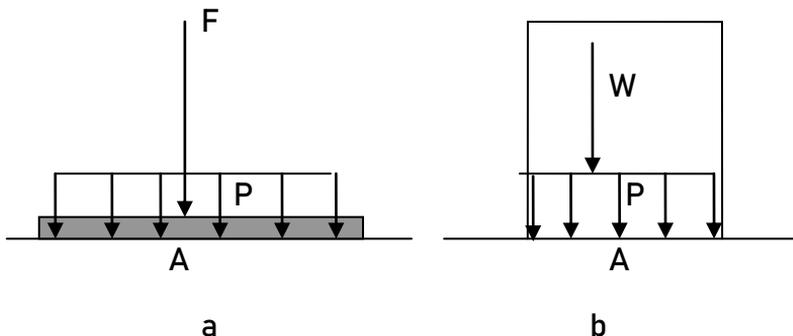
dimana :

P = Tekanan (kg/m^2 atau N/m^2)

F = Gaya (Kg atau N)

A = Luas (m^2)

Suatu plat dengan luas A terletak di lantai (Gambar 6.6). Apabila di atas plat bekerja gaya F, maka plat akan memberikan tekanan ke lantai sebesar $P=F/A$. Demikian juga suatu benda dengan berat W dan tampang melintang A akan memberikan tekanan pada lantai sebesar $P = W/A$.



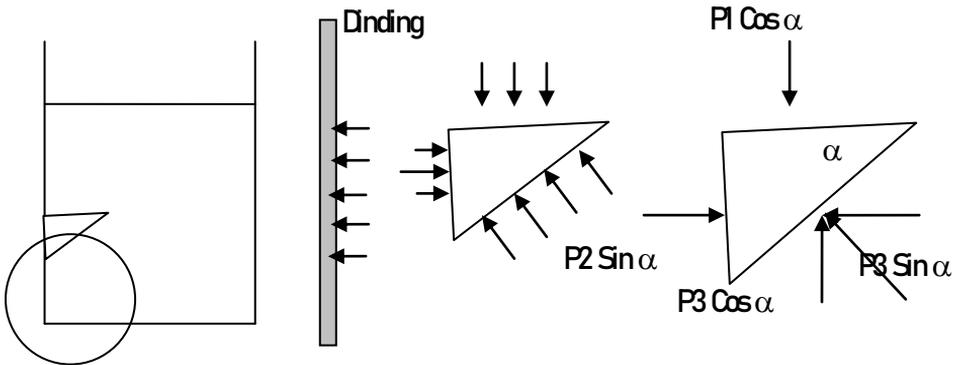
Gambar 6.6. Gaya dan Tekanan

Dalam sistem satuan MKS, gaya dan luas mempunyai satuan kgf (kilogram force) dan m^2 sehingga tekanan mempunyai satuan kilogram force per meter persegi (kgf/m^2). Sedang dalam sistem satuan SI, gaya dan luas mempunyai satuan Newton (N) dan meter persegi (m^2) sehingga tekanan adalah dalam Newton per meter persegi (N/m^2). Tekanan sebesar 1 N/m^2 dikenal sebagai 1 Pascal (Pa).

6.8.1 Tekanan pada Suatu Titik (Hukum Pascal)

Di dalam zat cair diam tidak terjadi tegangan geser dan gaya yang bekerja pada suatu bidang adalah gaya tekanan yang bekerja

tegak lurus pada bidang tersebut. Tekanan pada setiap titik di dalam zat cair diam adalah sama dalam segala arah. Untuk membuktikan hal ini, dipandang suatu freebody zat cair berbentuk prisma segitiga sangat kecil, seperti Gambar 6.7. berikut :



Gambar 6.7. Elemen zat cair diam

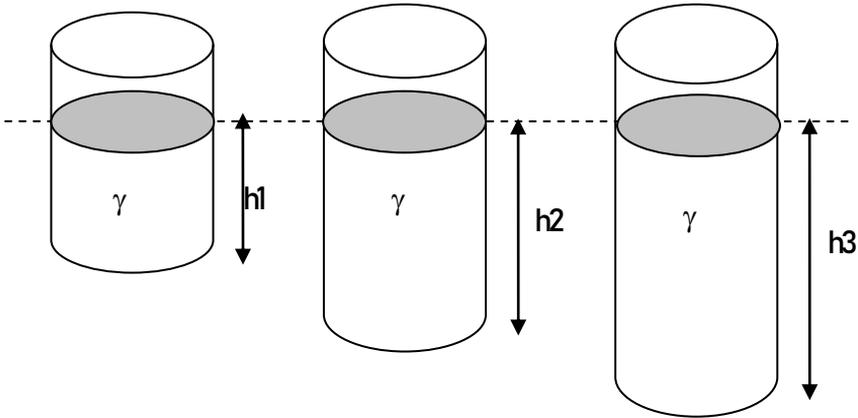
Dari Gambar 6.7. di atas, Berdasarkan Hukum Keseimbangan, maka :

$$\sum V = 0 \rightarrow p_1 \cos \alpha - p_3 \cos \alpha = 0 \rightarrow p_1 = p_3$$

$$\sum H = 0 \rightarrow p_2 \sin \alpha - p_3 \sin \alpha = 0 \rightarrow p_2 = p_3$$

$$p_1 = p_2 = p_3 = \gamma h$$

Ini berarti : Tekanan dalam berbagai arah yang bekerja pada suatu titik dalam zat cair yang diam adalah sama



Gambar 6.8. Tangki berisi zat cair.

Gambar 6.8. di atas menunjukkan beberapa tangki berisi zat cair yang sama dalam keadaan diam. Zat cair itu mempunyai permukaan horizontal yang sama. Kedalaman zat cair adalah h_1 , h_2 dan h_3 . Dengan luas dasar sama yaitu A .

Bila berat jenis zat cair adalah γ , maka berat zat cair (w) di atas dasar masing-masing tangki adalah :

$$\begin{aligned}
 w_1 &= \text{berat zat cair di atas dasar tangki} \\
 &= \gamma \times \text{volume zat cair} \\
 &= \gamma A h_1 \rightarrow \text{dengan cara yang sama diperoleh :} \\
 w_2 &= \gamma A h_2 \\
 w_3 &= \gamma A h_3
 \end{aligned}$$

Tekanan yang bekerja pada masing-masing tangki adalah :

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{w_1}{A} = \frac{\gamma A h_1}{A} = \gamma h_1 \\
 P_2 &= \frac{w_2}{A} = \frac{\gamma A h_2}{A} = \gamma h_2 \\
 P_3 &= \frac{w_3}{A} = \frac{\gamma A h_3}{A} = \gamma h_3
 \end{aligned}$$

Dari ketiga bentuk persamaan di atas terlihat bahwa tekanan pada dasar tangki yang ditimbulkan oleh zat cair dalam keadaan diam

tergantung pada : kedalaman vertikal titik tersebut dari permukaan zat cair dan berat jenis zat cair.

Untuk zat cair yang sama, berat jenis yang ada dalam persamaan itu adalah konstan. Dengan demikian tekanan (p) hanya tergantung pada variabel h (kedalaman zat cair). Artinya tekanan merupakan fungsi kedalaman zat cair $\rightarrow p = f(h)$

Secara umum persamaan untuk tekanan dapat ditulis dalam bentuk:

$$p = \gamma \cdot h$$

Dalam sistem SI lebih sering digunakan density atau kerapatan / rapat massa (ρ), maka persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$p = \rho g h \quad g = \text{gaya gravitasi}$$

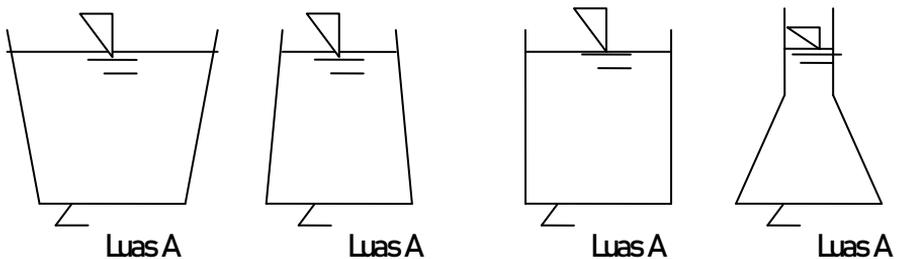
Tekanan di atas disebut dengan tekanan Hidrostatika.

Bila di atas permukaan zat cair terdapat tekanan p_0 , maka tekanan yang bekerja pada dasar tangki adalah :

$$p = \gamma \cdot h + p_0 \quad \text{atau :}$$

$$p = \rho g h + p_0$$

Karena tekanan hidrostatika hanya tergantung pada kedalaman zat cair (h), maka untuk kedalaman yang sama akan memberikan tekanan yang sama, meskipun bentuk tangki (wadah) berbeda. Seperti gambar berikut : untuk ke 4 wadah berbeda dg luas dasar A , tinggi h dan berat jenis zat cair γ sama akan menimbulkan tekanan pada dasar yang sama pula.



Gambar 6.9. Tekanan hidrostatik.

Tekanan pada dasar untuk masing-masing tangki adalah :

$$p = \gamma \cdot h$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya pada dasar} &\rightarrow F = p \times A \\ &= \gamma \cdot h \times A \\ &= \rho g h \times A \end{aligned}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Djojodihardjo, Harijono. 1983. Mekanika Fluida. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Featherstone, R.E., and Nalluri, C. 1995. Civil Engineering Hydraulics. Blackwell Science. USA
- Reuben M. Olson., dan Steven J. Wright. 1993. Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Thomas Krist. 1991. Hidraulika, Ringkas dan Jelas. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1993. Hidraulika I. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1993. Hidraulika II. Beta Offset. Yogyakarta.

BAB 7

FLUIDA DINAMIK: STUDI HIDRODINAMIKA PADA REAKTOR GELEMBUNG PANCARAN

Oleh Didiek Hari Nugroho

7.1 Pendahuluan

Reaktor Gelembung Pancaran (RGP) merupakan salah satu inovasi penting dalam teknik kimia dan proses industri, di mana teknik ini menggunakan semburan fluida berkecepatan tinggi untuk menciptakan pola aliran sirkulasi yang memungkinkan pencampuran dan transfer massa secara efisien. Konfigurasi unik ini membuat RGP sangat berguna dalam aplikasi, seperti fermentasi, pengolahan limbah, dan sintesis kimia, yang membutuhkan perpindahan massa intensif antara fase gas dan cair (Ranade, 2002).

RGP memanfaatkan prinsip hidrodinamika dari aliran jet, di mana fluida yang masuk berkecepatan tinggi menghasilkan aliran turbulen yang menggerakkan zat dalam reaktor. Energi kinetik dari semburan jet menginduksi sirkulasi fluida di dalam reaktor, yang mengakibatkan distribusi gas dan cair yang merata, serta peningkatan laju perpindahan massa (Gupta, Kumar, & Bhattacharya, 2007). Faktor-faktor seperti kecepatan jet, desain *nozzle*, serta geometri reaktor sangat mempengaruhi pola aliran, distribusi kecepatan, dan tekanan di dalam RGP, sehingga pemahaman menyeluruh tentang hidrodinamika dalam reaktor ini menjadi sangat penting.

Fluida dinamik dalam RGP juga memiliki peran penting dalam proses desain dan pengoptimalan operasi reaktor. Dengan memanfaatkan simulasi dan pendekatan ekperimental, para insinyur dapat memahami interaksi antara kecepatan jet dan pola sirkulasi di dalam reaktor, sehingga meningkatkan efisiensi reaksi dan mengurangi konsumsi energi (Takahashi, Kato, & Yamashita, 2011).

Teknik *Computational Fluid Dynamics* (CFD), misalnya, telah menjadi alat penting dalam penelitian hidrodinamika RGP, memungkinkan permodelan pola aliran dengan detail yang tinggi

serta prediksi hasil desain yang lebih akurat (Shao, Zhang, & Zhou, 2017)

Namun, dalam penerapannya, RGP memiliki tantangan tersendiri, khususnya dalam memastikan distribusi aliran yang stabil dan mengurangi potensi degradasi bahan akibat turbulensi berlebih. Oleh karena itu, studi mengenai dasar-dasar fluida dinamik dalam RGP memiliki relevansi besar untuk memastikan reaktor ini bekerja optimal dalam berbagai kondisi operasi.

Bab ini akan menguraikan teori dasar fluida dinamik yang terkait dengan Reaktor Gelembung Pancaran, meliputi konsep dasar fluida dinamik aliran jet, pola aliran sirkulasi, distribusi gelembung, kedalaman penetrasi gelembung, *hold-up* gas, serta studi kasus dan aplikasi di industri. Melalui pemahaman yang mendalam ini, diharapkan para pembaca dapat mengaplikasikan prinsip-prinsip fluida dinamik dalam perancangan dan optimalisasi RGP untuk aplikasi industri yang lebih efisien dan berkelanjutan.

7.2 Teori Dasar Fluida Dinamik dalam Reaktor Gelembung Pancaran

Reaktor Gelembung Pancaran (RGP) merupakan jenis reaktor yang memanfaatkan semburan atau jet cairan atau gas bertekanan tinggi untuk menciptakan aliran sirkulasi yang kuat, yang menghasilkan perpindahan massa dan panas yang efisien serta distribusi zat yang optimal di dalam reaktor. Desain ini memungkinkan RGP untuk digunakan dalam berbagai proses industri yang memerlukan kontak intensif antara gas dan cairan, seperti fermentasi aerobik, pengolahan limbah, dan sintesis kimia.

Fluida dinamik dalam RGP mencakup beberapa konsep kunci dalam mekanika fluida, yaitu aliran jet dan sirkulasi loop. Aliran jet adalah semburan fluida yang terarah, di mana momentum fluida bergerak dari tekanan tinggi di *nozzle* ke tekanan lebih rendah di dalam reaktor. Mekanisme ini menghasilkan pola aliran sirkulasi yang memutar di dalam reaktor, memungkinkan perpindahan massa dan panas yang lebih efektif serta menciptakan homogenitas yang tinggi. Proses ini berperan penting dalam meningkatkan efisiensi reaksi dan menurunkan waktu tinggal (Gimbun, D, & K, 2009).

Kecepatan aliran jet pada RGP sangat berpengaruh pada karakteristik fluida dinamik, termasuk pembentukan turbulensi dan pola sirkulasi. Saat semburan jet memasuki reaktor, energi kinetik dari aliran jet memindahkan momentum ke fluida yang ada di dalam reaktor, sehingga terbentuk aliran berkecepatan tinggi yang berputar dalam *loop*. Hasilnya adalah pola aliran yang kompleks, yang terdiri dari aliran turbulen dan *back-mixing*, yang membantu distribusi seragam zat di seluruh volume reaktor. Sebuah studi oleh Takahashi dkk (2011), dan Nugroho (2017) menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan jet dapat meningkatkan laju transfer massa, namun juga berpotensi meningkatkan konsumsi energi serta risiko degradasi produk yang sensitif terhadap gesekan.

Selain itu, pola aliran turbulen dalam RGP dapat dianalisis menggunakan teori fluida dinamik berdasarkan persamaan Navier-Stokes. Persamaan ini memberikan model matematika untuk memprediksi distribusi kecepatan, tekanan, dan pola aliran yang timbul akibat interaksi antara momentum fluida dengan batas-batas reaktor (R Byron, Stewart, & Lightfoot, 2007). Fluida dinamik dalam RGP juga dipengaruhi oleh faktor geometri reaktor, seperti ukuran *nozzle* dan panjang *loop*, yang akan memengaruhi tingkat kecepatan aliran serta pola sirkulasi di dalam reaktor (Nugroho, Adisalamun, & Machdar, 2014).

Teknik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) digunakan secara luas untuk memodelkan perilaku fluida dalam RGP dan memahami pola aliran yang kompleks. CFD memungkinkan para peneliti untuk mensimulasikan distribusi kecepatan dan tekanan serta memprediksi fenomena turbulen secara lebih rinci. Hal penting dalam proses perancangan, karena dapat membantu memaksimalkan kinerja reaktor dengan efisiensi energi yang lebih baik dan peningkatan produktivitas.

Secara keseluruhan, pemahaman tentang teori dasar fluida dinamik dalam reaktor gelembung pancaran menjadi kunci dalam mengoptimalkan kinerja reaktor ini. Dengan mendalami aliran jet dan pola sirkulasi yang terjadi di dalam reaktor, RGP dapat dioptimalkan untuk menghasilkan efisiensi tinggi dalam berbagai proses industri yang memerlukan reaksi gas-cair.

7.3 Pola Aliran dalam Reaktor Gelembung Pancaran

Pola aliran dalam Reaktor Gelembung Pancaran (RGP) merupakan elemen kritis yang menentukan efisiensi pencampuran dan perpindahan massa, sehingga memahami pola aliran ini menjadi kunci dalam optimalisasi kinerja reaktor. Pada RGP, fluida didorong melalui *nozzle* bertekanan tinggi yang menciptakan aliran jet dengan energi kinetik yang cukup besar. Ketika semburan jet ini memasuki reaktor, ia memindahkan momentum ke fluida di dalamnya, menghasilkan aliran berkecepatan tinggi yang membentuk sirkulasi *loop* atau pusaran dalam reaktor.

Ada beberapa karakteristik pola aliran dalam RGP, yaitu aliran sirkulasi, aliran turbulen, dan aliran balik atau *back-mixing*. Pola aliran sirkulasi terbentuk ketika semburan jet menggerakkan fluida dalam jalur sirkulasi besar di dalam reaktor, biasanya mengikuti jalur toroidal atau melingkar. Aliran ini memungkinkan pencampuran yang intensif, karena fluida terus beredar melewati zona jet sehingga menghasilkan perpindahan massa dan panas yang optimal (Takahashi, Kato, & Yamashita, 2011).

Selain itu, semburan jet juga menciptakan aliran turbulen di area sekitar *nozzle*. Aliran turbulen ini menginduksi pencampuran pada skala yang lebih kecil, sehingga meningkatkan kontak antara fase gas dan cair dan memaksimalkan efisiensi transfer massa. Aliran balik atau *back-mixing* sering terjadi pada bagian reaktor yang lebih jauh dari *nozzle* dan pusat sirkulasi. Pola ini memungkinkan distribusi fluida yang lebih seragam dan pengurangan gradien konsentrasi dalam reaktor, yang pada gilirannya meningkatkan homogenitas reaksi.

Geometri reaktor dan kecepatan jet memiliki pengaruh besar terhadap pola aliran dalam RGP. Ukuran dan posisi *nozzle*, misalnya, memengaruhi jalur sirkulasi utama dan intensitas turbulensi (Nugroho D. H., 2017). Semakin tinggi kecepatan jet, semakin besar energi kinetik yang dihasilkan, yang dapat meningkatkan kecepatan aliran sirkulasi dan distribusi ke seluruh volume reaktor, tetapi juga bisa menyebabkan degradasi bahan karena gesekan (Gimbun, D, & K, 2009). Selain itu, kecepatan jet yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan kavitasi atau pembentukan gelembung gas pada

tekanan rendah di area sekitar *nozzle*, yang dapat mengganggu pola aliran yang stabil.

Studi permodelan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) memberikan pemahaman lebih dalam mengenai distribusi kecepatan, tekanan, dan pola aliran yang kompleks dalam RGP memungkinkan visualisasi pola aliran yang membantu menentukan parameter operasi yang ideal serta meminimalkan risiko aliran yang tidak stabil atau pencampuran yang kurang efektif (Shao, Zhang, & Zhou, 2017).

Dengan memahami pola aliran dalam Reaktor Gelembung Pancaran, perancangan reaktor dapat menyesuaikan variabel operasi dan konfigurasi desain untuk mencapai pencampuran dan transfer massa yang optimal (Nugroho & Hasan, 2024). Pola aliran yang efektif di dalam RGP memungkinkan proses yang lebih efisien, menjadikan reaktor ini pilihan yang menarik dalam berbagai aplikasi industri yang membutuhkan reaksi gas-cair yang intensif.

7.4 Distribusi Gelembung, Kedalaman penetrasi gelembung dan *Hold-up* Gas

Distribusi gelembung, kedalaman penetrasi gelembung, dan *hold-up* gas adalah tiga aspek penting dalam operasi Reaktor Gelembung Pancaran (RGP), khususnya dalam proses-proses yang memerlukan interaksi intensif antara fase gas dan cair. Distribusi gelembung gas yang merata, kedalaman penetrasi gelembung dan *hold-up* gas yang optimal dapat meningkatkan area antarmuka antara gas dan cairan, memperbaiki efisiensi perpindahan massa, dan mempercepat reaksi kimia dalam reaktor.

Pada RGP, gas diinjeksikan melalui *nozzle* dengan kecepatan tinggi, yang menghasilkan aliran jet berenergi tinggi. Energi kinetik dari aliran ini memecah aliran gas menjadi gelembung-gelembung halus yang tersebar merata dalam cairan. Proses ini menciptakan aliran turbulen, yang pada gilirannya meningkatkan distribusi gelembung gas di seluruh volume reaktor. Peningkatan distribusi gelembung gas di seluruh volume reaktor. Peningkatan distribusi ini memperbesar luas permukaan kontak antara gas dan cairan, yang

penting untuk mempercepat proses reaksi atau transfer massa dalam fase gas-cair.

Distribusi gelembung pada RGP juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti geometri reaktor dan kedalaman cairan. Geometri *nozzle* dan ukuran reaktor menentukan distribusi ukuran gelembung yang terbentuk. Sebuah studi oleh Gimbin dkk (2009) dan Nugroho dkk (2014) menunjukkan bahwa dengan penyesuaian parameter desain *nozzle*, distribusi ukuran dan kedalaman penetrasi gelembung dapat dikontrol, sehingga meningkatkan homogenitas *hold-up* gas dalam reaktor. Pada kondisi yang optimal, RGP dapat mempertahankan distribusi gelembung halus dan nilai *hold-up* yang stabil, yang penting untuk memastikan bahwa proses reaksi berlangsung merata di seluruh volume reaktor.

1. Distribusi Gelembung Gas

Distribusi ukuran gelembung dapat diekspresikan melalui beberapa model distribusi, seperti distribusi log-normal atau fungsi Weibull. Umumnya, ukuran gelembung dalam RGP dipengaruhi oleh kecepatan jet, viskositas cairan, dan ukuran *nozzle*. Berikut ini adalah persamaan umum untuk ukuran rata-rata diameter gelembung (d_b):

$$d_b = C \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l U_j^2}}$$

Di mana:

d_b : Diameter rata-rata gelembung

C : Konstanta empiris yang bergantung pada kondisi operasi

σ : Tegangan permukaan antara gas dan cairan (N/m)

ρ_l : Densitas cairan (kg/m³)

U_j : Kecepatan jet (m/s)

2. Kedalaman Penetrasi Gelembung

Kedalaman penetrasi gelembung gas pada RGP adalah salah satu parameter penting untuk memahami distribusi gas dan efektivitas perpindahan massa antara fase gas dan cairan. Parameter ini dapat dihitung dengan menggunakan model dasar perpindahan massa dan aliran jet. Kedalaman penetrasi gelembung dalam RGP

sering kali bergantung pada momentum jet gas yang menyebar ke dalam cairan. Salah satu pendekatan umum menggunakan kecepatan jet dan viskositas cairan untuk memperkirakan jarak penetrasi (Lee & Kim, 2001):

$$d_p = C \frac{U_j^2 \cdot d_n}{g}$$

Di mana:

D_p : Kedalaman penetrasi gelembung (m)

C : Koefisien kontanta yang dipengaruhi oleh geometri reaktor dan densitas fluida

U_j : Kecepatan jet (m/s)

d_n : Dimeter *nozzle* (m)

g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

3. *Hold-Up Gas*

Hold-up gas merupakan fraksi volume gas terhadap total volume dalam reaktor dan dapat dihitung dari perbedaan ketinggian cairan pada reaktor dan pipa kapiler. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *hold-up gas* didasarkan pada prinsip-prinsip dasar tekanan pada suatu bejana (Nugroho, Adisalamun, & Machdar, 2014):

$$\varepsilon_g = 1 - \frac{h_f}{H_f}$$

Di mana:

h_f : Tinggi cairan pada pipa kapiler tambahan (m)

H_f : Tinggi cairan pada reaktor (m)

7.5 Studi Kasus dan Aplikasi Industri

Reaktor Gelembung Pancaran (RGP) telah diterapkan secara luas dalam berbagai industri berkat keunggulannya dalam efisiensi pencampuran, perpindahan massa, dan kontrol yang baik atas proses reaksi. Desain RGP yang unik, dengan pola aliran sirkulasi dan *hold-up gas* yang terdistribusi secara merata, membuatnya sangat cocok untuk proses yang membutuhkan kontak intensif antara fase gas dan cair. Beberapa studi kasus industri menunjukkan bagaimana RGP dioptimalkan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pengolahan limbah

cair amonia, pengolahan limbah cair, absorpsi emisi CO₂, absorpsi gas H₂S, dan produksi kimia.

Dalam industri pengolahan limbah amonia cair, RGP sering digunakan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan ammonia melalui proses udara *stripping*. Proses ini sangat menguntungkan dalam pengolahan air limbah karena sirkulasi aliran dan distribusi gas yang efisien mampu mempercepat proses *stripping*, dengan waktu *stripping* yang singkat dibandingkan dengan teknologi konvensional (Nugroho, Adisalamun, & Machdar, 2014).

Selain itu, RGP telah diterapkan secara luas dalam produksi bahan kimia, terutama pada proses reaksi kimia yang melibatkan gas sebagai pereaksi. Dalam sintesis bahan kimia seperti hidrogen peroksida dan berbagai senyawa organik, RGP memungkinkan proses yang lebih efisien dengan distribusi gelembung gas optimal dan pola aliran turbulen yang meningkatkan perpindahan massa. Sebuah studi yang dilakukan oleh Nugroho dkk menunjukkan bahwa dengan penyesuaian parameter operasional, seperti kecepatan jet dan ukuran diameter *nozzle*, efisiensi reaktor dapat ditingkatkan hingga mencapai produktivitas yang tinggi pada skala industri (Nugroho D. H., 2017).

Industri bioteknologi, khususnya fermentasi aerobik, juga dapat menggunakan RGP untuk proses produksi biomassa dan produk metabolit, seperti asam organik dan enzim. Pada proses fermentasi, oksigen merupakan komponen kritis, dan RGP menawarkan kapasitas transfer oksigen yang tinggi melalui distribusi gelembung halus dan pencampuran intensif. Pola aliran sirkulasi di dalam RGP memastikan bahwa mikroorganisme mendapat pasokan oksigen yang cukup, sehingga laju pertumbuhan dan produktivitas produk meningkat. Keuntungan ini sangat signifikan dalam produksi enzim dan asam amino pada skala komersial, di mana efisiensi waktu dan energi menjadi faktor penentu (Takahashi, Kato, & Yamashita, 2011).

Dari berbagai studi kasus ini, RGP terbukti sebagai teknologi reaktor yang serbaguna dan efisien, dengan potensi besar dalam berbagai aplikasi industri yang membutuhkan proses reaksi gas-cair. Optimalisasi parameter operasional dalam RGP memungkinkan reaktor ini menyesuaikan dengan kebutuhan spesifik dari setiap industri, memberikan efisiensi yang tinggi baik dalam hal energi, waktu, maupun biaya produksi.

7.6 Kesimpulan dan Prospek Masa Depan

Studi fluida dinamik dalam reaktor gelembung pancaran (RGP) memberikan wawasan penting mengenai mekanisme aliran, distribusi gelembung, *hold-up* gas, dan pola sirkulasi yang mendukung efisiensi perpindahan massa dan energi dalam reaktor gas-cair. Melalui pendekatan hidrodinamika, analisis fenomena seperti turbulensi, kecepatan aliran jet, dan karakteristik aliran dua fase telah memungkinkan peningkatan kinerja RGP untuk aplikasi industri. Konsep kecepatan superficial, *hold-up* gas, dan distribusi ukuran gelembung juga menjadi parameter penting dalam mengoptimalkan reaktor ini.

Dengan semakin berkembangnya kebutuhan teknologi reaktor yang efisien, penelitian lebih lanjut dalam fluida dinamik RGP menawarkan banyak peluang inovasi. Beberapa prospek utama di antaranya:

1. Pengembangan Model Simulasi yang lebih Akurat. Teknik permodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) terus berkembang, memungkinkan analisis pola aliran dua fase yang lebih rinci. Simulasi CFD berpotensi memberikan prediksi lebih akurat tentang distribusi tekanan, kecepatan, dan pola aliran di dalam reaktor. Peningkatan kemampuan permodelan ini akan membantu dalam desain RGP yang lebih optimal dan efisien (Ranade, 2002).
2. Optimalisasi Desain untuk Kondisi Operasi Spesifik. Penelitian terhadap parameter fluida dinamik, seperti geometri *nozzle*, kecepatan jet, dan rasio tinggi reaktor terhadap diameter, dapat membantu merancang RGP yang lebih adaptif terhadap berbagai kondisi operasi. Pengembangan desain yang fleksibel ini akan memungkinkan aplikasi yang lebih luas dalam industri seperti farmasi, kimia, dan pengolahan air (Gupta, Kumar, & Bhattacharya, 2007).
3. Aplikasi Aliran Multiphase di Lingkungan Ekstrem. Studi fluida dinamik pada kondisi ekstrem, seperti tekanan dan suhu tinggi, akan meningkatkan pemahaman tentang perilaku fluida dan reaksi kimia dalam lingkungan yang menantang. Penelitian ini relevan bagi industri minyak dan gas, di mana RGP dapat

diterapkan untuk pemisahan gas dan cairan serta proses pemurnian (Shao, Zhang, & Zhou, 2017).

4. Integrasi Teknologi AI dalam Pengolahan Data Aliran. Dengan meningkatnya volume data dari eksperimen fluida dinamik, teknologi kecerdasan buatan (AI) dan *machine learning* dapat membantu menganalisis dan mengoptimalkan data aliran. Teknologi ini memungkinkan identifikasi pola aliran yang lebih cepat dan pengembangan model prediksi yang lebih akurat untuk kondisi operasi RGP yang kompleks.
5. Penerapan untuk Proses Industri Berbasis Bio. Dalam proses berbasis bioteknologi, seperti fermentasi dan kultur sel, distribusi oksigen yang merata sangat penting untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Studi fluida dinamik di RGP menawarkan potensi besar dalam mengoptimalkan transfer oksigen untuk mendukung aplikasi ini. Fluida dinamik yang dipelajari dalam konteks ini dapat meningkatkan efisiensi produksi biomaterial seperti biofuel dan enzim.

DAFTAR PUSTAKA

- Gimbun, J., D, R. C., & K, N. Z. (2009). Modelling of Mass Transfer in Gas-Liquid Jet Loop Reactors. *Chemical Engineering Journal*, 148(2-3), 357-370.
- Gupta, R., Kumar, S., & Bhattacharya, S. (2007). Effect of Reactor Geometry on Hydrodynamic Characteristics in Jet Loop Reactors. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 698-706.
- Lee, J., & Kim, S. (2001). Experimental study on gas-liquid mass transfer in jet loop reactors. *Chemical Engineering Science*, 56(21-22), 6169-6175.
- Nugroho, D. H. (2017). Pengaruh Diameter Nozzle, Temperatur, dan pH Terhadap Penyisihan Kadar Amonia Dengan Menggunakan Udara Stripping Pada Kolom Gelembung Pancaran limbah amonia. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 59-64.
- Nugroho, D. H., & Hasan, A. (2024). *Reaktor Kimia (Konsep Dasar Perancangan dan Studi Kasus Perhitungan Neraca Massa Reaktor Kimia dengan Menggunakan Polymath)*. Yogyakarta: Deepublish.
- Nugroho, D. H., Adisalamun, & Machdar, I. (2014). Recovery of Ammonia Solutions From Fertilizer Industry Wastewater by Air Stripping Using Jet Bubble Column. *The 5th Sriwijaya International Seminar on Energy and Environmental Science & Technology* (pp. 102-108). Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Nugroho, D., Adisalamun, & Machdar, I. (2014). Pengaruh Nozzle Terhadap Aspek Hidrodinamika Kinerja Kolom Gelembung Pancaran. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 84-91.
- R Byron, B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2007). *Transport Phenomena*. New York: John Wiley & Sons.
- Ranade, V. V. (2002). *Computation Flow Modeling for Chemical Reactor Engineering*. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Shao, B., Zhang, H., & Zhou, G. (2017). Numerical Modelling of Flow Fields in Jet Loop Reactors. *Chemical Engineering Journals*, 32-43.

Takahashi, Y., Kato, Y., & Yamashita, S. (2011). Effect of Jet Velocity on Mixing Characteristics in Jet Loop Reactors. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 695-700.

BIODATA PENULIS



Ika Maulita, M.Sc.

Dosen Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jenderal Soedirman

Penulis lahir di Pati, Jawa Tengah. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman. Penulis menyelesaikan S2 pada Jurusan Fisika, Universitas Gadjah Mada.

BIODATA PENULIS



Dr. Fifi Damayanti ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang

Penulis lahir di Malang tanggal 02 Agustus 1974. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 pada Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya Malang dan melanjutkan S3 pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:

fifidamayanti197408@yahoo.co.id

BIODATA PENULIS



Nurul amalia silviyanti M.Si

Dosen Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Pertanian Sains dan Teknologi Universitas Abdurachman
Saleh Situbondo

Penulis lahir di Situbondo tanggal 15 Februari 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Pertanian Sains dan Teknologi Universitas Abdurachman Saleh Situbondo. Penulis menempuh pendidikan sarjana dan magister di Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
nurul_amalia_silvi@unars.ac.id atau
email nurul.amalia.silvi@gmail.com

BIODATA PENULIS



Awal Syahrani Sirajuddin

**Dosen Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur
Fakultas Teknik Universitas Tadulako**

Penulis lahir di Sinjai tanggal 13 Mei 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Menyelesaikan pendidikan D3 Politeknik Negeri ujung Pandang, S1 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Penulis menekuni penelitian, pengabdian dan penyusunan buku ajar. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: awsyahrani71@gmail.com

BIODATA PENULIS



Widyantoro, S.T., MT

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Mayasari Bakti

Penulis lahir di Padang tanggal 12 Mei 1982. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mayasari Bakti. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin UGM dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi UI.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: widantoro82@gmail.com

BIODATA PENULIS



Ir. Harmailis, M.Si

**Dosen Program Studi Tata Air Pertanian
Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh**

Penulis lahir di Batusangkar tanggal 16 Juli 1969. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Tata Air Pertanian, Jurusan Rekayasa Pertanian dan Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh.. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Pertanian, Program Studi Mekanisasi Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Andalas dan melanjutkan S2 pada Jurusan Keteknikan Pertanian Institut Pertanian Bogor. Penulis menekuni bidang Hidrologi dan Hidrolika.

Mata ajaran yang penulis ampu antara lain Matematika Terapan, Teknik Hidrolika Aliran Air, Fisika Dasar, Dasar Dasar Komputer dan Aplikasi Komputer.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: harmailis67@gmail.com

BIODATA PENULIS



Didiek Hari Nugroho

Dosen Program Studi D4 Teknologi Kimia Industri
Jurusan Teknik Kimia – Politeknik Negeri Sriwijaya

Penulis Lahir di Maumere, 30 Oktober 1980, adalah alumni Sarjana Teknik Kimia Universitas Indonesia dan Magister Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala. Selain itu juga merupakan alumni pada Program *Drilling, Production and Liquidified Natural Gas Applied Competencies* di Southern Alberta Institute of Technology (SAIT), Canada; Program IMLP di Wright State University, U.S.A; dan Program *Wastewater Treatment* di Environment Protection Training and Research Institute (EPTRI), India; Program *Developing A Curriculum (DACUM) Theory dan Facillitator* di Training Institute for Technical Instruction (TITI) Nepal; Program *Curriculum Design and Instructional Materials Development* di National Institute of Technical Teachers Training And Research (NITTTR), India. Penulis aktif mengajar di Program Studi D4 Teknologi Kimia Industri. Selain mengajar, penulis juga aktif menulis buku dan melakukan penelitian di bidang teknologi proses kimia dan pengolahan limbah industry. Beberapa penelitian yang telah dilaksanakan oleh penulis dibiayai oleh DRPM Kemdikbudristek dan hasil penelitiannya juga diterbitkan di beberapa jurnal ilmiah nasional maupun internasional, buku, dan HKI. Penulis sering juga di undang baik sebagai pembicara maupun konsultan yang merupakan bagian dalam melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: dh.nugroho@polsri.ac.id