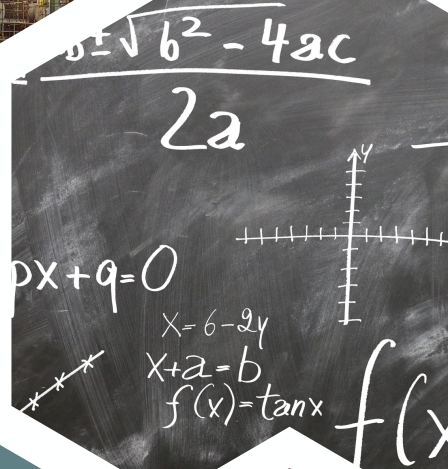


FISIKA DASAR PADA TEKNIK INDUSTRI

- Siti Aisyah
- Asmeati
- Rahmaniah
- Islamiyati Jahada Haluti
- Edna Maryani
- Badaruddin Anwar
- A. Jusriana
- Suarti
- Dwi Sukowati
- Fine Eirene Siahaan
- Nurul Fuadi
- Aji Saputra
- Amirin Kusmiran



FISIKA DASAR PADA TEKNIK INDUSTRI

*Siti Aisyah
Asmeati
Rahmaniah
Islamiyati Jahada Haluti
Edna Maryani
Badaruddin Anwar
A. Jusriana
Suarti
Dwi Sukowati
Fine Eirene Siahaan
Nurul Fuadi
Aji Saputra
Amirin Kusmiran*



GETPRESS INDONESIA

**FISIKA DASAR
PADA TEKNIK INDUSTRI**

Penulis :

Siti Aisyah
Asmeati
Rahmaniah
Islamiyati Jahada Haluti
Edna Maryani
Badaruddin Anwar
A. Jusriana
Suarti
Dwi Sukowati
Fine Eirene Siahaan
Nurul Fuadi
Aji Saputra
Amirin Kusmiran

ISBN : 978-623-125-699-7

Editor : Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S. Pd.

Penerbit: CVGETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan Pertama, Maret 2025

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul *Fisika Dasar pada Teknik Industri* dapat diselesaikan dengan kerjasama tim penulis. Fisika Dasar pada Teknik Industri merupakan buku ini berisikan bahasan mengenai pengantar fisika, besaran dan satuan, operasi vektor dan skalar, pengukuran tunggal dan pengukuran berulang, teori ketidakpastian, nilai pendekatan, kaidah angka penting, kesetimbangan, gerak melingkar, gerak dua dimensi, kerja oleh gaya konstan dan berubah, energi kinetik, energi potensial dan hukum kekekalan energi, tumbukan, elastisitas dan hukum hooke, dan gelombang mekanik.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, Maret 2025
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI..... ii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL..... viii

BAB 1 PENGANTAR FISIKA..... 1

 1.1 Perkembangan Ilmu Fisika.....3

 1.2 Sejarah Awal Fisika dan Perkembangannya4

 1.3 Peran Fisika pada Industri17

 1.4 Efektivitas Fisika pada Industri.....17

 1.5 Revolusi Fisika Industri.....19

DAFTAR PUSTAKA 21

BAB 2 BESARAN DAN SATUAN 23

 2.1 Pendahuluan23

 2.2 Besaran Fisika24

 2.3 Sistem Satuan.....26

 2.4 Konversi Satuan28

 2.5 Penerapan Besaran Dan Satuan Dalam bidang Teknik
 Industri29

DAFTAR PUSTAKA 32

BAB 3 OPERASI VEKTOR DAN SKALAR 33

 3.1 Pendahuluan33

 3.2 Operasi Vektor.....34

 3.3 Produk Titik (*Dot Product*).....37

 3.4 Produk Silang (*Cross Product*).....38

 3.5 Aplikasi Operasi Vektor dalam Teknik Industri38

DAFTAR PUSTAKA 42

**BAB 4 PENGUKURAN TUNGGAL DAN PENGUKURAN
BERULANG..... 43**

 4.1 Pendahuluan43

 4.2 Pengukuran Tunggal.....44

4.3 Pengukuran Berulang (<i>Repeated Measurement</i>)	50
4.5 Penerapan Pengukuran Tunggal dan Berulang dalam Industri.....	54
4.6 Pemilihan Metode Pengukuran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	64
BAB 5 TEORI KETIDAKPASTIAN, NILAI PENDEKATAN, KAIDAH ANGKA PENTING	67
5.1 Pendahuluan.....	67
5.2 Pengukuran.....	68
5.3 Estimasi Ketidakpastian (<i>Uncertainnity</i>)	70
5.4 Akurasi dan Presisi	72
5.5 Kalibrasi	75
5.6 Hasil Penghitungan Terbaik.....	77
5.7 Ralat Sistematis dan Ralat Acak.....	79
5.8 Aturan Melaporkan Hasil Ukur	82
5.9 Aturan Konversi	83
5.10 Angka penting	84
5.11 Aturan Angka Penting Untuk Perhitungan	85
5.12 Aturan Pembulatan Angka	86
DAFTAR PUSTAKA.....	88
BAB 6 KESETIMBANGAN.....	89
6.1 Pendahuluan.....	89
6.2 Tujuan Pembelajaran.....	89
6.3 Keseimbangan	89
6.4 Konsep Keseimbangan Statis	91
6.5 Konsep Keseimbangan Dinamis.....	94
6.6 Konsep Keseimbangan Rotasi.....	98
DAFTAR PUSTAKA.....	103
BAB 7 GERAK MELINGKAR.....	105
7.1 Besaran-Besaran Dalam Gerak Melingkar.....	105
7.2 Hubungan Antara Translasi dan Rotasi.....	113
7.3 Gerak Melingkar Beraturan (BMB)	119

7.4 Gerak Melingkar Berubah Beraturan (BMBB)	121
DAFTAR PUSTAKA	124
BAB 8 GERAK DUA DIMENSI	127
8.1 Pendahuluan	127
8.2 Vektor dalam Gerak Dua Dimensi	128
8.3 Persamaan Gerak Dua Dimensi	131
8.4 Gerak Dua Dimensi dalam kehidupan sehari-hari.....	134
DAFTAR PUSTAKA	138
BAB 9 KERJA OLEH GAYA KONSTAN DAN BERUBAH.....	139
9.1 Pendahuluan	139
9.2 Kerja	140
DAFTAR PUSTAKA	147
BAB 10 ENERGI KINETIK, ENERGI POTENSIAL DAN HUKUM KEKEKALAN ENERGI.....	149
10.1 Pendahuluan.....	149
10.2 Energi Kinetik	150
10.3 Energi Potensial	154
10.4 Konsep Hukum Kekekalan Energi Mekanik.....	160
DAFTAR PUSTAKA	163
BAB 11 TUMBUKAN	165
11.1 Pendahuluan.....	165
11.2 Momentum	166
11.3 Tumbukan dalam 1 dimensi.....	168
11.3 Koefisien Restitusi (e).....	172
11.4 Tumbukan pada Dua atau Tiga Dimensi	173
11.4 Hubungan Energi Kinetik Terhadap Tumbukan.....	176
DAFTAR PUSTAKA	179
BAB 12 ELASTISITAS DAN HUKUM HOOKE	181
12.1 Elastisitas.....	181
12.2 Modulus Young.....	182
12.3 Hukum Hooke	183

12.4 Hubungan Gaya dengan Perubahan Panjang.....	185
12.5 Modulus Geser.....	187
12.6 Modulus Bulk.....	188
12.7 Susunan Pegas.....	189
DAFTAR PUSTAKA.....	192
BAB 13 GELOMBANG MEKANIK	193
13.1 Pendahuluan.....	193
13.2 Karakteristik Gelombang Mekanik	194
13.3 Gelombang Longitudinal dan Transversal.....	195
13.4 Persamaan Dasar Gelombang Mekanik	197
13.5 Energi dan Intensitas Gelombang Mekanik.....	198
13.5 Pemantulan, Pembiasan, dan Difraksi Gelombang.....	199
13.5 Resonansi Gelombang Mekanik	201
DAFTAR PUSTAKA.....	206
BIODATA PENULIS.....	207

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Archimedes, Fisikawan dan Matematikawan yang Berasal Dari Yunani Kuno	6
Gambar 1. 2 Ibnu Al-Haytham, Ilmuwan Persia.....	7
Gambar 1. 3 Aristoteles, Fisikawan yang Menemukan Hukum Alam.....	8
Gambar 1. 4 Copernicus 1473 – 1543.....	9
Gambar 1. 5 Galileo 1564 – 1642.....	10
Gambar 1. 6 Sir Isaac Newton 1642 – 1727.....	11
Gambar 5. 1 Alat Ukur Tekanan Angin Ban	69
Gambar 5. 2 Mengukur Panjang Dengan Mistar, Skala Terkecil MM.....	71
Gambar 5. 3 Membaca Penghitungan Tegangan dengan Voltmeter.....	72
Gambar 5. 4 Ilustrasi Akurasi.....	73
Gambar 5. 5 Ilustrasi Presisi.....	74
Gambar 5. 6 Ilustrasi Antara Akurasi dan Presisi	75
Gambar 5. 7 Efek Paralaks pada Saat Pengamatan Gelas Ukur	82
Gambar 6. 1. Benda yang Tergantung pada Tali	93
Gambar 6. 2. Bidang Miring.....	96
Gambar 6. 3. Momen Gaya	99
Gambar 6. 4. Benda Homogen	101
Gambar 7. 1. Percepatan Sentripetal.....	107
Gambar 7. 2. Titik P yang Bergerak Melingkar dengan Sumbu O	109
Gambar 7. 3. Posisi Sudut.....	110
Gambar 7. 4. Vektor Perpindahan Sudut	111
Gambar 7. 5. Hubungan Antara Perpindahan Linear dengan Perpindahan Sudut	115
Gambar 7. 6. Gerak Melingkar Beraturan	120
Gambar 7. 7. Percepatan Sudut Total pada Gerak Melingkar	122
Tabel 8. 1. Perbedaan Gerak Satu Dimensi dan Dua Dimensi	128
Gambar 8. 1. Penguraian Komponen Vektor A.....	129
Gambar 8. 2. Vektor Perpindahan	132
Gambar 9. 1. Kerja yang dilakukan oleh gaya F.....	140
Gambar 9. 2 Benda Ditarik dengan Gaya yang Tidak Searah dengan Perpindahan	142
Gambar 9. 3. Seorang Anak sedang Menarik Mobil Mainan	143
Gambar 9. 4. Komponen Gaya yang Bekerja.....	143
Gambar 9. 5. Gaya pada Pegas.....	145

Gambar 10. 1. Gerak benda linier (GLBB)	152
Gambar 10. 2. Energi Potensial Gravitasi	156
Gambar 10. 3. Energi Potensial Pegas	158
Gambar 10. 4. Konsep Hukum Kekalan Energi Mekanik	160
Gambar 11. 1. Ilustrasi Tumbukan Elastis Sempurna	169
Gambar 11. 2. Ilustrasi Tumbukan Elastis Sebagian	170
Gambar 11. 3. Ilustrasi Tumbukan Tak Elastis Sama Sekali	171
Gambar 11. 4. Ilustrasi Bola Billiar 1 Bertumbukan dengan Bola Billiar 2. Mereka Berpencar Setelah Tumbukan engan Momentum p_1 Dan p_2 dengan Membentuk Sudut θ_1 dan θ_2	175
Gambar 12. 1. Karet Elastis yang Ditarik	182
Gambar 12. 2. (a) Pegas dalam Kondisi Setimbang; (b) Pegas yang Ditarik Memanjang; (c) Pegas yang Ditekan Memendek	183
Gambar 12. 3. Hubungan Gaya dengan Pertambahan Panjang	186
Gambar 12. 4. Balok Karet yang Didorong Bagian Atasnya	187
Gambar 12. 5. Sebuah Benda yang Ditekan dari Segala Sisi	188
Gambar 12. 6. Pegas susunan seri	189
Gambar 12. 7. Pegas Susunan Paralel	190
Gambar 13. 1. Ilustrasi Fenomena Gelombang	195
Gambar 13. 2. a.) Gelombang Transversal, b.) Gelombang Longitudinal	196
Gambar 13. 3. Ilustrasi Hukum Pemantulan.	200
Gambar 13. 4. Ilustrasi Hukum Snellius.	201

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Besaran Pokok.....25

Tabel 2. 2 Besaran Turunan.....26

Tabel 2. 3 Sistem Satuan.....27

Tabel 2. 4 Awalan Satuan.....27

Tabel 2. 5 Konversi Satuan.....28

Tabel 7. 1. Hubungan Gerak Translasi dan Gerak Rotasi 119

BAB 1

PENGANTAR FISIKA

Oleh Siti Aisyah

Buku Fisika Dasar untuk Teknik Industri ini dibuat agar dapat memberikan bahan materi baru pada matakuliah Fisika bagi mahasiswa, terutama dalam matakuliah Fisika atau Fisika Dasar pada semester awal perkuliahan. Selain itu materi dari buku ini juga dapat digunakan bagi pelajar serta mahasiswa di Fakultas Sains dan Teknik pada Perguruan Tinggi Negeri (PTN) maupun Perguruan Tinggi Swasta (PTS) di Indonesia. Pada buku ini, materi dari matakuliah fisika lebih diutamakan membahas pada pengertian praktis atau secara konseptual serta aplikasinya pada bidang teknologi maupun efek sosialnya berupa kontekstual. Hal ini bertujuan agar ilmu fisika yang didapat lebih bersifat praktis dimana proses pembelajarannya mendekati pada level *High School* seperti di negara-negara maju, misalnya Inggris, Amerika, Prancis dan Negara lainnya. Diharapkan pula dengan materi yang ada pada buku ini mahasiswa dapat dengan mudah menghubungkan antara ilmu dasar pada bidang fisika dengan ilmu terapan yang terjadi disekelilingnya dan juga dengan mudah memahaminya.

Ilmu Fisika juga sering dipandang sebagai sebagai ilmu pembangunan pada bidang teknologi. Hal ini dikarenakan dengan diawalinya adanya materi fisika maka siswa maupun mahasiswa dapat dengan mudah belajar sehingga akan dapat mudah membentuk pola pikir yang ilmiah dan realistis. Fisika merupakan suatu ilmu yang bersifat empiris dan dasar serta mencakup seluruh fenomena alam baik di bidang sains, terapan maupun keteknikan. Oleh sebab itu untuk dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada pada bidang fisika maka siswa maupun mahasiswa sebaiknya memahami terlebih dahulu

bagian dasar dari ilmu fisika yang sudah dipahami sebelumnya. Saat ini umumnya yang menjadi kendala dalam memahami materi fisika adalah banyaknya siswa dan mahasiswa yang merasa masih sulit dalam mengartikan bahan pada buku ataupun artikel fisika. Selain itu materi yang ditampilkan maupun diberikan bersifat cukup sulit, dimana begitu banyaknya ditampilkan rumus-rumus yang akan berakibat siswa dan mahasiswa menjadi merasa jenuh. Oleh sebab itu, rendahnya hasil belajar yang diperoleh siswa dan mahasiswa pada materi/matakuliah fisika akan sangat perlu untuk dilakukan perubahan menjadi lebih baik lagi. Untuk itu perlu dilakukan perubahan dalam pemberian materi fisika dengan merubah system atau model pembelajaran agar siswa dan mahasiswa akan dengan mudah memahami dengan apa yang dijelaskan dan tidak adanya rasa kejenuhan dalam mempelajari materi fisika ini.

Materi yang dibahas pada buku ini diantaranya membahas mengenai : besaran, satuan dan dimensi, vektor dan skalar, operasi yang berlaku pada vektor dan skalar, pengukuran tunggal dan berulang, teori ketidakpastian, kaidah pendekatan dan kaidah angka penting, gerak 2 dimensi, gerak peluru, kesetimbangan, gerak melingkar, kerja oleh gaya konstant dan berubah, energi kinetik, potensial, hukum kekekalan energi, momentum linier dan impuls, tumbukan, elastisitas dan hukum hooke dan gelombang mekanik. Untuk memperjelas isi pemaparan dari buku ini maka setiap bab ada memuat berupa tabel, grafik dan gambar. Selain itu juga akan ditampilkan beberapa bagian teknologi terbaru yang umum dan sering ditemui saat ini.

Berbeda dengan jenis buku fisika jenis lainnya, pada bagian dari buku ini juga akan dibahas beberapa kejadian yang sering dialami pada kehidupan saat ini. Oleh sebab itu dengan adanya buku yang membahas tentang ilmu fisika untuk Teknik industri ini, diharapkan siswa ataupun mahasiswa akan lebih tertarik lagi untuk mempelajari fisika dalam segala bidang ilmu dengan semakin banyaknya fenomena serta kecanggihan teknologi yang telah ada saat ini.

Sekarang ini, fisika merupakan bagian dari ilmu dan umumnya digunakan serta berkaitan dengan aktivitas yang rutin dilakukan. Pada aktivitas yang dilakukan misalnya dalam memindahkan, menarik dan menjatuhkan suatu benda dan lain sebagainya yang merupakan bagian dari ilmu fisika. Untuk itu perlu adanya bagian dari ilmu atau metode akan dibutuhkan agar bisa memunculkan rasa keinginan untuk lebih memahami lagi serta yang tidak akan berakibat munculnya rasa bosan dalam membahas materi fisika.

1.1 Perkembangan Ilmu Fisika

Ilmu fisika banyak memberikan kontribusi secara menyeluruh pada berbagai aspek kehidupan secara matematis, analitik hingga praktik. Ilmu Fisika pada bidang Teknik Industri dan rekayasa umumnya banyak mempelajari tentang sistem pengukuran dan notasi ilmiah, vektor, kinematika, dinamika partikel, momen gaya serta kesetimbangan yang mendukung analisis proses dalam dunia industri. Selain itu, pada ilmu fisika lanjut juga akan mempelajari ilmu tentang gerak melingkar, kerja dan energi, momentum, elastisitas dan gelombang mekanik sebagai suatu kesatuan yang saling melengkapi antara rumus empiris dalam persoalan fisika pada suatu industri. Harapan yang ingin diperoleh pada pembelajaran dalam fisika dasar pada Teknik Industri adalah agar siswa dan mahasiswa mampu memahami secara mendalam keilmuan secara teori dalam sains alam, penerapan dalam matematika rekayasa, prinsip rekayasa (*engineering fundamentals*) serta perancangan yang dibutuhkan pada analisis serta perancangan sistem yang terintegrasi dalam industri serta terapan. Oleh sebab itu diharapkan dengan mempelajari materi fisika dasar pada Industri ini semua siswa maupun mahasiswa dapat memperkuat pondasi keilmuan terapannya di bidang industri dan rekayasa pendukungnya.

Materi pada bidang fisika juga diharapkan mampu menjadi pendukung yang baik dalam meningkatkan rasa keingintahuan serta keterbukaan pada kreativitas yang baru maupun kebiasaan dalam berpikir yang analitis kuantitatif terutama di industri.

Pendidikan fisika untuk industri terdiri atas banyak konsep dan prinsip yang pada umumnya bersifat sangat abstrak. Kesulitan yang banyak dihadapi oleh sebagian besar siswa dan mahasiswa adalah dalam menginterpretasikan berbagai konsep dan prinsip fisika tersebut secara tepat dan tidak samar-samar atau tidak mendua arti. Oleh sebab itu diharapkan pada buku pengantar fisika dasar pada industri ini dapat menumbuhkan kemampuan berpikir siswa ataupun mahasiswa agar dapat memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari dan dalam industri.

1.2 Sejarah Awal Fisika dan Perkembangannya

Pada awal perkembangannya, Fisika dimulai dengan pemikiran filosofis dimana manusia secara harfiah akan berinteraksi dengan alam lingkungannya. Pada zaman prasejarah, dimana awal mula manusia mulai mengetahui bidang fisika yaitu dengan ditemukannya beberapa bagian alam yang terdiri dari api, air serta tanah, dan bagian tersebut digunakan dalam keberlanjutan kehidupan manusia. Oleh sebab itu Fisika tidak berawal dari eksperimen sistematis melainkan dari hasil analisis serta pemikiran manusia yang terbatas. Ada beberapa pendapat tentang perkembangan Fisika berdasarkan beberapa ilmuwan, diantaranya yang pernah dilakukan oleh Richtmeyer dan Jacoub.

1.2.1 Sejarah Fisika Menurut Richtmeyer

Richtmeyer menyebutkan bahwa semakin berkembangnya ilmu Fisika, maka Richtmeyer sendiri telah mengelompokkan dalam 4 periode, yaitu :

1. Periode I

Periode ini yang dimulai pada zaman prasejarah hingga tahun 1550an masehi. Pada periode ini belum adanya penelitian yang dilakukan secara sistematis, dimana periode ini dimulai manusia dalam mengembangkan ilmu pengetahuan hanya dengan memanfaatkan pola pikir yang lebih terstruktur. Ilmu yang berkembang dengan dimulai pada pengamatan, pengalaman serta

analisis yang dilakukan. Ada temuan yang diperoleh para peneliti pada periode ini yaitu :

a. 2 jutaan SM-599 SM.

Pada periode ini adanya penemuan pada bidang astronomi, dimana manusia yang hidup pada zaman ini sudah dapat membuat dan menghasilkan Kalender Mesir dimana perhitungannya 1 tahun = 365 hari. Selain itu manusia juga sudah dapat menganalisis terjadinya gerhana, membuat jam matahari serta katalog rasi bintang. Sedangkan pada teknologi dan industri juga telah mengetahui adanya proses peleburan berbagai jenis logam, pembuatan roda, teknologi bangunan (piramid), standar berat, pengukuran serta adanya koin (mata uang).

b. 600 SM-530 M.

Merupakan periode mulai adanya ilmu serta teknologi yang berkaitan dengan adanya ilmu matematika. Pada bidang Astronomi telah dilakukan analisis dan perhitungan pergerakan benda langit termasuk diantaranya bumi, jarak serta bentuk benda langit. Pada sains fisik, juga adanya hipotesis Democritus yang menyatakan suatu materi terdiri dari atom-atom. Selain itu, pada periode ini juga dimulainya Archimides dalam mencetus suatu konsep teknologi dengan cara menggabungkan beberapa analisis fisika maupun matematika dengan perhitungan katrol dan hukum hidrostatis.



Gambar 1. 1 Archimedes, Fisikawan dan Matematikawan yang Berasal Dari Yunani Kuno

(Sumber : Hajar *et al*, 2024)

- c. 530 M – 1450 M.
Pada periode ini adanya kemunduran tradisi sains di Eropa serta semakin kembang dengan pesatnya pada sains di wilayah Timur Tengah. Pada periode ini juga sangat berkembang bidang teknologi di dunia Islam yang sangat pesat sehingga munculnya beberapa ilmuwan serta fisikawan muslim diantara :
 - a) Ibnu Al-Haitham, 965 M – 1039 M yang merupakan penemu kitab Almanazir berupa kitab yang berkaitan dengan optik.



Gambar 1. 2 Ibnu Al-Haytham, Ilmuwan Persia

(Sumber : Hajar *et al*, 2024)

- b) Abu Nasr Mansur, 960 M – 1036 M, merupakan ilmuwan yang pertama kali mengemukakan hukum sains. Pada periode inilah dimulainya perkembangan bidang kalkulus. Selain itu, periode ini juga muncul bidang Astronomi “*Almagest*” yang merupakan karangan dari ilmuwan Ptolemy berupa teks standar pada bidang Astronomi. Pada bidang fisika, Aristoteles mengungkapkan bahwa “gerak dapat terjadi jika ada dorongan yang terjadi secara terus menerus”. Pemikiran Aristoteles ini dilandasi dengan adanya hal yang dianalisis sehingga akan membutuhkan bentuk dari suatu materi dan wujud adanya suatu benda. Pada periode ini juga terjadi perkembangan kemagnetan, perkembangan eksperimen optika serta perkembangan ilmu kimia (Alchemy).



Gambar 1. 3 Aristoteles, Fisikawan yang Menemukan Hukum Alam

(Sumber : Hajar *et al*, 2024)

d. 1450 M – 1550 M

Periode ini sudah ada publikasi dari Heliosentris dari Copernicus dan sudah tercetak pada buku yang berjudul “ *De Revolutionibus Orbium Caelestium* “. Pendapat Copernicus dan sudah terkenal adalah tentang *Heliosentris*, dimana Copernicus telah merubah letak bumi yang merupakan titik dari alam semesta dengan matahari. Selain itu Copernicus telah mengungkapkan adanya pergerakan benda langit dimana ungkapan ini yang telah disampaikan oleh Copernicus dan merupakan suatu bagian penting dalam revolusi saintifik. Hal ini awal mula munculnya pemikiran terhadap Gerakan yang telah dilakukan oleh benda langit.



Gambar 1.4 Copernicus 1473 – 1543

(Sumber : Hajar *et al*, 2024)

2. Periode ke II, yang dimulai pada tahun 1550an hingga tahun 1800an. Pada periode ini para ahli semakin banyak mengembangkan hasil eksperimen mereka dalam bidang fisika. Pada periode ini disebut juga dengan "*The Rise Experimental Methode*", yang merupakan awal mula dikembangkannya metoda penelitian yang sistematis yang dilakukan oleh beberapa fisikawan, diantaranya :

a) Galileo.

Galileo lahir di kota Pisa, Toskana yaitu tanggal 15 Februari 1564 serta wafat di kota Arciteri, Toskana tanggal 8 Januari 1642. Galileo dikenal sebagai ilmuwan berkebangsaan Italia yang pertama sekali pencetus metoda saintifik dalam penelitiannya. Pada bukunya yang berjudul "*Discourses Concerning Two New Sciences*", Galileo saat itu tidak melakukan analisis penyebab adanya gerakan atau dinamika, namun menerangkannya timbulnya gerakan kinematika. Galileo juga mempelajari tentang filsafat dan astronomi

sehingga hasil penelitiannya mengenai revolusi ilmiah pada bidang fisika, pengamatan astronomi serta metode ilmiah pada fisika tentang kecepatan cahaya masih berlaku hingga saat ini. Selain itu, Galileo juga dikenal dengan eksperimennya tentang benda jatuh bebas.



Gambar 1. 5 Galileo 1564 – 1642

(Sumber : Hajar *et al*, 2024)

b) Newton

Sir Isaac Newton merupakan ilmuwan Inggris yang meneruskan kerja dari ilmuwan sebelumnya yaitu Galileo yang ahli pada bagian mekanika sehingga munculnya beberapa teori dan hukum pergerakan yang hingga saat ini masih sering digunakan oleh mahasiswa. Pada hasil analisis Galileo, maka dapat terhubung kaitan dan benang merah langsung ke mekanika newton.



Gambar 1. 6 Sir Isaac Newton 1642 – 1727

(Sumber : Hajar *et al*, 2024)

- c) Bernoulli
- Pada bidang fisika, Bernoulli telah menemukan beberapa teori kinetik gas, Vibrasi Transversal dari batang, kekekalan Momentum sudut, persamaan Lagrange yang merupakan bagian dari ilmu fisika. Selain itu ditemukan juga termometer, Azas Black, serta Kalorimeter. Sedangkan pada gelombang cahaya juga ada ditemukan abrasi serta pengukuran terhadap laju cahaya. Selanjutnya pada bidang kelistrikan beberapa bagian dari konduktor serta nonkonduktor, ditemukannya elektroskop, ada dikembangkan teori arus listrik dimana hal ini hampir sama dengan teori penjalaran panas dan Hukum Coloumb.
3. Periode ke III, diawali pada tahun 1800an hingga tahun 1890an. Periode ini mulai digabungkannya beberapa konsep fisika dasar yang disebut dengan fisika klasik. Pada periode ini perkembangan ilmu fisika sudah

sangat pesat terutama untuk mendapatkan formulasi dasar dalam mekanika, fisika panas, medan listrik, medan magnet serta gelombang, yang saat ini masih digunakan. Pada bidang mekanika juga telah diformulasikan Hamiltonian, dimana juga sering digunakan pada fisika kuantum, persamaan gerak benda tegar, teori elastisitas serta hidrodinamika. Pada bidang fisika panas telah diformulasikan beberapa hukum termodinamika, teori kinetik gas, penjalaran panas dan lain sebagainya. Pada bidang Listrik Magnet telah diformulasikan Hukum Ohm, Hukum Faraday, dan lain sebagainya. Sedangkan pada gelombang juga sudah diformulasikan teori gelombang cahaya, prinsip interferensi, difraksi dan lain sebagainya. Pada tahun 1847, ilmuwan bernama James Joule juga telah mengungkapkan bahwa adanya hukum konversi energi, dalam bentuk panas serta dalam bentuk energi mekanik. Kemudian pada tahun 1855, Ilmuwan James Clerk Maxwell mengungkapkan teori elektromagnetik beserta persamaannya.

4. Periode ke IV, diawali pada 1890an hingga saat ini. Pada akhir abad ke-19 telah ditemukan beberapa kejadian yang tidak dapat dijelaskan berdasarkan ilmu fisika klasik. Sehingga hal ini akan menuntut perlu adanya pengembangan konsep pada bidang fisika yang lebih mendasar lagi dan saat ini disebut dengan Fisika Modern. Pada periode ini telah dikembangkan teori yang lebih umum lagi dan telah mencakup beberapa permasalahan kecepatan sangat tinggi atau disebut juga dengan relativitas serta berhubungan dengan partikel yang sangat kecil yang disebut dengan teori kuantum. Pada periode ini, banyak ilmuwan fisika yang hasil temuannya telah mengubah cara pandang tentang ilmu fisika itu sendiri. Ilmuwan tersebut diantaranya :
 - a). Teori Relativitas, awal mulanya dipelopori Albert Einstein. Teori ini telah menjelaskan bahwa tidak akan membedakan satu sistem jika ada dua sistem tersebut bergerak dengan kecepatan tetap. Pada

teori ini juga telah diperoleh teori yang baru seperti : kesetaraan massa dan energi, dimana $E=mc^2$. Rumus ini umumnya digunakan untuk transformasi partikel. Eistein merupakan fisikawan Jerman yang dengan kontribusinya pada bidang fisika teoritis tentang alam semesta.

- b). Teori kuantum, ditemukan oleh karya Planck dan Bohr yang selanjutnya dikembangkan oleh Schroedinger, Pauli, Heisenberg dan ilmuwan lainnya. Teori ini juga telah melahirkan teori baru tentang atom, inti, partikel sub atomik, molekul serta zat padat yang saat ini sangat besar perannya dalam pengembangan ilmu dan teknologi.
- c). Marie Curie, merupakan seorang fisikawan dan kimiawan yang berasal dari Polandia-Prancis. Marie disebut sebagai wanita pertama yang memenangkan penghargaan Nobel pada dua bidang yang berbeda secara bersamaan, yaitu bidang fisika dan kimia. Hasil temuan dari Marie tentang radioaktivitas yang dapat membantu memahami sifat serta kegunaan dari zat radioaktif dalam aplikasi medis dan industri (Sa'diyah *et al*, 2022).

1.2.2 Sejarah Fisika Menurut Jacoub

Perkembangan Fisika menurut Boer Jacoub (1968) terbagi atas 5 periode yaitu :

1. Periode pertama, yaitu periode saat zaman purbakala hingga tahun 1500. Pada periode ini belum ada dilakukannya percobaan yang sistematis. Namun ada beberapa percobaan yang bersifat spekulasi serta metafisik berupa sulap maupun ilmu gaib sehingga ilmu Fisika dianggap sebagai ilmu yang dilakukan dengan cara bereksperimen dan tidak sistematis serta kurang akurat dalam hal ketelitian.

2. Periode ke dua, yaitu berkisar tahun 1550 – 1800. Periode ini terjadi perkembangan Fisika dengan metode eksperimen serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pengamatan yang ilmiah juga diakui sesuai dengan sifat dan karakteristik yang sudah ditentukan seperti :
 - a. Perkembangan yang sangat signifikan dan diawali dengan eksperimen yang dilakukan Galileo (1564-1642). Galileo saat itu melakukan analisis dengan percobaan dimana harus melakukan analisis berdasarkan pengamatan dan percobaan. Hampir 2 abad Galileo menghadapi adanya beberapa permasalahan dogma dan intoleransi kaum agama pada eksperimen yang dilakukan.
 - b. Secara hampir bersamaan muncul beberapa ilmuawan lain yang juga berperan dalam Fisika, diantaranya : Newton, Huygens, Boyle dan lain sebagainya.
 - c. Munculnya prinsip Fisika yaitu : "*ilmu dapat dikembangkan dan dimajukan sesuai dengan teorinya yang berdasarkan eksperimen ; diterima atau ditolak apabila teori sesuai atau berlawanan dengan eksperimen yang diperlukan untuk menguji teori tersebut*".
3. Periode ke tiga, yaitu disebut juga sebagai periode singkat pada tahun 1800 - 1890. Pada periode ini disebut sebagai periode klasik, dimana dengan terjadi perkembangan bidang Fisika klasik yang mengacu pada bidang Fisika kuantum. Periode ini terbagi dalam beberapa bagian yaitu :
 - a. Semakin pesatnya perkembangan dan pertumbuhan bidang Fisika klasik yang munculnya didasari dari Fisika kuantum.
 - b. Terjadinya perkembangan yang sangat pesat, yaitu hampir semua ilmuwan menyatakan bahwa segala bentuk hukum yang berkaitan dengan Fisika telah selesai diketemukan, sehingga analisis

- dapat dialihkan dalam mengubah validitas serta perbaikan pada metode dan alat pengukurannya.
- c. Munculnya fenomena baru berupa : Percobaan dan eksperimen yang dilakukan oleh :
 - ❖ *Count Rumford* dan *Joule* yang merupakan awal dari timbulnya teori kinetik panas sehingga disebut sebagai teori yang masih dikenal hingga saat ini.
 - ❖ Pengamatan dan percobaan yang telah dilakukan oleh ilmuwan *Young*, dimana telah membuktikan adanya interferensi dua berkas cahaya, sehingga dapat dikukuhkan sebagai bagian dari teori gelombang *Huygens* dari teori *Corpuscular Newton*.
 - ❖ Hasil analisis yang dilakukan oleh *Faraday*, yang memberikan bagian dari dasar adanya teori kebenaran *elektromagnetik maxwell*.
 - ❖ Banyaknya teknologi dari hasil analisis Fisika yang digunakan pada bidang dan kegiatan industri.
 4. Periode ke empat, yaitu tahun 1887 – 1925. Periode munculnya fenomena mikroskopis, seperti adanya elektron, proton dan neutron. Pada periode ini disebut sebagai adanya teori klasik semi modern, teori kuantum yang ada kaitannya dengan bidang Fisika klasik (*the old quantum mechanics*). Periode ini dimunculkan karena adanya beberapa karakteristik yaitu :
 - a. Periode yang dimulai pada 1887, dimana telah adanya efek dari fotolistrik. Selanjutnya beberapa tahun kemudian juga ditemukan beberapa teori yaitu :
 - ❖ Sinar X, ditemukan pada tahun 1895
 - ❖ Radioaktivitas, yang ditemukan pada tahun 1896), dan
 - ❖ Elektron, yang ditemukan pada tahun 1900.
 - b. Teori kuantum yang muncul pada periode ini dihubungkan dengan teori klasik Fisika semi

- modern, yang perkembangannya masih sangat lambat (*the old quantum mechanics*).
- c. Munculnya fenomena mikroskopis, berupa fenomena yang tidak terlihat secara langsung, seperti elektron dan neutron. Pada Fisika klasik tidak dapat dijelaskan secara terperinci dari fenomena tersebut sehingga para ilmuwan dan Fisikawan mencari ilmu dan model-model terbaru lainnya.
5. Periode ke lima, yaitu pada tahun 1925 hingga saat ini. Pada periode ini munculnya fenomena mikroskopis revolusioner. Fenomena ini muncul karena tidak ada berkaitan dengan Fisika klasik (*the new quantum mechanics*). Periode ini dikenal dengan beberapa karakteristik yaitu :
- a. Munculnya perkembangan dari analisis Fisika baru dan dibuat teori baru yang lebih revolusioner dengan tidak mengindahkan mekanika klasik (*the new quantum mechanics*).
 - b. Muncul teori baru yaitu *teoritis de Broglie*, *Heisenbergh*, dan *Schrodinger* serta percobaan yang telah dilakukan oleh *Davisson-Germer* dan *Thompson*.
 - c. Adanya beberapa prinsip mekanika matriks yang disampaikan oleh *Heisenbergh*, mekanika gelombang yang disampaikan oleh *Schrodinger*, serta adanya gabungan dari mekanika yang lebih umum yang disampaikan oleh *Dirac-Tomonaga*.
 - d. Adanya Mekanika kuantum yang ditemukan oleh *Dirac* disebut juga dengan *symbolic method*, dimana sifat dari mekanika kuantum ini abstrak serta sulit untuk dipahami yang disebut dengan *Relativistic quantum mechanics*.

1.3 Peran Fisika pada Industri

Fisika merupakan salah satu bidang ilmu yang memiliki peran sangat penting dalam dunia industri, terutama berfokus pada bidang perancangan, peningkatan serta instalasi pada sistem yang terintegrasi secara simultan antara manusia, properti material, instrumentasi serta energi. Kebutuhan ilmu Fisika dan ilmu pendukung lainnya seperti Matematika, Kimia, Biologi serta ilmu sains lainnya sangat diperlukan dalam pelaksanaan metodologi saintifik maupun teknik atau rekayasa. Metodologi ini digunakan untuk menspesifikasi, memprediksi, dan mengevaluasi hasil yang diperoleh dari suatu pengambilan data secara integrasi. Oleh sebab itu sangat dibutuhkan dasar dari keilmuan yang kuat tentang dasar Fisika untuk dapat menganalisis problematika yang terjadi di dunia industri.

Bidang Fisika yang umum diterapkan pada dunia industri erat kaitannya dengan ilmu Kimia, seperti industri farmasi, industri plastik, pupuk, komposisi bahan dan lain sebagainya. Pada perkembangannya, industri yang melibatkan unsur serta bahan Kimia pastinya juga akan memanfaatkan peran Fisika dalam proses produksinya, sebagai contoh adalah industri pertambangan yang menggunakan prinsip elektrokimia dalam laboratorium untuk mengukur laju korosi pada pipa serta industr tekstil yang membutuh beberapa bahan kimia dan bahan lainnya dalam pembuatan serta pengukuran berat bahan yang akan diolah. Selain itu pada bidang industri pariwisata, ilmu Fisika juga berperan sangat penting dalam konservasi artefak kuno yang berbahan dasar logam. Sifat-sifat fisis yang terdapat dalam logam bisa dianalisis dengan menggunakan hukum Fisika sehingga mempermudah para sejarawan dan arkeolog untuk penelitian.

1.4 Efektivitas Fisika pada Industri

Pada industri, Fisika sangat berkaitan dengan optimalisasi proses yang kompleks. Hal ini merupakan bagian dari kombinasi antara teknik, analisis dan bisnis. Kombinasi dari berbagai bidang ini pada setiap kegiatan umumnya dihabiskan untuk menganalisis data untuk menemukan solusi dari berbagai

masalah produksi. Ahli fisika pada industri juga harus dapat membuat laporan yang menjelaskan dan terperinci berdasarkan temuannya serta dapat menawarkan saran untuk perbaikan dari masalah yang ada pada industri. Ahli fisika pada industri juga harus dapat menggunakan metode kualitatif maupun kuantitatif ketika menilai suatu proses produksi agar dapat meningkatkan efisiensi, kualitas, keselamatan dan penghematan biaya. Oleh sebab itu seorang ahli fisika pada industri dapat ditemukan di berbagai jenis organisasi yang berbeda termasuk perusahaan manufaktur atau lembaga pemerintah.

Selain itu, seorang ahli fisika pada industri dapat juga membantu siswa dalam menentukan atau cara membuat dan mendesain produk sesuai dengan biaya, kualitas, dan kinerja yang sudah ada. Selain itu, seorang ahli fisika pada industri harus dapat juga menghitung suatu alat pada proses atau mesin produksi waktu atau saat akan terjadi kerusakan ataupun aus sehingga diperlukan waktu untuk memperbaiki yang lebih awal lagi sebelum terjadi kerusakan yang lebih parah sehingga akan berakibat biaya yang dikeluarkan juga akan menjadi lebih besar lagi. Untuk memahami semua aspek dari suatu benda atau mesin, seorang ahli fisika pada industri juga dapat memberikan informasi yang berguna tentang materi apa pun pada tingkat mikroskopisnya.

Fisika sangat penting bagi suatu industri karena membantu memahami cara kerja dari segala sesuatu mesin, bahan dan lain sebagainya. Fisika juga akan dapat membantu memahami bagaimana segala sesuatu berinteraksi baik antara satu dengan lainnya, sehingga fisika akan dapat membantu dalam mendesain produk dan sistem agar bekerja sama dengan mulus. Fisika juga dapat membantu dalam memahami bagaimana sesuatu dibuat, karena jika ingin membangun sesuatu maka cara terbaik adalah dengan mengetahui komponen dasar dari bangunan tersebut hingga menjadi satu kesatuan yang utuh. Semakin detail pemahaman dan ilmu tentang fisika maka akan semakin baik peluangnya untuk membangun produk dengan baik dan benar. Oleh sebab itu, suatu industri akan sangat bergantung pada fisika karena Fisika merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari tentang materi, bobot, energi, gaya, dan gerak. Pada

industri pastinya menggunakan fisika dalam pekerjaan sehari-hari untuk memprediksi bagaimana mesin akan merespons gaya atau getaran. Selain itu juga dengan mengandalkan fisika maka industri akan dapat merancang mesin dan sistem baru.

Pada bidang Teknik industri, Fisika merupakan salah satu bidang yang sangat banyak berkontribusi bagi munculnya teknologi, sehingga hal ini akan berakibat kehidupan manusia menjadi lebih mudah. Salah satu contoh dasar yang sangat berkaitan dengan teknologi saat ini adalah tentang susunan dari zat padat, sifat kelistrikan suatu material serta rekayasa peningkatan konduktivitas bahan padat dimana munculnya bahan semikonduktor tipe P dan tipe N. Teknologi semikonduktor yang mengakibatkan terjadinya perkembangan teknologi piranti elektronik seperti dioda, transistor, operasional amplifier, Integrated circuit, mikroprosesor dan lainnya. Piranti elektronik inilah telah yang mengawali lahirnya beberapa produk teknologi seperti TV LCD, laptop, HP serta smartphone pintar nan canggih yang saat ini dimana hampir semua orang memilikinya baik anak hingga dewasa.

1.5 Revolusi Fisika Industri

Revolusi fisika yang terjadi di dunia industri saat ini merupakan awal dari munculnya temuan-temuan baru pada bidang ilmu fisika, dimana revolusi ini telah dikategorikan dibagi menjadi 4 kelompok yaitu :

1. Revolusi industri I, yang dikategorikan pada saat ilmuwan bernama Newton merumuskan adanya hukum gerak. Penemuan ini diawali dengan munculnya gerak yang sederhana sehingga berakibat timbulnya inspirasi dalam merancang mesin seperti mesin uap dan mesin jenis lainnya dimana alat serta bahan yang dibutuhkan diperoleh dengan cara tradisional dan dilakukan oleh manusia.
2. Revolusi industri ke II, dikategorikan pada saat ilmuwan bernama Faraday dan Maxwell, yang telah menyatukan gaya magnetik dan listrik sehingga dapat menyebabkan munculnya mesin pembangkit listrik dan motor listrik,

dimana mesin ini sangat berperan pada berbagai industri saat ini.

3. Revolusi industri ke III, revolusi saat adanya ditemukan transistor. Transistor merupakan awal mula serta bahan awal dari adanya teknologi computer dan laptop.
4. Revolusi industri ke IV, awal mula adanya teknolog serta kecerdasan buatan (AI) dan *System Physic Cyber* (CPS).

DAFTAR PUSTAKA

- Hajar, S., Lumbu, A., Akbar, M. dan Lasmono, P. G. D. 2024. Sijarah Fisika. Eureka Media Aksara. Jawa Tengah.
- Puspitasari, A. D. 2023. Sejarah Fisika. K-Media. Yogyakarta.
- Sa'diyah, A., Andari, R., Wardhani, P., Alfinato, E., Asrori, M. R., Zulkarnain, Setiawan, J., Napitupulu, R. A. M., Wardana, H. K., Santoso, H. dan Aisyah, S. 2022. Fisika Dasar Pada Industri. Global Eksekutif Teknologi. PT. Get Press. Indonesia. Sumatera Barat.
- Yusuf, Y. H. M. 2023. Sejarah Perkembangan Fisika. Tangguh Denara Jaya. Nusa Tenggara Timur.

BAB 2

BESARAN DAN SATUAN

Oleh Asmeati

2.1 Pendahuluan

Fisika merupakan ilmu dasar yang mendasari berbagai aplikasi dalam teknik, termasuk teknik industri. Salah satu konsep utama dalam fisika adalah *besaran*, yaitu segala sesuatu yang dapat diukur, seperti panjang, massa, waktu, dan suhu. Pemahaman yang baik mengenai besaran sangat penting karena berbagai kegiatan di dunia industri, seperti perencanaan produksi hingga pengujian kualitas, bergantung pada pengukuran yang akurat dan tepat.

Untuk memastikan keseragaman dalam pengukuran, digunakanlah Sistem Satuan Internasional (SI), yang menjadi standar global. Dalam sistem ini, setiap besaran memiliki satuan pokok yang tetap, seperti meter untuk panjang dan kilogram untuk massa. Pemahaman yang benar tentang sistem satuan sangat penting agar pengukuran dapat dipahami dengan konsisten di seluruh dunia, terutama dalam industri.

Selain itu, konversi satuan juga memainkan peran penting dalam teknik industri, mengingat variasi satuan yang digunakan dalam perhitungan. Kemampuan untuk mengkonversi satuan dengan tepat memudahkan analisis data dan perancangan sistem yang efisien. Oleh karena itu, pemahaman mengenai besaran, sistem satuan, dan konversinya sangat diperlukan dalam semua tahap perencanaan dan operasional industri, guna mencapai hasil yang optimal dan efisien.

2.2 Besaran Fisika

2.2.1 Besaran Pokok

Besaran fisika adalah segala sesuatu yang dapat diukur atau dihitung dalam konteks fisika, yang dapat berupa nilai numerik yang terkait dengan objek atau fenomena fisika tertentu. Definisi lainnya adalah sifat benda atau gejala alam yang dapat diukur (Eswanto *et al.*, 2022) (Trianiza, Lisdawati and Herlina, 2020)

Konsep besaran ini sangat penting karena segala bentuk perhitungan dalam fisika dan teknik, termasuk dalam teknik industri, bergantung pada pengukuran besaran yang tepat. Dalam dunia industri, penggunaan besaran yang benar memastikan bahwa perancangan sistem, perhitungan efisiensi, serta kontrol kualitas dapat dilakukan dengan akurat. Oleh karena itu, pemahaman tentang berbagai jenis besaran dan satuan yang terkait sangat diperlukan oleh mahasiswa dan profesional di bidang teknik dan industri. Proses pengukuran yang akurat dan pemilihan satuan yang sesuai adalah kunci dalam mencapai hasil yang optimal dalam setiap aplikasi teknik.

Besaran dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu besaran pokok dan besaran turunan. Besaran pokok adalah besaran dasar yang tidak dapat dijelaskan dengan besaran lainnya, seperti panjang, massa, dan waktu. Sedangkan besaran turunan merupakan hasil kombinasi dari besaran pokok, seperti kecepatan, gaya, dan tekanan (Serway & Jewett, 2014). Pemahaman tentang besaran ini sangat penting karena berperan dalam berbagai perhitungan dan analisis dalam bidang ilmu teknik dan industri.

Besaran pokok adalah besaran dasar yang tidak dapat dijelaskan lebih lanjut dengan besaran lainnya dan digunakan sebagai dasar untuk mendefinisikan besaran turunan dalam fisika. Dalam Sistem Satuan Internasional (SI), terdapat tujuh besaran pokok yang menjadi acuan utama dalam pengukuran berbagai fenomena fisika. Besaran pokok ini meliputi panjang, massa, waktu, suhu,

arus listrik, jumlah zat, dan intensitas cahaya. Setiap besaran pokok ini memiliki satuan yang telah disepakati secara internasional, yang memastikan konsistensi dalam pengukuran di seluruh dunia. Besaran pokok memainkan peran yang sangat penting dalam fisika dan teknik karena semua perhitungan atau pengukuran lainnya akan bergantung pada besaran pokok ini. (Serway & Jewett, 2008).

Berikut adalah contoh besaran pokok beserta satuan internasionalnya dalam tabel:

Tabel 2. 1 Besaran Pokok (Eswanto *et al.*, 2022)

Besaran Pokok	Satuan	Simbol	Definisi
Panjang	Meter	m	Ukuran sejauh-jauhnya ruang dalam satu dimensi.
Massa	Kilogram	kg	Ukuran jumlah materi dalam suatu benda.
Waktu	Detik	s	Interval antara dua kejadian atau peristiwa.
Arus Listrik	Ampere	A	Banyaknya muatan listrik yang mengalir per satuan waktu.
Suhu	Kelvin	K	Ukuran tingkat panas atau dinginnya suatu benda.
Jumlah Substansi	Mol	mol	Jumlah partikel (atom, molekul, atau ion) dalam suatu zat.
Intensitas Cahaya	Candela	cd	Ukuran k [↓] atan cahaya yang dipancarkan dalam arah tertentu.

2.2.2 Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang diperoleh dari hasil pengukuran atau perhitungan besaran pokok melalui hubungan matematis atau operasional. Besaran turunan ini biasanya merupakan hasil perkalian atau pembagian besaran pokok. Besaran turunan sangat penting dalam ilmu fisika karena digunakan untuk menggambarkan banyak fenomena alam dan proses yang terjadi di dunia nyata (Giancoli, D.C. (2005))

Berikut adalah tabel yang menunjukkan beberapa contoh besaran turunan beserta satuan dan rumus yang digunakan untuk menghitungnya:

Tabel 2. 2 Besaran Turunan (Eswanto *et al*, 2022)

Besaran Turunan	Satuan	Rumus
Kecepatan	meter per detik (m/s)	$v = \frac{s}{t}$
Percepatan	meter per detik kuadrat (m/s ²)	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Gaya	Newton (N)	$F = m \cdot a$
Energi Kinetik	Joule (J)	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$
Daya	Watt (W)	$P = \frac{W}{t}$

2.3 Sistem Satuan

Sistem satuan adalah aturan yang digunakan untuk mengukur dan menyatakan besaran fisika dalam suatu standar yang konsisten dan dapat dipahami secara universal (Satriawan M, 2012). Ada tiga sistem satuan yang sering digunakan dalam ilmu fisika, yaitu Sistem Internasional (SI), sistem metrik, dan sistem Imperial. Sistem Internasional (SI) adalah sistem yang paling banyak digunakan secara global, karena kemudahan dalam konversi antar satuan yang berbasis pada kelipatan 10. Satuan dasar dalam sistem SI mencakup panjang, massa, waktu, arus listrik, suhu, jumlah zat, dan intensitas cahaya. Sistem ini memudahkan komunikasi ilmiah di seluruh dunia karena bersifat standar dan seragam (Trianiza, Lisdawati and Herlina, 2020)

Sistem metrik adalah sistem satuan yang digunakan di sebagian besar negara dan berdasarkan satuan dasar yang diatur dengan kelipatan sepuluh. Sementara itu, sistem Imperial digunakan di beberapa negara, terutama di Amerika Serikat, dan satuannya berbeda dengan sistem SI, seperti panjang dalam inci atau kaki, dan massa dalam pound. Meskipun sistem Imperial masih digunakan, sebagian besar dunia ilmiah beralih menggunakan sistem SI karena kepraktisannya dalam konversi antar satuan dan keseragamannya. Berikut adalah tabel yang menunjukkan beberapa satuan dalam sistem SI dan sistem lainnya.

Tabel 2. 3 Sistem Satuan (Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007))

Besaran	Satuan SI	Satuan Imperial	Satuan Metrik
Panjang	meter (m)	inci (in), kaki (ft)	kilometer (km), centimeter (cm)
Massa	kilogram (kg)	pound (lb)	gram (g)
Waktu	detik (s)	detik (s)	detik (s)
Arus Listrik	ampere (A)	ampere (A)	ampere (A)
Suhu	Kelvin (K)	Fahrenheit (°F)	Celsius (°C)
Jumlah Zat	mol (mol)	mol (mol)	mol (mol)
Intensitas Cahaya	candela (cd)	candela (cd)	candela (cd)

Awalan satuan digunakan untuk menyatakan kelipatan atau pecahan dari satuan dasar dalam sistem satuan internasional (SI). Awalan ini memberikan kemudahan dalam mengukur besaran yang sangat besar atau sangat kecil. Setiap awalan memiliki nilai kelipatan atau pembagi yang ditentukan dengan faktor 10, misalnya kilo- yang berarti 1.000 kali lipat dari satuan dasar, dan mili- yang berarti 1/1.000 dari satuan dasar. Penggunaan awalan ini memudahkan konversi antar satuan yang berbeda tanpa perlu menulis angka yang terlalu panjang.

Tabel 2. 4 Awalan Satuan (Giancoli, D.C. (2005))

Awalan	Faktor	Contoh Satuan	Nilai Contoh
Kilo-	10^3	kilometer (km)	1 km = 1.000 meter
Centi-	10^{-2}	sentimeter (cm)	1 cm = 0.01 meter
Mili-	10^{-3}	milimeter (mm)	1 mm = 0.001 meter
Mega-	10^6	megawatt (MW)	1 MW = 1.000.000 watt
Micro-	10^{-6}	mikrometer (μm)	1 μm = 0.000001 meter

2.4 Konversi Satuan

Konversi satuan merupakan proses untuk mengubah nilai suatu besaran dari satu satuan ke satuan yang lain. Konversi ini sering dilakukan dalam fisika dan matematika untuk menyederhanakan perhitungan atau agar satuan yang digunakan lebih sesuai dengan konteks masalah. Konversi satuan dilakukan dengan menggunakan faktor konversi, yaitu angka yang menghubungkan dua satuan yang berbeda. Faktor konversi ini sering kali berbentuk kelipatan atau pecahan dari angka dasar, misalnya 1 kilometer (km) = 1.000 meter (m), atau 1 jam = 60 menit

Dalam sistem satuan internasional (SI), konversi satuan dapat dilakukan dengan mudah menggunakan kelipatan sepuluh. Sebagai contoh, konversi dari milimeter (mm) ke meter (m) cukup dengan membagi angka tersebut dengan 1.000, karena 1 meter = 1.000 milimeter. Konversi satuan juga berguna ketika kita perlu bekerja dengan besaran yang sangat besar atau sangat kecil, seperti mengonversi kilometer ke meter untuk jarak yang lebih besar atau mikrometer ke meter untuk ukuran yang lebih kecil.

Berikut adalah tabel konversi beberapa satuan panjang, massa, dan waktu dalam sistem metrik:

Tabel 2. 5 Konversi Satuan (Heizer, J., & Render, B. (2014))

Satuan Asal	Satuan Tujuan	Faktor Konversi	Hasil Konversi
Kilometer (km)	Meter (m)	1 km = 1.000 m	5 km = 5.000 m
Milimeter (mm)	Meter (m)	1 m = 1.000 mm	500 mm = 0.5 m
Kilogram (kg)	Gram (g)	1 kg = 1.000 g	2 kg = 2.000 g
Jam (h)	Menit (min)	1 h = 60 min	2 h = 120 min
Detik (s)	Menit (min)	↓ 1 min = 60 s	180 s = 3 min

Contoh Soal:

Seorang pelari mencatat waktu tempuh 1.200 detik dalam sebuah lomba. Tentukan waktu tempuh pelari tersebut dalam satuan jam!

Penyelesaian:

Kita tahu bahwa 1 jam = 3.600 detik, jadi untuk mengonversi 1.200 detik ke jam, kita bagi angka tersebut dengan 3.600:

$$\text{Waktu dalam jam} = \frac{1.200 \text{ detik}}{3.600 \text{ detik/jam}} = 0.333 \text{ jam.}$$

Jadi: Jadi, waktu tempuh pelari tersebut adalah 0,333 jam atau sekitar 20 menit.

2.5 Penerapan Besaran Dan Satuan Dalam bidang Teknik Industri

Dalam bidang teknik industri, penerapan besaran dan satuan sangat penting untuk mendukung perencanaan, produksi, dan pengendalian kualitas. Besaran pokok dan turunan digunakan untuk mengukur berbagai aspek dari sistem industri seperti kecepatan aliran, kapasitas produksi, konsumsi energi, dan biaya operasional. Penggunaan satuan yang tepat sangat krusial agar perhitungan yang dilakukan akurat dan konsisten dalam berbagai tahap produksi. Misalnya, dalam pengukuran kecepatan produksi pada sebuah lini perakitan, satuan yang digunakan mungkin meter per detik (m/s) atau unit per jam, tergantung pada konteks dan jenis produk yang diproduksi.

Dalam perencanaan sistem manufaktur, besaran seperti waktu, panjang, dan massa sangat sering digunakan untuk menghitung kapasitas produksi atau waktu siklus. Waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit produk. Besaran turunan seperti daya dan efisiensi juga digunakan untuk menilai seberapa efisien suatu mesin dalam menjalankan fungsinya. Sebagai contoh, dalam penghitungan efisiensi mesin, daya yang digunakan dibandingkan dengan daya yang dihasilkan oleh mesin, menggunakan satuan watt (W) untuk daya. Dengan demikian, pemahaman terhadap besaran dan satuan ini akan membantu insinyur industri dalam

membuat keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan proses produksi (Heizer, J., & Render, B. (2014)

Pada bidang teknik industri, konversi satuan juga sangat dibutuhkan, terutama ketika melibatkan data dari berbagai sistem yang menggunakan satuan yang berbeda. Misalnya, ketika merancang sistem distribusi energi, mungkin diperlukan konversi antara satuan energi seperti joule (J) dan kilowatt jam (kWh). Penggunaan awalan satuan dalam perhitungan kapasitas produksi juga memungkinkan perhitungan yang lebih sederhana dan lebih mudah dipahami. Contohnya, mengonversi kapasitas mesin dari megawatt (MW) ke watt (W) agar perhitungan konsumsi energi lebih tepat dan mudah dibandingkan dengan kapasitas mesin yang lebih kecil.

Sebagai contoh penerapan lebih lanjut, dalam perhitungan waktu pengiriman barang, sering kali digunakan satuan waktu seperti jam atau menit untuk menghitung waktu transportasi. Misalnya, dalam pengelolaan logistik, perusahaan harus menghitung waktu yang diperlukan untuk pengiriman dari gudang ke konsumen menggunakan satuan waktu yang tepat. Besaran lainnya yang digunakan adalah jarak, yang diukur dalam kilometer atau meter, untuk menentukan rute tercepat. Oleh karena itu, pemahaman dan penerapan yang tepat dari besaran dan satuan dalam bidang teknik industri akan meningkatkan efisiensi operasional dan produktivitas.

Contoh soal:

1. Sebuah mesin di pabrik dapat memproduksi 50 unit produk dalam 10 jam. Berapa waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit produk?

Penyelesaian:

Untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit produk, kita bagi total waktu dengan jumlah unit yang diproduksi:

$$\text{Waktu per unit} = \frac{10 \text{ jam}}{50 \text{ unit}} = 0,2 \text{ jam} = 12 \text{ menit.}$$

Jadi, waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit produk adalah 12 menit.

2. Sebuah mesin menggunakan 2.500 joule (J) energi untuk memproses satu unit barang. Berapa energi tersebut dalam kilojoule (kJ)?

Penyelesaian:

Karena 1 kJ = 1.000 J, kita dapat mengonversi 2.500 J ke dalam kJ dengan membagi angka tersebut dengan 1.000:

$$\text{Energi dalam kJ} = \frac{2.500 \text{ J}}{1.000} = 2,5 \text{ kJ.}$$

Jadi, energi yang digunakan oleh mesin untuk memproses satu unit barang adalah 2,5 kJ.

3. Sebuah mesin digunakan untuk mengangkat beban seberat 1.000 kg setinggi 5 meter dalam waktu 20 detik. Hitunglah daya yang diperlukan oleh mesin tersebut!

Penyelesaian:

Untuk menghitung daya, kita gunakan rumus daya $P = \frac{W}{t}$, di mana W adalah kerja yang dilakukan dan t adalah waktu. Kerja dapat dihitung dengan rumus $W = F \times d$, di mana F adalah gaya yang diperlukan untuk mengangkat beban, dan d adalah jarak yang ditempuh (5 meter).

$$\text{Gaya } F = m \times g = 1.000 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 9.800 \text{ N.}$$

$$\text{Kerja } W = 9.800 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 49.000 \text{ J.}$$

Sekarang, kita dapat menghitung daya:

$$P = \frac{49.000 \text{ J}}{20 \text{ s}} = 2.450 \text{ W} = 2,45 \text{ kW.}$$

Jadi: Daya yang diperlukan mesin tersebut adalah 2.45 kW

DAFTAR PUSTAKA

- Eswanto *et al.* (2022) 'Buku Fisika Dasar Bagian Mekanika dan Kalor', *Andrew's Disease of the Skin Clinical Dermatology.*, 4(1), pp. 81–159.
- Giancoli, D.C. (2005). *Physics: Principles with Applications* (6th ed.). Pearson Education.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). *Operations Management* (11th ed.). Pearson Education.
- Satriawan M. (2012) 'Satriawan, Mirza', *Fisika Dasar*, p. 221. Available at: <https://mirza.staff.ugm.ac.id/fisdas/FisdasbookI.pdf>.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). *Physics for Scientists and Engineers* (7th ed.). Brooks/Cole.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (9th ed.). Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Trianiza, I., Lisdawati, A.N. and Herlina, F. (2020) *FISIKA DASAR Untuk Perguruan Tinggi*.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). W. H. Freeman and Company.

BAB 3

OPERASI VEKTOR DAN SKALAR

Oleh Rahmaniah

3.1 Pendahuluan

Dalam dunia teknik industri, pemahaman tentang konsep-konsep dasar dalam fisika sangatlah penting. Salah satu konsep dasar yang sering digunakan adalah vektor dan skalar. Kedua jenis besaran ini memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai analisis, baik dalam perhitungan gaya, energi, maupun pergerakan sistem mekanis (Giancoli, 2014).

Vektor adalah besaran yang memiliki dua karakteristik utama, yaitu besar dan arah. Berbeda dengan skalar, yang hanya mengandung informasi tentang nilai atau besaran, vektor juga menyatakan arah, yang memberikan informasi lebih lengkap tentang posisi atau pergerakan suatu objek. Vektor sering kali digunakan untuk menggambarkan gaya, kecepatan, percepatan, dan perubahan posisi dalam analisis teknik (Tipler & Mosca, 2007).

Contoh vektor dalam teknik industri adalah gaya yang diterapkan pada sebuah struktur atau pergerakan suatu benda dalam ruang. Gaya tidak hanya memiliki besar (seberapa kuat gaya tersebut), tetapi juga memiliki arah (ke arah mana gaya tersebut diterapkan). Sebagai contoh, dalam analisis statika struktur, gaya yang bekerja pada suatu objek sering dihitung menggunakan vektor untuk menentukan distribusi dan dampaknya pada struktur tersebut (Beer, Johnston, & Mazurek, 2013).

Skalar adalah besaran yang hanya memiliki nilai tanpa arah. Skalar hanya memberikan informasi mengenai besar atau kuantitas suatu besaran, tanpa memperhatikan arah atau posisi. Beberapa contoh besaran skalar dalam teknik industri meliputi waktu, suhu, massa, panjang, dan energi (Young & Freedman, 2012).

Misalnya, dalam perhitungan energi kinetik, meskipun kecepatan suatu objek adalah vektor (memiliki arah), energi yang dihitung darinya adalah skalar, yang hanya menunjukkan besar energi tanpa memerlukan arah (Halliday, Resnick, & Walker, 2014).

Dalam bidang teknik industri, pemahaman tentang kedua jenis besaran ini sangatlah penting. Vektor sering digunakan dalam perhitungan yang melibatkan arah dan besar gaya atau kecepatan, seperti dalam analisis mekanis atau struktur bangunan. Sementara itu, skalar digunakan untuk menghitung kuantitas yang tidak melibatkan arah, seperti energi, daya, dan massa. Kedua jenis besaran ini sering digunakan secara bersamaan untuk menganalisis berbagai sistem dalam teknik industri, dari perhitungan energi mekanik dalam mesin hingga analisis gaya yang bekerja pada suatu struktur (Reddy, 2011).

Untuk itu, pemahaman tentang cara-cara mengoperasikan vektor dan skalar, serta cara-cara menggabungkan keduanya dalam perhitungan dan analisis, merupakan keterampilan dasar yang harus dikuasai oleh mahasiswa teknik industri. Dalam bab ini, kita akan membahas lebih lanjut mengenai konsep dasar vektor dan skalar, serta operasi-operasi yang dapat dilakukan dengan kedua jenis besaran ini dalam berbagai aplikasi teknik industri (Hibbeler, 2016).

3.2 Operasi Vektor

Operasi vektor merupakan operasi matematika yang dilakukan pada vektor. Vektor dapat dijumlahkan, dikurangkan, atau dikalikan dengan bilangan skalar. Selain itu, vektor juga dapat dikalikan dengan vektor lainnya dalam bentuk produk titik (*dot product*) atau produk silang (*cross product*). Dalam teknik industri, operasi vektor digunakan untuk analisis gaya,

pergerakan, dan berbagai aplikasi fisik lainnya yang memerlukan pertimbangan arah dan besar.

3.2.1 Penjumlahan dan Pengurangan Vektor

Penjumlahan dan pengurangan vektor dilakukan dengan cara menjumlahkan atau mengurangi komponen-komponen vektor sesuai dengan arah dan besar vektor tersebut.

Penjumlahan Vektor:

Untuk menjumlahkan dua vektor $\vec{A}$ dan $\vec{B}$, kita jumlahkan komponen-komponen masing-masing vektor secara terpisah. Misalnya, jika:

$$\vec{A} = A_x, A_y, A_z \text{ dan } \vec{B} = B_x, B_y, B_z$$

maka penjumlahan kedua vektor tersebut adalah:

$$\vec{A} + \vec{B} = (A_x, A_y, A_z) + (B_x, B_y, B_z) = (A_x + B_x, A_y + B_y, A_z + B_z)$$

Contoh:

Misalnya $\vec{A} = (2,3,4)$ dan $\vec{B} = (1,0,1)$, maka:

$$\begin{aligned}\vec{A} + \vec{B} &= (2, 3, 4) + (1, 0, -1) = (2 + 1, 3 + 0, 4 + (-1)) \\ &= (3, 3, 3)\end{aligned}$$

Pengurangan Vektor:

Pengurangan vektor dilakukan dengan cara mengurangkan komponen-komponen vektor secara terpisah. Misalnya, untuk $\vec{A} - \vec{B}$, kita lakukan pengurangan pada setiap komponen:

$$\vec{A} = A_x, A_y, A_z \text{ dan } \vec{B} = B_x, B_y, B_z$$

maka pengurangan kedua vektor tersebut adalah:

$$\vec{A} - \vec{B} = (A_x, A_y, A_z) - (B_x, B_y, B_z) = (A_x - B_x, A_y - B_y, A_z - B_z)$$

Contoh:

Misalnya $\vec{A} = (4,5,6)$ dan $\vec{B} = (2,1,3)$, maka:

$$\vec{A} - \vec{B} = (4, 5, 6) - (2, 1, 3) = (4 - 2, 5 - 1, 6 - 3) = (2, 4, 3)$$

3.2.2 Perkalian Vektor dan Skalar

Perkalian vektor dengan bilangan skalar k menghasilkan vektor baru yang memiliki arah yang sama (atau berlawanan) dengan vektor asli, tetapi besar vektornya berubah sesuai dengan nilai skalar tersebut.

- Jika $k > 1$, maka vektor yang dihasilkan lebih besar dari vektor asli.
- Jika $0 < k < 1$, maka vektor yang dihasilkan lebih kecil dari vektor asli.
- Jika $k = 0$, maka vektor yang dihasilkan adalah vektor nol, yaitu vektor tanpa arah dan besar.
- Jika $k < 0$, maka arah vektor yang dihasilkan berlawanan dengan arah vektor asli, tetapi besar vektor tetap sesuai dengan nilai mutlak dari k .

Beberapa contoh perkalian Vektor dengan scalar.

Contoh : Skalar Positif.

Misalkan ada vektor $v = (2,3)$ dan skalar $k = 4$. Maka hasil perkaliannya adalah:

$$v' = 4 \cdot v = 4 \cdot (2,3) = (8,12)$$

Vektor yang dihasilkan adalah $v' = (8,12)$, yang lebih besar empat kali dari vektor asli.

Contoh: Skalar Negatif

Sekarang misalkan vektor $v = (2,3)$ dan skalar $k = -2$. Maka hasil perkaliannya adalah:

$$v' = -2 \cdot v = -2 \cdot (2,3) = (-4, -6)$$

Vektor yang dihasilkan adalah $v' = (-4, -6)$. Perhatikan bahwa vektor ini lebih besar dari yang asli, tetapi arahnya berlawanan.

Contoh: Skalar Nol

Misalkan vektor $v = (2,3)$ dan skalar $k = 0$.

Maka hasil perkaliannya adalah:

$$v' = 0 \cdot v = 0 \cdot (2,3) = (0,0)$$

Vektor yang dihasilkan adalah $v' = (0,0)$, yang merupakan vektor nol.

3.2.3 Perkalian Skalar dengan Vektor

Jika vektor $\vec{A} = A_x, A_y, A_z$ dan k adalah skalar, maka perkalian skalar k dengan vektor $\vec{A}$ adalah:

$$k\vec{A} = (kA_x, kA_y, kA_z)$$

Contoh:

Misalnya, jika $\vec{A} = (2, -3, 4)$ dan $k=5$, maka:

$$5\vec{A} = (5 \times 2, 5 \times -3, 5 \times 4) = (10, 15, 20)$$

Vektor yang dihasilkan memiliki arah yang sama dengan $\vec{A}$, tetapi besar vektornya adalah 5 kali besar $\vec{A}$.

3.3 Produk Titik (*Dot Product*)

Produk titik (*dot product*) antara dua vektor menghasilkan sebuah skalar. Produk titik antara dua vektor $\vec{A} = A_x, A_y, A_z$ dan $\vec{B} = B_x, B_y, B_z$

didefinisikan sebagai:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x, A_y, A_z) \cdot (B_x, B_y, B_z) = (A_x B_x, A_y B_y, A_z B_z)$$

Produk titik memiliki aplikasi yang sangat penting, terutama untuk menghitung kerja dalam sistem mekanik, yang dapat dihitung dengan menggunakan produk titik antara gaya dan perpindahan.

Sifat-Sifat Produk Titik:

a) Komutatif:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = \vec{B} \cdot \vec{A}$$

b) Distributif:

$$\vec{A} \cdot (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \cdot \vec{B} + \vec{A} \cdot \vec{C}$$

Contoh:

Misalnya $\vec{A} = (2, 3, -1)$ dan $\vec{B} = (4, -2, 5)$, maka produk titik antara kedua vektor tersebut adalah:

$$\begin{aligned}\vec{A} \cdot \vec{B} &= (2)(4) + (3)(-2) + (-1)(5) \\ \vec{A} \cdot \vec{B} &= 8 - 6 - 5 = -3\end{aligned}$$

Produk titik ini menghasilkan skalar -3 , yang memberikan informasi mengenai hubungan antara dua vektor tersebut dalam konteks arah dan besar.

3.4 Produk Silang (*Cross Product*)

Produk silang (*cross product*) antara dua vektor menghasilkan sebuah vektor baru yang tegak lurus terhadap kedua vektor tersebut. Produk silang hanya berlaku untuk vektor dalam ruang tiga dimensi (3D) dan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y, A_z B_x - A_x B_z, A_x B_y - A_y B_x)$$

Produk silang menghasilkan vektor yang tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh kedua vektor $\vec{A}$ dan $\vec{B}$. Besar vektor hasil produk silang dapat dihitung dengan rumus:

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| \times |\vec{B}| \sin \theta$$

di mana θ adalah sudut antara kedua vektor.

Sifat-Sifat Produk Silang:

1) Asosiatif:

Produk silang tidak komutatif, yaitu $\vec{A} \times \vec{B} \neq \vec{B} \times \vec{A}$ tetapi memenuhi hukum anti-komutatif: $\vec{A} \times \vec{B} = -(\vec{B} \times \vec{A})$

2) Distribusi:

$$\vec{A} \times (\vec{B} + \vec{C}) = \vec{A} \times \vec{B} + \vec{A} \times \vec{C}$$

Contoh:

Misalnya, $\vec{A} = (1, 2, 3)$ dan $\vec{B} = (4, 5, 6)$, maka produk silang antara kedua vektor tersebut adalah:

$$\vec{A} \times \vec{B} = (2 \cdot 6 - 3 \cdot 5, 3 \cdot 4 - 1 \cdot 6, 1 \cdot 5 - 2 \cdot 4)$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (2 \cdot 6 - 3 \cdot 5, 3 \cdot 4 - 1 \cdot 6, 1 \cdot 5 - 2 \cdot 4)$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (12 - 15, 12 - 6, 5 - 8)$$

Hasilnya adalah vektor $(-3, 6, -3)$ yang tegak lurus terhadap kedua vektor $\vec{A}$ dan vektor $\vec{B}$.

3.5 Aplikasi Operasi Vektor dalam Teknik Industri

Operasi vektor memiliki aplikasi yang sangat luas dalam teknik industri karena banyak fenomena dalam rekayasa yang memerlukan analisis yang melibatkan gaya, pergerakan, dan interaksi antara berbagai komponen yang memiliki arah dan besar. Dalam teknik industri, operasi vektor digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari analisis gaya yang bekerja pada

suatu struktur hingga perhitungan pergerakan dalam sistem mekanik dan robotik. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi operasi vektor dalam teknik industri:

3.5.1 Analisis Gaya dalam Struktur Mekanik

Salah satu aplikasi utama operasi vektor dalam teknik industri adalah dalam analisis gaya yang bekerja pada struktur mekanik. Ketika suatu benda atau struktur seperti jembatan, gedung, atau mesin diberi gaya, gaya tersebut dapat berupa gaya titik atau gaya distribusi yang beroperasi dalam berbagai arah. Dalam hal ini, penjumlahan vektor digunakan untuk menemukan gaya resultan yang bekerja pada suatu titik atau struktur. Gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut biasanya dihitung menggunakan produk titik dan produk silang untuk menentukan momen gaya atau pengaruhnya terhadap rotasi sistem (Beer, Johnston, & Mazurek, 2013).

Contoh penerapannya adalah dalam analisis statika struktur bangunan, di mana gaya-gaya yang bekerja pada berbagai elemen struktur dihitung dengan operasi vektor untuk memastikan bahwa struktur tersebut dapat menahan beban yang diterimanya tanpa mengalami kerusakan. Produk silang digunakan untuk menghitung momen gaya yang menyebabkan rotasi atau perputaran pada elemen struktur (Hibbeler, 2016).

3.5.2 Pergerakan dan Perpindahan dalam Sistem Mekanik

Operasi vektor juga sangat berguna dalam menganalisis pergerakan dan perpindahan dalam sistem mekanik. Dalam berbagai aplikasi teknik industri, perhitungan kecepatan dan percepatan benda yang bergerak dalam suatu sistem mekanis melibatkan operasi vektor. Misalnya, dalam sistem robotik, posisi dan pergerakan lengan robot sering dihitung dengan menggunakan vektor posisi dan kecepatan. Penjumlahan vektor digunakan untuk menentukan posisi relatif antara komponen robot yang bergerak, sementara produk titik

digunakan untuk menghitung energi kinetik dan kerja yang dilakukan oleh robot tersebut (Tipler & Mosca, 2007).

Contoh lainnya adalah dalam analisis gerakan kendaraan dalam sistem transportasi. Kecepatan kendaraan yang bergerak dapat direpresentasikan dengan vektor yang memiliki komponen arah dan besar, dan perubahan posisi kendaraan dapat dihitung dengan menggunakan operasi vektor. Oleh karena itu, operasi vektor membantu insinyur untuk merancang jalur dan kecepatan kendaraan secara optimal dalam sistem transportasi (Giancoli, 2014).

3.5.3 Momen dan Torsi dalam Mekanisme Mesin

Momen dan torsi adalah dua konsep penting dalam mekanika yang juga sering dihitung menggunakan operasi vektor, khususnya produk silang. Dalam mesin atau sistem mekanik yang melibatkan roda gigi, poros, dan bagian bergerak lainnya, torsi adalah gaya rotasi yang bekerja pada suatu objek yang menghasilkan perputaran. Torsi dihitung dengan produk silang antara gaya yang bekerja dan posisi titik di mana gaya tersebut diterapkan. Operasi vektor ini memungkinkan insinyur untuk merancang dan mengoptimalkan mekanisme mesin, seperti dalam motor listrik, kendaraan, dan alat-alat berat (Reddy, 2011).

3.5.4 Pengolahan Sinyal dan Sistem Kontrol

Dalam sistem kontrol dan pengolahan sinyal, operasi vektor digunakan untuk menganalisis frekuensi dan amplitudo sinyal dalam berbagai aplikasi, seperti dalam sistem kontrol industri dan pengolahan citra. Produk titik dan penjumlahan vektor digunakan untuk menghitung sinyal yang dihasilkan oleh berbagai sistem sensor dan aktuator dalam industri. Misalnya, dalam sistem pengendalian suhu atau tekanan di pabrik, data yang dihasilkan oleh sensor sering kali diwakili oleh vektor yang dihitung untuk memberikan masukan ke sistem kontrol, yang kemudian mengarahkan aktuator untuk menyesuaikan kondisi sistem (Young & Freedman, 2012).

3.5.5 Analisis Fluida dalam Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan dan aliran fluida juga memanfaatkan operasi vektor, terutama dalam analisis aliran fluida di mana kecepatan fluida dapat direpresentasikan oleh vektor. Dalam analisis aliran laminar atau turbulen, operasi vektor digunakan untuk menghitung kecepatan aliran, tekanan, dan gaya gesek dalam pipa dan saluran. Misalnya, produk titik digunakan dalam perhitungan energi yang hilang akibat gesekan dalam aliran fluida yang mengalir melalui pipa (Halliday, Resnick, & Walker, 2014). Penjumlahan vektor juga digunakan untuk menentukan distribusi aliran fluida dalam jaringan pipa yang lebih kompleks.

3.5.6 Pengaruh Vektor pada Pengolahan Material dan Proses Manufaktur

Dalam proses manufaktur, operasi vektor digunakan untuk menghitung gaya yang diterapkan pada bahan selama proses pembentukan material, seperti dalam pemotongan, penekanan, atau pencetakan logam. Analisis gaya menggunakan vektor sangat penting dalam desain alat dan mesin yang digunakan dalam proses-proses ini. Penjumlahan vektor digunakan untuk menghitung gaya total yang bekerja pada bahan, sedangkan produk silang digunakan untuk menentukan torsi yang diterapkan pada alat pemroses (Reddy, 2011).

Secara keseluruhan, operasi vektor memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai disiplin teknik industri, termasuk analisis gaya, pergerakan, momen, torsi, dan pengolahan sinyal. Penggunaan operasi vektor memungkinkan insinyur untuk merancang sistem yang lebih efisien, aman, dan optimal, serta memberikan solusi untuk berbagai tantangan teknis yang dihadapi dalam industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Beer, F. P., Johnston, E. R. & Mazurek, D. F., 2013. *Vector mechanics for engineers: Statics and dynamics* (10th ed.). McGraw-Hill.
- Giancoli, D. C., 2014. *Physics: Principles with applications* (7th ed.). Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J., 2014. *Fundamentals of physics* (10th ed.). Wiley.
- Hibbeler, R. C., 2016. *Engineering mechanics: Dynamics* (14th ed.). Pearson Education.
- Reddy, J. N., 2011. *An introduction to the finite element method* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Tipler, P. A. & Mosca, G., 2007. *Physics for scientists and engineers* (6th ed.). W.H. Freeman.
- Young, H. D. & Freedman, R. A., 2012. *University physics with modern physics* (13th ed.). Pearson Education.

BAB 4

PENGUKURAN TUNGGAL DAN PENGUKURAN BERULANG

Oleh Islamiyati Jahada Haluti

4.1 Pendahuluan

Dalam dunia teknik industri, pengukuran memiliki peran yang sangat vital dalam proses perancangan, pengendalian kualitas, dan analisis sistem. Dalam setiap langkah produksi dan pengembangan, pengukuran memberikan data objektif yang menjadi dasar dalam pengambilan keputusan. Keakuratan dan keandalan pengukuran adalah faktor kunci yang mempengaruhi hasil akhir suatu produk atau proses. Oleh karena itu, pemahaman yang baik mengenai metodologi pengukuran sangat diperlukan untuk mencapai efisiensi dan efektivitas dalam setiap tahap produksi maupun riset.

Dalam konteks eksperimen atau pengujian sistem, terdapat dua jenis pengukuran yang umumnya digunakan, yakni pengukuran tunggal (*single measurement*) dan pengukuran berulang (*repeated measurement*). Keduanya memiliki karakteristik dan penerapan yang berbeda, tergantung pada jenis analisis yang dibutuhkan dan tujuan eksperimen yang dilakukan. Pengukuran tunggal mengacu pada pengambilan data dalam satu kali pengukuran untuk variabel tertentu pada waktu atau kondisi yang spesifik (Suryadi and Amin, 2014). Sementara itu, pengukuran berulang dilakukan dengan mengukur variabel yang sama beberapa kali dalam rentang waktu atau dalam kondisi yang berbeda untuk mendapatkan data yang lebih representatif dan mengurangi ketidakpastian yang mungkin timbul akibat kesalahan acak.

4.2 Pengukuran Tunggal

Pengukuran Tunggal (*Single Measurement*) adalah jenis pengukuran yang dilakukan hanya satu kali pada suatu variabel atau parameter tertentu pada waktu atau kondisi yang spesifik. Pengukuran ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang langsung mengenai karakteristik sistem yang sedang diuji, namun tidak memberikan gambaran tentang variasi atau kesalahan acak yang mungkin ada. Misalnya, dalam pengujian kekuatan material, pengukuran tunggal dapat dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik suatu material pada satu titik pengujian tertentu. Pada pengukuran tunggal, data yang diperoleh adalah nilai tunggal yang diambil pada waktu tertentu tanpa adanya pengulangan pengukuran (Mulyono and Sugiarto, 2010).

Namun, meskipun lebih cepat dan lebih efisien dalam hal waktu, pengukuran tunggal rentan terhadap kesalahan yang mungkin terjadi akibat fluktuasi kecil yang tidak dapat dikendalikan. Kesalahan ini bisa berupa kesalahan alat ukur (misalnya, ketidakakuratan kalibrasi), kesalahan manusia, atau faktor-faktor luar yang mempengaruhi hasil pengukuran. Oleh karena itu, meskipun pengukuran tunggal bermanfaat untuk mendapatkan data dengan cepat, keandalannya terbatas tanpa adanya pengukuran berulang untuk verifikasi.

Secara matematis, hasil pengukuran tunggal dapat dianalisis dengan menghitung rata-rata (*mean*) dari sejumlah pengukuran yang mungkin dilakukan (jika lebih dari satu pengukuran), tetapi jika hanya satu pengukuran dilakukan, maka nilai tersebut adalah hasilnya. Jika ada beberapa pengukuran yang diambil, maka rumus untuk menghitung rata-rata dan deviasi standar adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata Mean

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Di mana:

$\bar{x}$ = rata-rata dari n pengukuran

x_i = adalah hasil pengukuran ke i

2. Deviasi Standar (Standard Deviation)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

σ = Deviasi Standar

x_i = hasil pengukuran

$\bar{x}$ = rata-rata hasil pengukuran

Namun, dalam konteks pengukuran tunggal, jika hanya satu pengukuran yang diambil, maka deviasi standar tidak dapat dihitung (Young and Freedman, 2016). Oleh karena itu, pengukuran tunggal umumnya tidak memberikan gambaran lengkap mengenai ketepatan atau konsistensi dari suatu sistem yang diuji.

4.2.1 Konsep Pengukuran Tunggal

Konsep pengukuran tunggal merujuk pada pendekatan dalam proses pengukuran di mana hanya satu variabel atau indikator yang diukur untuk mendapatkan informasi mengenai suatu objek atau fenomena tertentu. Pengukuran ini cenderung lebih sederhana dan langsung, karena hanya melibatkan satu elemen yang relevan dengan tujuan pengukuran (Hadi, 2016). Misalnya, ketika seseorang mengukur suhu menggunakan termometer, hanya suhu yang diukur, tanpa memperhitungkan faktor lain seperti kelembapan udara atau tekanan atmosfer. Pengukuran tunggal sering diterapkan dalam situasi di mana informasi yang dibutuhkan terbatas pada satu aspek spesifik, sehingga dapat memberikan kemudahan dan efisiensi dalam pengambilan data.

Meskipun pengukuran tunggal memiliki kelebihan dalam hal kesederhanaan dan fokus, pendekatan ini juga

memiliki keterbatasan, terutama ketika fenomena yang diukur dipengaruhi oleh lebih dari satu variabel. Dalam banyak kasus, untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat atau holistik, diperlukan pengukuran yang melibatkan berbagai variabel secara simultan. Misalnya, dalam pengukuran kualitas udara, selain mengukur suhu, juga perlu memperhatikan faktor-faktor lain seperti kadar polutan, kelembapan, dan kecepatan angin. Oleh karena itu, meskipun pengukuran tunggal bisa berguna dalam situasi tertentu, pemahaman yang lebih mendalam tentang suatu fenomena sering kali mengharuskan pendekatan pengukuran yang lebih komprehensif.

Pengukuran tunggal sering ditemukan dalam penelitian dasar atau dalam aplikasi praktis di mana variabel yang relevan sudah cukup jelas dan tidak membutuhkan analisis yang kompleks. Meskipun demikian, penting bagi praktisi atau peneliti untuk mempertimbangkan konteks dan tujuan pengukuran, sehingga mereka dapat memutuskan apakah pendekatan pengukuran tunggal sudah memadai atau perlu diperluas dengan pengukuran yang lebih holistik dan multifaset.

4.2.2 Ketidakpastian pada Pengukuran Tunggal

Ketidakpastian pada pengukuran tunggal merujuk pada besarnya variasi atau ketidaktepatan yang mungkin terjadi dalam hasil pengukuran meskipun hanya satu variabel yang diukur. Ketidakpastian ini adalah bagian tak terpisahkan dari setiap proses pengukuran, karena pengukuran yang sempurna—tanpa adanya kesalahan atau variasi—tidak mungkin tercapai (Kusrini, 2012). Meskipun fokus pengukuran hanya pada satu indikator, berbagai faktor dapat menyebabkan ketidakpastian ini. Secara umum, ketidakpastian pada pengukuran dapat dibedakan menjadi dua jenis utama: ketidakpastian sistematis dan ketidakpastian acak.

1. Ketidakpastian sistematis merujuk pada kesalahan yang konsisten atau terulang dalam pengukuran, yang

sering disebabkan oleh faktor-faktor yang dapat diketahui dan dikendalikan, seperti kalibrasi alat yang tidak tepat, ketidaktepatan dalam metode pengukuran, atau pengaruh kondisi lingkungan yang tidak terduga, seperti suhu atau kelembapan yang mempengaruhi alat ukur. Misalnya, sebuah termometer yang tidak dikalibrasi dengan benar akan memberikan pembacaan yang salah dengan margin yang konsisten pada setiap pengukuran (Olsson and Länsberg, 2011). Untuk ketidakpastian sistematis, yang lebih sulit diukur karena seringkali bersifat tetap, biasanya dihitung berdasarkan ketelitian alat ukur dan faktor eksternal. Ketidakpastian ini biasanya dinyatakan secara terpisah dan ditambahkan pada ketidakpastian acak dalam laporan akhir hasil pengukuran. Misalnya, jika ketidakpastian sistematis dari alat ukur adalah ± 0.2 dan ketidakpastian acak berdasarkan deviasi standar adalah ± 0.5 , maka total ketidakpastian bisa dihitung dengan menjumlahkan kedua nilai tersebut (dalam hal ini, secara absolut):

$$U_{total} = \sqrt{(\text{ketidakpastian sistematis})^2 + (\text{ketidakpastian acak})^2}$$

2. Ketidakpastian acak, di sisi lain, adalah variasi yang tidak dapat diprediksi yang terjadi karena faktor-faktor yang tidak terkontrol atau tidak dapat dipastikan, seperti fluktuasi kecil dalam kondisi lingkungan atau kesalahan manusia yang tidak dapat dihindari, seperti pembacaan alat yang sedikit berbeda setiap kali dilakukan. Meskipun ketidakpastian acak tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, hal ini dapat dikurangi dengan melakukan beberapa kali pengukuran dan mengambil rata-rata dari hasil pengukuran tersebut. Semakin banyak pengukuran yang dilakukan, semakin kecil ketidakpastian acak yang mempengaruhi hasil akhir (Widodo and Dewi, 2015). Jika data memiliki ketidakpastian acak, rumus untuk menghitung ketidakpastian total (U) dapat menggunakan deviasi standar sebagai pendekatan:

$$U = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Di mana :

U = Ketidakpastian total

σ = Deviasi Standar

n = jumlah pengukuran yang dilakukan

Sebagai contoh, jika kita mengukur suhu dengan termometer, beberapa faktor yang dapat menyebabkan ketidakpastian adalah: pembacaan skala yang tidak tepat, perubahan kecil dalam posisi termometer yang mempengaruhi hasil, ketidakmampuan untuk mengukur suhu secara instan, atau bahkan variasi lingkungan yang mempengaruhi termometer, seperti adanya aliran udara atau paparan langsung terhadap cahaya (Susanti and Wijayanto, 2018). Ketidakpastian ini dapat dihitung dan dilaporkan sebagai "margin of error" atau "interval ketidakpastian", yang menunjukkan rentang kemungkinan nilai yang seharusnya berada dalam hasil pengukuran yang diambil.

Secara keseluruhan, dalam pengukuran tunggal, ketidakpastian merupakan hal yang sangat penting untuk dipertimbangkan karena meskipun hanya mengukur satu variabel, hasil yang diperoleh tetap mengandung kesalahan atau ketidaktepatan yang perlu dipahami. Untuk memberikan gambaran yang lebih akurat, ketidakpastian ini harus dinyatakan secara eksplisit, baik dalam bentuk nilai absolut (misalnya, suhu yang diukur $25^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) atau dalam bentuk relatif (misalnya, 25°C dengan ketidakpastian 2%). Dengan demikian, meskipun pengukuran tunggal dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai satu variabel, penting bagi para peneliti atau praktisi untuk selalu menyertakan dan mempertimbangkan ketidakpastian sebagai bagian integral dari hasil pengukuran tersebut.

4.2.3 Analisis Data Pengukuran Tunggal

Analisis data pengukuran tunggal melibatkan proses interpretasi dan evaluasi hasil pengukuran yang hanya mengandalkan satu variabel atau indikator. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memahami sejauh mana data yang diperoleh mencerminkan fenomena yang diukur, serta untuk mengidentifikasi potensi ketidakpastian atau kesalahan yang mungkin mempengaruhi keakuratan hasil. Langkah pertama dalam analisis data pengukuran tunggal adalah mengidentifikasi jenis ketidakpastian yang ada, baik itu ketidakpastian sistematis maupun acak, dan menghitung margin kesalahan atau interval ketidakpastian yang dapat memberikan rentang nilai di mana hasil pengukuran yang sebenarnya kemungkinan besar berada. Selanjutnya, analisis ini juga mencakup pengolahan data untuk melihat apakah hasil pengukuran memenuhi kriteria atau standar yang telah ditentukan sebelumnya. Misalnya, jika pengukuran suhu dilakukan, hasilnya harus dibandingkan dengan nilai suhu yang diharapkan berdasarkan kondisi tertentu.

Setelah itu, jika data menunjukkan variasi yang signifikan, perlu dilakukan penilaian lebih lanjut untuk menentukan apakah variasi tersebut merupakan hasil dari ketidakpastian acak atau adanya faktor lain yang perlu diperbaiki dalam metode pengukuran (Setiawan and Pramudya, 2014).

Dalam pengukuran tunggal, data biasanya dianalisis secara langsung dengan melihat distribusi nilai, rata-rata, deviasi standar, atau pengukuran berulang jika diperlukan untuk meminimalkan ketidakpastian. Proses ini penting untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang validitas pengukuran dan untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat diterima dalam konteks yang relevan. Akhirnya, analisis ini dapat menghasilkan keputusan apakah alat ukur, metode, atau prosedur yang digunakan sudah memadai atau perlu disempurnakan untuk pengukuran berikutnya. Dengan demikian, meskipun

pengukuran tunggal hanya melibatkan satu variabel, analisis data yang cermat dan teliti sangat diperlukan untuk memahami kualitas dan keandalan hasil pengukuran tersebut.

4.3 Pengukuran Berulang (*Repeated Measurement*)

Pengukuran berulang adalah suatu metode pengukuran yang dilakukan lebih dari satu kali pada objek atau fenomena yang sama untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan representatif. Pendekatan ini sangat penting dalam situasi di mana ketidakpastian acak atau variasi yang tidak terduga dapat mempengaruhi hasil pengukuran tunggal. Dengan melakukan pengukuran berulang, nilai-nilai yang diperoleh dapat dianalisis untuk melihat seberapa konsisten dan stabil hasilnya. Selain itu, pengukuran berulang memungkinkan peneliti atau praktisi untuk menghitung statistik deskriptif seperti rata-rata, deviasi standar, dan ketidakpastian, yang memberikan gambaran yang lebih jelas tentang seberapa besar kesalahan atau fluktuasi yang mungkin terjadi dalam pengukuran. Pengukuran berulang juga digunakan untuk mendeteksi dan meminimalkan pengaruh faktor-faktor eksternal atau variabel yang tidak terkendali yang dapat memengaruhi akurasi data.

Dalam banyak aplikasi ilmiah (Mulyono and Sugiarto, 2010), teknik ini digunakan untuk meningkatkan keandalan hasil eksperimen, serta untuk menentukan batas ketidakpastian yang lebih kecil, sehingga memberikan hasil yang lebih meyakinkan dan valid. Setelah menghitung rata-rata, langkah selanjutnya adalah mengukur variabilitas atau dispersion data, yang dapat dilihat melalui perhitungan deviasi standar (*standard deviation*). Deviasi standar (σ) menunjukkan seberapa besar penyebaran atau variasi hasil pengukuran di sekitar nilai rata-rata. Semakin besar deviasi standar, semakin besar variasi antara hasil pengukuran yang dilakukan, yang berarti tingkat ketelitian atau presisi pengukuran rendah. Sebaliknya, deviasi standar yang kecil menunjukkan konsistensi dalam hasil pengukuran.

4.3.1 Konsep Pengukuran Berulang

Konsep pengukuran berulang mengacu pada pendekatan dalam pengukuran di mana suatu variabel atau objek yang sama diukur lebih dari satu kali dalam kondisi yang serupa untuk memperoleh data yang lebih akurat dan representatif. Dalam pengukuran berulang, setiap pengukuran dilakukan secara independen, tetapi dengan tujuan untuk meminimalkan pengaruh kesalahan acak atau faktor eksternal yang bisa memengaruhi hasil pengukuran. Metode ini digunakan ketika hasil pengukuran tunggal dianggap tidak cukup memadai untuk menggambarkan dengan tepat fenomena yang sedang dianalisis, terutama karena adanya fluktuasi atau variasi yang dapat memengaruhi nilai yang diperoleh.

Pengukuran berulang juga berguna untuk mengidentifikasi dan meminimalkan kesalahan sistematis yang mungkin tidak terlihat dalam satu pengukuran saja. Misalnya, jika alat ukur tidak terkalibrasi dengan benar, pengukuran berulang dapat membantu untuk mendeteksi bias atau kesalahan yang konsisten dalam hasil pengukuran, yang kemudian dapat diperbaiki dengan kalibrasi ulang atau penyesuaian lainnya. Pengulangan pengukuran ini juga dapat memperkecil pengaruh faktor-faktor eksternal yang mungkin tidak terkontrol pada satu waktu, seperti perubahan suhu, kelembapan, atau getaran yang dapat memengaruhi alat ukur.

Dengan melakukan pengukuran berulang, kita dapat memperoleh data yang lebih andal, yang memungkinkan peneliti untuk memperkirakan tingkat ketidakpastian atau kepercayaan pada hasil tersebut. Sebagai contoh, jika pengukuran dilakukan sepuluh kali dan nilai-nilai yang diperoleh sangat bervariasi, maka ketidakpastian atau error yang lebih besar dapat teridentifikasi. Sebaliknya, jika hasilnya konsisten dan tidak banyak bervariasi, maka kita bisa lebih yakin bahwa pengukuran tersebut dapat dipercaya dan mewakili kondisi yang sebenarnya.

4.3.2 Analisis Statistik pada Pengukuran Berulang

Analisis statistik pada pengukuran berulang sangat penting untuk memahami dan mengevaluasi kualitas data yang diperoleh melalui serangkaian pengukuran terhadap objek atau fenomena yang sama. Dalam pengukuran berulang, kita memperoleh beberapa hasil yang dapat digunakan untuk menghitung berbagai parameter statistik yang membantu mengidentifikasi pola data, mengukur konsistensi, serta mengestimasi ketidakpastian yang ada. Ada beberapa langkah statistik yang umumnya dilakukan untuk menganalisis data pengukuran berulang, di antaranya adalah perhitungan rata-rata, deviasi standar, varian, serta ketidakpastian (Serway and Jewett, 2013).

Langkah pertama dalam analisis statistik adalah menghitung rata-rata (*mean*) dari hasil pengukuran berulang. Rata-rata ini memberikan nilai sentral yang mewakili hasil pengukuran secara keseluruhan. Rata-rata dihitung dengan menjumlahkan semua nilai pengukuran dan membaginya dengan jumlah pengukuran yang dilakukan. Rata-rata ($\bar{x}$) menggambarkan nilai yang paling mewakili hasil pengukuran yang sebenarnya, dengan mengurangi pengaruh kesalahan acak yang mungkin terjadi dalam setiap pengukuran individual.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Setelah menghitung rata-rata, langkah selanjutnya adalah mengukur variabilitas atau dispersion data, yang dapat dilihat melalui perhitungan deviasi standar (*standard deviation*). Deviasi standar (σ) menunjukkan seberapa besar penyebaran atau variasi hasil pengukuran di sekitar nilai rata-rata (Serway and Jewett, 2013). Semakin besar deviasi standar, semakin besar variasi antara hasil pengukuran yang dilakukan, yang berarti tingkat ketelitian atau presisi pengukuran rendah. Sebaliknya, deviasi standar

yang kecil menunjukkan konsistensi dalam hasil pengukuran.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Untuk mendapatkan gambaran lebih lanjut mengenai distribusi data, kita juga dapat menghitung varian (*variance*), yang merupakan kuadrat dari deviasi standar. Varian memberikan informasi yang lebih terperinci mengenai sejauh mana data tersebar di sekitar rata-rata.

Selain itu, analisis statistik juga mencakup perhitungan interval kepercayaan atau *margin of error*. Interval kepercayaan menunjukkan rentang nilai di mana hasil pengukuran yang sesungguhnya kemungkinan besar berada, dengan tingkat kepercayaan tertentu (misalnya, 95%). Interval ini dapat dihitung dengan menggunakan deviasi standar dan jumlah pengukuran, serta nilai z-score yang sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan.

$$\text{Margin of Error} = z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

z = Nilai Z-score yang tergantung pada tingkat kepercayaan (misalnya, untuk tingkat kepercayaan 95%, $z = 1.96$)

σ = Deviasi Standar

n = jumlah pengukuran yang dilakukan

Analisis Residual juga sering digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan sistematis yang mungkin ada dalam data pengukuran berulang. Residual adalah selisih antara nilai pengukuran individual dan rata-rata pengukuran. Jika residual menunjukkan pola tertentu (misalnya, sistematis naik atau turun), hal ini bisa mengindikasikan adanya kesalahan sistematis yang perlu diperbaiki.

Selain itu, uji hipotesis dapat dilakukan untuk menguji apakah perbedaan antara pengukuran berulang signifikan secara statistik, misalnya, untuk memverifikasi apakah pengukuran yang dilakukan dengan alat atau metode tertentu memberikan hasil yang konsisten. Secara keseluruhan, analisis statistik pada pengukuran berulang memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang ketepatan dan presisi data.

4.5 Penerapan Pengukuran Tunggal dan Berulang dalam Industri

Pengukuran tunggal dan berulang memiliki penerapan yang sangat penting dalam berbagai sektor industri, khususnya dalam menjaga kualitas produk, efisiensi proses produksi, dan memastikan keselamatan operasional. Pengukuran tunggal biasanya digunakan dalam kondisi di mana pengukuran dilakukan hanya sekali pada suatu titik waktu untuk mendapatkan nilai parameter tertentu yang diperlukan dalam pengambilan keputusan cepat (Kusrini, 2012). Misalnya, dalam industri manufaktur, pengukuran tunggal dapat digunakan untuk memeriksa dimensi suatu produk secara acak dalam proses produksi, untuk memastikan bahwa produk tersebut tidak keluar dari toleransi yang ditetapkan. Pengukuran ini cepat dan efisien, namun hasilnya cenderung memiliki ketidakpastian lebih tinggi karena hanya dilakukan sekali, yang berarti hasilnya dapat dipengaruhi oleh kesalahan acak atau fluktuasi proses.

Di sisi lain, pengukuran berulang digunakan untuk mengurangi ketidakpastian dan meningkatkan akurasi dalam mendapatkan data yang lebih representatif, terutama di industri yang sangat bergantung pada kualitas dan presisi produk. Dalam industri semikonduktor, misalnya, pengukuran berulang digunakan untuk memeriksa ketebalan lapisan tipis yang diaplikasikan pada wafer. Karena proses ini sangat sensitif terhadap variasi kecil, pengukuran berulang memberikan gambaran yang lebih jelas tentang variasi hasil dan memungkinkan identifikasi kesalahan atau ketidaksesuaian

dalam proses pembuatan. Dengan pengukuran berulang, operator dapat menghitung rata-rata dan deviasi standar untuk menentukan apakah proses berada dalam kendali yang diinginkan atau perlu disesuaikan.

Selain itu, dalam industri otomotif, pengukuran berulang diterapkan dalam pengujian komponen kendaraan seperti suspensi atau rem, di mana setiap pengujian dilakukan beberapa kali untuk memastikan konsistensi dan keandalan komponen tersebut. Pengulangan pengukuran memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi cacat yang tidak terdeteksi pada pengukuran tunggal dan memastikan bahwa setiap komponen memenuhi standar keselamatan yang ketat.

Di sektor industri farmasi, pengukuran berulang juga sangat penting dalam pengendalian kualitas obat. Selama proses pembuatan obat, parameter seperti pH, suhu, dan kadar bahan aktif sering kali diukur berulang kali untuk memastikan bahwa setiap batch produk memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Dengan pengukuran berulang, dapat diperoleh data yang lebih akurat dan dapat dipercaya, yang sangat penting untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan aman dan efektif untuk digunakan.

Dalam penerapan praktisnya, kedua jenis pengukuran ini juga sering digunakan secara bersamaan dalam suatu proses produksi. Pengukuran tunggal bisa digunakan untuk memantau kondisi secara cepat dan *real-time*, sedangkan pengukuran berulang digunakan untuk analisis lebih mendalam yang bertujuan untuk mengidentifikasi tren, pola, dan potensi perbaikan dalam proses produksi. Dengan demikian, penerapan pengukuran tunggal dan berulang yang tepat dalam industri tidak hanya memastikan efisiensi, tetapi juga meningkatkan akurasi, kualitas, dan keselamatan produk yang dihasilkan.

4.5.1 Pengukuran dalam Manufaktur dan Produksi

Pengukuran memainkan peran yang sangat penting dalam industri manufaktur dan produksi karena dapat memastikan kualitas, presisi, dan efisiensi dalam setiap tahap proses produksi. Dalam manufaktur, baik pengukuran

tunggal maupun pengukuran berulang digunakan untuk memantau dan mengendalikan berbagai variabel penting yang dapat mempengaruhi hasil akhir produk. Pengukuran tunggal sering digunakan untuk memverifikasi kualitas produk secara acak atau pada titik-titik tertentu dalam proses produksi (Mulyono and Sugiarto, 2010). Sebagai contoh, pengukuran dimensi suatu produk atau komponen dapat dilakukan satu kali untuk memastikan apakah produk tersebut memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, seperti toleransi ukuran atau kekuatan material. Meskipun pengukuran tunggal efisien, namun cenderung memiliki tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi, karena pengukuran hanya dilakukan sekali dan hasilnya mungkin terpengaruh oleh kesalahan acak atau kondisi lingkungan yang tidak dapat diprediksi.

Sementara itu, pengukuran berulang diadopsi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan konsisten. Di dunia manufaktur, pengukuran berulang digunakan untuk mengukur parameter seperti suhu, kelembapan, ketebalan lapisan, atau dimensi produk yang kritis. Pengukuran ini dilakukan beberapa kali selama proses produksi atau pada beberapa titik produk untuk memastikan bahwa produk tersebut memenuhi standar kualitas yang ketat. Misalnya, dalam industri otomotif, pengukuran berulang sering dilakukan pada komponen-komponen penting seperti suspensi, rem, atau mesin untuk memastikan keandalan dan keselamatan. Dengan mengulang pengukuran, data yang diperoleh menjadi lebih representatif, mengurangi pengaruh kesalahan acak, dan memungkinkan penghitungan deviasi standar, yang pada gilirannya dapat digunakan untuk mengidentifikasi masalah dalam proses produksi dan memperbaikinya.

Di sektor produksi massal, pengukuran berulang juga digunakan untuk memonitor kontrol kualitas (*quality control*) sepanjang lini produksi. Misalnya, jika sebuah produk diproduksi dalam jumlah besar, pengukuran berulang dari sejumlah sampel produk dapat digunakan untuk memastikan bahwa semua unit yang diproduksi tetap

dalam batas toleransi yang diterima. Proses ini juga membantu untuk mendeteksi ketidaksesuaian atau cacat yang mungkin terjadi akibat variabilitas dalam bahan baku, perubahan dalam mesin, atau kesalahan operator.

Metode kontrol statistik sering digunakan untuk memonitor dan menganalisis data pengukuran berulang dalam produksi. Alat seperti diagram kendali (*control charts*) digunakan untuk memantau apakah proses produksi berada dalam kendali dan stabil. Jika data pengukuran menunjukkan penyimpangan dari nilai rata-rata yang telah ditetapkan, ini dapat menjadi indikator bahwa ada masalah dalam proses produksi yang memerlukan perbaikan, seperti ketidakstabilan alat mesin atau perubahan kualitas bahan baku.

Selain itu, pengukuran berulang dalam produksi juga penting untuk optimasi proses. Dengan melakukan pengukuran beberapa kali, perusahaan dapat mengidentifikasi variabel yang memengaruhi efisiensi produksi, seperti waktu siklus, kecepatan mesin, atau suhu operasional. Pengolahan data dari pengukuran berulang memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data yang lebih akurat untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi pemborosan, dan meminimalkan biaya.

4.5.2 Pengukuran dalam Pemeliharaan dan Perbaikan Mesin

Pengukuran yang akurat dan presisi memegang peranan krusial dalam memastikan pemeliharaan dan perbaikan mesin di lingkungan industri. Kondisi mesin yang tidak optimal atau kurang perawatan dapat berujung pada kerusakan signifikan, periode henti produksi yang berkepanjangan, dan peningkatan biaya operasional (Olsson and Länsberg, 2011). Dalam konteks ini, dua pendekatan pengukuran, yaitu pengukuran tunggal dan pengukuran berulang, diterapkan untuk memantau kinerja mesin, mengidentifikasi potensi kerusakan, dan

merencanakan tindakan pemeliharaan preventif maupun korektif.

1) Pengukuran Tunggal: Evaluasi Kondisi Mesin Sekilas
Pengukuran tunggal lazim digunakan untuk melakukan inspeksi cepat terhadap kondisi mesin pada suatu waktu tertentu. Sebagai contoh, pengukuran suhu atau vibrasi pada mesin dapat dilakukan sekali untuk menentukan apakah mesin beroperasi dalam rentang yang aman. Pengukuran ini memberikan informasi dasar mengenai kondisi mesin, seperti apakah terdapat indikasi panas berlebihan atau ketidakseimbangan pada komponen mesin. Sebagai ilustrasi, pengukuran suhu dapat dilakukan untuk memastikan bahwa suhu motor atau komponen lainnya tidak melampaui batas yang telah ditentukan, yang dapat mengindikasikan potensi masalah seperti gesekan berlebihan atau kegagalan pelumas.

2) Pengukuran Berulang: Pemantauan Kondisi Mesin Secara Komprehensif

Namun demikian, pengukuran berulang lebih sering dimanfaatkan dalam konteks pemeliharaan dan perbaikan mesin guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai kondisi mesin dalam rentang waktu yang lebih panjang. Melalui pengukuran berulang, parameter seperti vibrasi, suhu, tekanan, atau kecepatan mesin diukur secara kontinu atau pada interval reguler untuk memantau fluktuasi yang terjadi selama operasi mesin. Pengukuran berulang ini sangat efektif dalam mendeteksi perubahan yang mungkin tidak terdeteksi melalui pengukuran tunggal. Sebagai contoh, dalam pemeliharaan prediktif, pengukuran berulang digunakan untuk memantau vibrasi pada komponen seperti pompa atau motor listrik. Ketika pola vibrasi mesin menunjukkan perubahan signifikan, hal ini dapat menjadi indikasi awal adanya masalah seperti keausan bantalan, ketidakseimbangan, atau masalah pada roda gigi.

3) Interpretasi Data Pengukuran Berulang

Analisis tren merupakan teknik yang umum digunakan dalam pengolahan data pengukuran berulang untuk keperluan pemeliharaan dan perbaikan mesin. Dengan mengumpulkan data pengukuran berulang dari waktu ke waktu, teknisi pemeliharaan dapat mengidentifikasi apakah terdapat peningkatan atau penurunan yang signifikan pada parameter-parameter tertentu, seperti peningkatan suhu atau vibrasi. Apabila data menunjukkan tren yang mencurigakan, misalnya suhu mesin yang terus meningkat atau vibrasi yang semakin intens, hal ini dapat menjadi indikator bahwa mesin memerlukan pemeliharaan lebih lanjut, bahkan sebelum kerusakan yang lebih serius terjadi. Teknik ini memungkinkan pelaksanaan pemeliharaan secara preventif, sehingga mencegah kerusakan mesin yang berbiaya mahal dan periode henti produksi yang panjang.

4) Kalibrasi Alat dan Mesin: Menjaga Akurasi Pengukuran

Pengukuran berulang juga memegang peranan penting dalam proses kalibrasi alat dan mesin. Mesin atau alat ukur seringkali mengalami penyimpangan atau perubahan kinerja seiring dengan waktu akibat keausan atau perubahan lingkungan. Pengukuran berulang membantu mendeteksi adanya perubahan pada kinerja alat dan mengidentifikasi kapan kalibrasi ulang atau penggantian komponen diperlukan. Sebagai contoh, pada mesin presisi yang digunakan dalam produksi, pengukuran berulang dilakukan pada dimensi produk atau kedalaman pemotongan untuk memastikan bahwa mesin tetap beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

5) Pengukuran Keausan dan Umur Mesin

Selain itu, pengukuran berulang juga bermanfaat untuk mengukur tingkat keausan dan memperkirakan umur mesin. Komponen seperti bantalan, roda gigi, dan poros mesin umumnya mengalami keausan seiring dengan waktu, yang dapat mengurangi efisiensi atau

bahkan menyebabkan kegagalan mendadak jika tidak dipantau secara berkelanjutan. Pengukuran berulang terhadap parameter seperti suhu, tekanan, dan vibrasi memberikan informasi berharga untuk memperkirakan kapan suatu komponen perlu diganti atau diperbaiki. Dengan demikian, pemeliharaan dapat dilakukan dengan lebih efisien dan tepat waktu, mengurangi risiko kerusakan tak terduga.

6) Penggunaan dalam Industri dengan Tingkat Keandalan Tinggi

Dalam industri yang sangat bergantung pada keandalan, seperti industri penerbangan atau pembangkit listrik, pengukuran berulang untuk pemeliharaan mesin tidak hanya membantu memperpanjang umur mesin, tetapi juga mengurangi biaya operasional yang timbul akibat kerusakan mendadak dan penggantian yang tidak terduga. Sebagai contoh, dalam pemeliharaan turbin gas atau mesin pesawat, pengukuran berulang terhadap vibrasi dan suhu digunakan untuk mendeteksi anomali kecil yang berpotensi berkembang menjadi masalah besar jika diabaikan.

4.6 Pemilihan Metode Pengukuran

Pemilihan metode pengukuran yang tepat sangat penting dalam memastikan keakuratan, konsistensi, dan efisiensi dalam memperoleh data. Dalam berbagai aplikasi industri, ilmiah, dan teknis, metode pengukuran yang dipilih harus sesuai dengan tujuan pengukuran, karakteristik objek yang diukur, serta ketelitian yang diinginkan. Beberapa faktor yang memengaruhi pemilihan metode pengukuran antara lain jenis variabel yang akan diukur, tingkat ketidakpastian yang dapat diterima, ketersediaan peralatan, serta sumber daya dan waktu yang tersedia. Pemilihan metode yang tepat akan membantu menghasilkan data yang lebih akurat dan mengurangi risiko kesalahan dalam pengukuran.

1) Jenis Variabel yang Diukur

Salah satu faktor utama dalam pemilihan metode pengukuran adalah jenis variabel yang akan diukur. Misalnya, dalam pengukuran dimensi fisik seperti panjang, lebar, dan tinggi, metode yang digunakan biasanya berupa alat ukur linear seperti mikrometer, jangka sorong, atau mesin CMM (*coordinate measuring machine*). Sedangkan untuk pengukuran suhu, alat yang digunakan bisa berupa termometer atau sensor suhu berbasis inframerah. Untuk variabel dinamis, seperti kecepatan atau getaran mesin, alat ukur seperti tachometer atau vibrometer mungkin lebih tepat. Oleh karena itu, pemilihan metode pengukuran sangat bergantung pada sifat dari variabel yang diukur dan alat ukur yang tersedia.

2) Tingkat Ketelitian dan Akurasi yang Diharapkan

Ketelitian dan akurasi adalah faktor kunci dalam pemilihan metode pengukuran. Jika pengukuran membutuhkan hasil yang sangat presisi, misalnya dalam produksi komponen mikroelektronik atau komponen otomotif yang membutuhkan toleransi ketat, maka metode yang lebih canggih dan akurat seperti pemindai laser atau mikroskop digital bisa menjadi pilihan. Di sisi lain, jika ketelitian yang dibutuhkan tidak begitu tinggi, seperti dalam pengukuran suhu lingkungan atau tekanan udara, alat ukur yang lebih sederhana seperti termometer analog atau manometer sudah cukup memadai. Oleh karena itu, tingkat ketelitian yang diperlukan harus disesuaikan dengan metode dan alat ukur yang dipilih.

3) Ketidakpastian yang Dapat Diterima

Semua pengukuran mengandung ketidakpastian, yang berasal dari faktor-faktor seperti kesalahan alat ukur, pengaruh lingkungan, atau kesalahan manusia. Dalam pemilihan metode pengukuran, penting untuk mempertimbangkan seberapa besar ketidakpastian yang dapat diterima dalam hasil pengukuran. Jika hasil pengukuran harus sangat akurat dan ketidakpastian kecil, maka alat ukur yang memiliki ketelitian tinggi dan pengendalian ketat terhadap kondisi pengukuran, seperti

penggunaan pengukur digital atau sensor otomatis, akan lebih cocok. Jika ketidakpastian lebih besar dapat diterima, alat ukur dengan presisi lebih rendah, seperti alat ukur manual, bisa digunakan, asalkan tidak mengganggu proses pengambilan keputusan.

4) Ketersediaan Peralatan dan Teknologi

Faktor lain yang mempengaruhi pemilihan metode pengukuran adalah ketersediaan peralatan dan teknologi yang diperlukan untuk pengukuran. Beberapa industri atau laboratorium memiliki akses ke peralatan pengukuran canggih yang mahal, seperti spektrometer atau mikroskop elektron, yang memungkinkan pengukuran dengan presisi yang sangat tinggi. Namun, dalam banyak kasus, metode pengukuran yang lebih sederhana dan lebih terjangkau sudah cukup efektif. Misalnya, dalam industri manufaktur, pengukuran dimensi produk sering dilakukan menggunakan alat ukur manual seperti jangka sorong, sementara dalam industri elektronik atau farmasi, pengukuran dengan instrumen yang lebih sensitif dan otomatis lebih diutamakan.

5) Lingkungan dan Kondisi Pengukuran

Kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan, atau getaran, juga perlu dipertimbangkan dalam pemilihan metode pengukuran. Alat ukur tertentu mungkin lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan, yang dapat mempengaruhi akurasi hasil pengukuran. Sebagai contoh, pengukuran dalam ruang yang tidak terkontrol atau dengan peralatan yang tidak dilengkapi dengan sistem kalibrasi otomatis dapat menghasilkan ketidakpastian yang tinggi. Oleh karena itu, penting untuk memilih metode pengukuran yang dapat menyesuaikan dengan kondisi lingkungan yang ada. Dalam beberapa kasus, alat ukur yang memiliki sistem kompensasi otomatis terhadap faktor lingkungan akan lebih cocok.

6) Ketersediaan Waktu dan Biaya

Faktor praktis seperti waktu yang tersedia untuk pengukuran dan anggaran biaya juga memainkan peran besar dalam pemilihan metode pengukuran. Jika pengukuran harus dilakukan dalam jumlah besar atau

dalam waktu yang sangat terbatas, maka metode pengukuran yang cepat dan efisien, seperti penggunaan alat ukur otomatis atau sensor jarak jauh, lebih disarankan. Sementara itu, jika pengukuran dilakukan dalam skala kecil atau eksperimen terbatas, penggunaan alat ukur manual atau pengukuran yang lebih sederhana mungkin cukup, meskipun memakan waktu lebih lama.

7) Tujuan Pengukuran

Tujuan pengukuran juga sangat menentukan metode yang akan dipilih. Jika tujuan pengukuran adalah untuk “pengendalian kualitas” dalam produksi massal, maka metode yang digunakan harus efisien dan dapat diterapkan pada skala besar, seperti penggunaan alat ukur otomatis atau sistem pengukuran berbasis komputer. Sementara itu, untuk “penelitian ilmiah” atau “pengujian laboratorium”, di mana akurasi dan presisi lebih penting, metode yang lebih rumit dan alat ukur dengan tingkat ketelitian tinggi mungkin diperlukan, bahkan jika pengukuran hanya dilakukan sekali.

Secara keseluruhan, pemilihan metode pengukuran yang tepat harus mempertimbangkan berbagai faktor, mulai dari jenis variabel yang diukur hingga kondisi praktis seperti anggaran dan waktu yang tersedia. Pengukuran yang akurat dan dapat diandalkan tidak hanya bergantung pada alat ukur yang digunakan, tetapi juga pada pemahaman yang mendalam mengenai tujuan pengukuran, ketidakpastian yang dapat diterima, serta faktor lingkungan dan operasional yang mempengaruhi hasil. Pemilihan metode yang tepat akan memastikan bahwa data yang diperoleh relevan, dapat diandalkan, dan memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk pengambilan keputusan yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi, S. (2016) *Pengukuran dalam Industri dan Teknik: Prinsip Dasar dan Aplikasinya*, Penerbit Unesa. Surabaya: Penerbit Graha Ilmu. Available at: https://www.mtsnkampak.sch.id/read/48/moderasi-beragama%0D%0Ahttps://www.=kata+adil+menurut+a gama+kristen%0D%0Ahttps://www.google.com/search?q=moderasi+beragam+menurut+ajaran+Hindu&client=firefox-b-d&sca_esv=%0D%0Ahttps://kemenag.go.id/khonghucu/moderasi-.
- Kusrini, S. (2012) *Fisika Teknik Industri: Konsep dan Aplikasi*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat.
- Mulyono, B. and Sugiarto, T. (2010) *Pengantar Metodologi Penelitian dan Pengukuran Teknik Industri*. Yogyakarta: Kementrian Agama RI.
- Olsson, R. T. and Länsberg, P. (2011) 'Improving Industrial Measurement Techniques for Product Quality Control', *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 4, p. 133.
- Serway, R. A. and Jewett, J. W. (2013) *Physics for Scientists and Engineers*. Brooks/Cole.
- Setiawan, D. and Pramudya, B. (2014) 'Pengaruh Pengukuran Berulang terhadap Akurasi Data dalam Pengujian Proses Produksi di Industri Manufaktur', *Jurnal Teknik Mesin*, 3(18), pp. 201–208.
- Suryadi, D. and Amin, M. (2014) *Fisika Dasar untuk Teknik Industri*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Susanti, I. and Wijayanto, A. (2018) 'Optimasi Pengukuran Berulang pada Sistem Pengendalian Kualitas di Industri Manufaktur', *Jurnal Teknologi Industri*, 4(10), pp. 123–134.

- Widodo, A. and Dewi, R. (2015) *Dasar-Dasar Pengukuran dan Kalibrasi dalam Teknik Industri, jurnal of law politic and humanities*. Bandung: Alfabeta.
- Young, H. D. and Freedman, R. A. (2016) *University Physics with Modern Physics*, Pearson.

BAB 5

TEORI KETIDAKPASTIAN, NILAI PENDEKATAN, KAIDAH ANGKA PENTING

Oleh Edna Maryani

5.1 Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering dihadapkan pada tugas mengukur besaran fisis. Beberapa contoh besaran tersebut adalah tekanan ban, panjang benda, volume, massa, waktu, tegangan, dan arus listrik. Penghitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan alat ukur, seperti amperemeter untuk mengukur kuat arus listrik yang mengalir pada suatu rangkaian, termometer untuk mengukur suhu, gelas ukur untuk mengukur volume benda cair, dan lain sebagainya.

Metode yang digunakan dalam pengukuran, suhu lingkungan sekitar, keadaan peralatan, dan analisis data penghitungan merupakan pertimbangan penting untuk memperoleh hasil penghitungan yang akurat. Dari hasil pengukuran, kemudian dapat ditarik kesimpulan. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui keberterimaan data penghitungan dan kesimpulannya. Selanjutnya, temuan penghitungan yang dikumpulkan dikontraskan dengan nilai standar atau referensi.

Kita harus ilmiah ketika mengukur variabel fisik karena temuan pengukuran, jika dibuat sebagai bagian dari percobaan laboratorium, akan dilihat oleh banyak orang. Meskipun demikian, tukang reparasi peralatan elektronik dibebaskan dari keharusan melakukan perilaku ilmiah terkait penghitungan jika

dilakukan di bengkel. Dalam lingkungan ilmiah, penghitungan yang dilakukan selama penelitian bukan untuk penggunaan pribadi sebaliknya, hasilnya akan dibaca oleh orang lain untuk tujuan ilmiah atau praktis. Oleh karena itu, agar pembaca dapat memperoleh manfaat, temuan penghitungan yang diberikan harus mematuhi serangkaian pedoman.

Pengetahuan yang kita miliki tentang dunia fisik diperoleh dengan melakukan eksperimen dan melakukan pengukuran. Penting untuk memahami cara mengekspresikan data tersebut dan caranya menganalisis dan menarik kesimpulan yang berarti darinya. Penting untuk memahami semua itu penghitungan besaran fisika mempunyai ketidakpastian. Untuk menggambar secara legal. Kesimpulannya, ketidakpastian harus ditunjukkan dan ditangani dengan benar (Koto and Nasir, 2018).

Ada kesalahan penghitungan yang bisa kita atasi yaitu kesalahan yang diakibatkan oleh kekeliruan dalam penghitungan atau penghitungan. Untungnya, kesalahan ini biasanya muncul sebagai titik data yang jelas-jelas salah atau sebagai hasil yang sangat mendekati nilai yang diharapkan. Ini diklasifikasikan sebagai kesalahan tidak valid dan umumnya dapat diperbaiki dengan mengulangi operasi secara hati-hati (Bevington and Robinson, 2003).

5.2 Pengukuran

Mencari tahu informasi mengenai parameter fisik tertentu, seperti tekanan (p), suhu (T), tegangan (V), arus listrik (I), dan sebagainya, merupakan proses pengukuran. Data yang diperoleh dapat berbentuk dua: pernyataan yang mewakili kesimpulan (kualitatif) atau nilai yang dinyatakan dalam angka (kuantitatif). Kita memerlukan alat pengukur untuk mendapatkan informasi tersebut. Misalnya, kita dapat menggunakan alat pengukur tekanan ban, seperti gambar berikut, untuk mengetahui tekanan ban mobil atau sepeda motor:



Gambar 5. 1 Alat Ukur Tekanan Angin Ban

(Sumber : Website : tokopedia)

Dalam ilmu-ilmu dasar, analisis kesalahan memiliki peran yang lebih mendasar. Ketika teori apa pun diajukan, teori tersebut harus diuji terhadap teori-teori lama melalui satu atau lebih eksperimen yang mana teori-teori baru dan teori-teori lama memprediksikan hasil yang berbeda. Pada prinsipnya, seorang peneliti hanya melakukan eksperimen dan membiarkan hasilnya menentukan teori-teori yang bersaing. Namun dalam praktiknya, situasi ini diperumit oleh ketidakpastian eksperimental yang tidak dapat dihindari. Semua ketidakpastian ini harus dianalisis dengan hati-hati dan dampaknya dikurangi hingga eksperimen tersebut menemukan satu teori yang dapat diterima (Taylor, 2022).

5.2.1 Data Pengukuran

Informasi yang dikumpulkan melalui penghitungan disebut data. Suatu proses penghitungan yang menggunakan peralatan atau perangkat tertentu untuk memeriksa atau mencatat nilai suatu fenomena atau variabel menghasilkan data pengukuran. Data dapat dikategorikan menjadi dua kategori: data kualitatif dan data kuantitatif, bergantung pada cara data diukur. Data kualitatif menghasilkan atribut, ciri, atau kualitas deskriptif yang menawarkan pemahaman lebih dalam tentang subjek yang diselidiki. Sifat data paling baik dijelaskan dengan kata-kata, gambar, atau simbol daripada angka. Sebaliknya, data kuantitatif menggunakan nilai atau angka untuk mewakili informasi yang dikumpulkan melalui pengukuran.

Ada dua kategori data kuantitatif: data olahan dan data empiris. Data empiris merupakan penghitungan yang dilakukan secara langsung atau pembacaan dari suatu alat ukur yang belum mengalami pengolahan tambahan. Data empiris termasuk dalam informasi yang diperoleh dari alat ukur. Data yang diproses, sebaliknya, adalah informasi yang telah melalui perhitungan tertentu. Ini disebut sebagai data yang diproses setelah hasilnya dihitung. Biasanya, prosedur reduksi data menghasilkan data seperti ini.

5.2.2 Reduksi Data

Setelah pengumpulan data dari hasil pengukuran, dilakukan perhitungan matematis atau data disusun ulang. Reduksi data atau pengolahan data adalah istilah untuk tindakan atau proses ini.

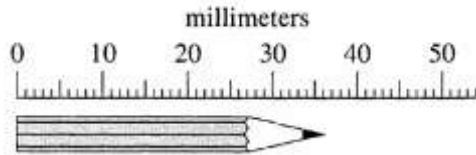
5.3 Estimasi Ketidakpastian (*Uncertainty*)

Banyak keterbatasan instrumen, fisik, dan manusia yang menyebabkan penghitungan menjadi tidak tepat nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Tidak ada penghitungan pasti atau tepat. Kita bisa mengurangi deviasi namun tidak memperdulikan kesenjangan antara yang maju instrumen atau instrumen sederhana atau teknik penghitungan yang berbeda, kita tidak bisa berharap untuk mengukur nilai sebenarnya. Penyimpangan ini disebut ketidakpastian eksperimental, tapi lebih sering kesalahan kata yang lebih pendek digunakan. Hasil penghitungan tidak boleh terdiri dari nilai terukur saja (Koto and Nasir, 2018).

Kesalahan didefinisikan oleh Webster sebagai perbedaan antara nilai yang diamati atau dihitung dan nilai sebenarnya. “Biasanya kita tidak mengetahui nilai “sebenarnya”, jika tidak maka tidak akan ada alasan untuk melakukan percobaan. Namun, kita mungkin mengetahui kira-kira nilai yang seharusnya, baik dari percobaan sebelumnya atau dari prediksi teoretis. Perkiraan ini dapat membantu, namun kita harus selalu memutuskan seberapa besar keyakinan kita terhadap hasil eksperimen kita secara metodis berdasarkan data dan

pengaturan eksperimen sebenarnya (Bevington and Robinson, 2003).

Setiap penghitungan pada umumnya akan selalu menghasilkan temuan penghitungan yang tidak akurat. Hal ini bisa jadi karena faktor lingkungan atau keterbatasan alat ukur. Kesalahan adalah adanya variasi hasil penghitungan atau ketidaksesuaian antara hasil penghitungan dengan hasil nyata. Pengertian kesalahan menggambarkan penyimpangan hasil pembacaan alat ukur dari nilai “sebenarnya” parameter fisik yang diukur, akibat ketidaktahuan kita terhadap nilai sebenarnya dari benda yang ingin kita ukur, bukan kenyataan bahwa kita mengukurnya. diukur secara tidak benar. Ilustrasi penggunaan penggaris ukur untuk mengukur panjang pensil.



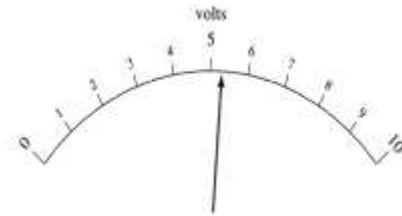
Gambar 5. 2 Mengukur Panjang Dengan Mistar, Skala Terkecil MM

(Sumber : Taylor, 2022)

Beberapa orang menggunakan istilah "kesalahan" ketika menyebutkan kesalahan dalam banyak hal karena mereka salah mengartikan istilah tersebut. Hasil penghitungan yang kita peroleh harus dinyatakan sebagai interval hasil penghitungan karena kita tidak yakin dengan nilai sebenarnya. Sebagai contoh dalam mengukur panjang benda pensil dengan penggaris misalnya, hasilnya lebih mendekati 36 mm daripada disebutkan hasil antara 35 mm dan 37 mm dengan nilai yang tidak pasti. Dalam hal ini dapat disimpulkan hasil paling baik 36 mm atau antara $35,5 \text{ mm} \leq l \leq 36,5 \text{ mm}$.

Tentu saja kisaran hasil penghitungan ini mencakup nilai sebenarnya dari penghitungan tersebut. Arti kesalahan untuk menunjukkan penyimpangan penghitungan dari nilai sebenarnya sering kali disalahartikan dengan arti ketidakpastian karena rentang nilai penghitungan juga menunjukkan ketidakpastian (ketidakpastian) hasil pengukuran. Sebagai

gambaran, penghitungan tegangan menggunakan alat ukur voltmeter:



Gambar 5. 3 Membaca Penghitungan Tegangan dengan Voltmeter
(Sumber : Taylor, 2022)

Jarak tanda ukur pada voltmeter lebih lebar dibandingkan pada penggaris. Sehingga sebagian besar pengamat setuju bahwa hasil penghitungan lebih baik karena kesederhanaan identifikasi tanda yang dekat dengan jarum penunjuk. Oleh karena jarak tanda ukur yang lebih besar ini, kita dapat memperkirakan secara realistis letak penunjuk di ruang antara dua tanda ukur. Jadi, kesimpulan yang masuk akal untuk ukuran tegangan yang ditampilkan merupakan perkiraan tegangan terbaik adalah 5,3 volt atau antara 5,2 Volt dan 5,4 Volt.

5.4 Akurasi dan Presisi

Jika suatu alat atau instrumen penghitungan memiliki keakuratan yang baik yaitu, jika hasilnya menunjukkan tingkat ketidakpastian yang kecil, atau seberapa dekat nilai sebenarnya dengan pengukuran hal tersebut dianggap benar. Termometer akurat, misalnya, jika terbaca $78,6^{\circ}\text{F}$ padahal suhu sebenarnya adalah $78,6^{\circ}\text{F}$. Selain itu pengertian akurasi adalah kebenaran bahwa akurasi juga mencerminkan seberapa benar atau valid hasil pengukuran. Ilustrasi dari akurasi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. 4 Ilustrasi Akurasi

(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Akurasi_dan_presisi)

Ilustrasi akurasi pada Gambar 5.4 menunjukkan bahwa pusat target merupakan tempat hasil penghitungan posisi titik-titik tersebut. Se jauh mana temuan penghitungan berada di dekat pusat target disebut akurasi. Sistem penghitungan dianggap lebih akurat jika mendekati nilai yang dapat diterima.

Sebelum menggunakan alat ukur, disarankan untuk memastikan alat tersebut dalam kondisi prima dan sesuai dengan fungsinya, artinya telah dikalibrasi dengan benar. Karena akan terdapat banyak ambiguitas dalam temuan penghitungan jika kalibrasinya buruk. Oleh karena itu, untuk menjamin keandalan data pengukuran, kalibrasi alat ukur harus diverifikasi sebelum digunakan. Salah satu faktor penting yang perlu diingat saat mengkalibrasi alat adalah memastikan penunjuk selalu diposisikan sedekat mungkin dengan titik nol sebenarnya. Pada saat menggunakan alat ukur, jarum penunjuk sering kali tidak berada pada titik nol yang tepat sehingga menyebabkan nilai bacaan selalu lebih tinggi atau lebih rendah dari yang seharusnya.

Pengertian presisi menunjukkan konsistensi atau repetisi hasil pengukuran. Misalnya, jika termometer selalu menunjukkan suhu 78.6°F dalam kondisi yang sama, termometer tersebut presisi, tetapi jika nilai yang ditunjukkan selalu meleset dari nilai sebenarnya misalnya 89.0°F , maka tidak akurat. Ilustrasi dari presisi dapat dilihat pada gambar berikut:

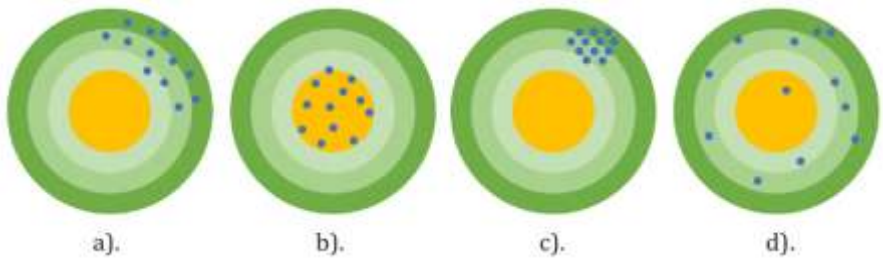


Gambar 5. 5 Ilustrasi Presisi

(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Akurasi_dan_presisi)

Demonstrasi presisi dari Gambar 5.5 menunjukkan bagaimana lokasi titik-titik ditempatkan berdekatan atau dikelompokkan berdasarkan temuan penghitungan yang tepat. Derajat kedekatan setiap hasil penghitungan dalam suatu himpunan disebut presisi. Sistem dianggap semakin eksak jika kumpulan hasil pengukurannya semakin sempit.

Jika suatu alat ukur dapat mendeteksi perubahan nilai besaran fisika pada skala perubahan yang semakin kecil, maka dianggap mempunyai resolusi yang tinggi atau baik. Voltmeter dengan skala pembacaan terkecil 1 volt, misalnya, memiliki resolusi lebih kecil dibandingkan voltmeter dengan skala terkecil 1 mV. Stabilitas peralatan ukur terkait dengan stabilitas pembacaan atau penghitungan temuan yang tidak terpengaruh oleh perubahan kebetulan. Oleh karena itu, hal ini terkait dengan indikasi hasil pembacaan yang tetap konstan sepanjang proses pengukuran. Saat menggunakan voltmeter digital, angka yang ditampilkan pada perangkat tidak terus-menerus berfluktuasi ke atas dan ke bawah, dan jarum voltmeter juga tidak bergerak dari kiri ke kanan di sekitar nilai tertentu. Oleh karena itu, ketelitian tinggi dan akurasi luar biasa diperlukan untuk alat pengukur yang sesuai. Gambar berikut menunjukkan beberapa korelasi antara presisi dan akurasi:



Gambar 5. 6 Ilustrasi Antara Akurasi dan Presisi
(Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Akurasi_dan_presisi)

A) tidak akurat dan tidak tepat, B) akurat dan tepat, C) akurat tetapi tidak tepat, dan D) benar tetapi tidak tepat digambarkan pada Gambar 5.6. Jika suatu alat ukur dapat mendeteksi perubahan nilai parameter fisik pada skala perubahan yang semakin kecil, maka dianggap mempunyai resolusi yang tinggi atau baik. Tidak diragukan lagi bahwa voltmeter dengan skala pembacaan terkecil 1 mV memiliki resolusi lebih besar dibandingkan voltmeter dengan skala pembacaan terkecil 1 volt. Stabilitas peralatan ukur terkait dengan stabilitas pembacaan atau penghitungan temuan yang tidak terpengaruh oleh perubahan kebetulan.

Oleh karena itu sesuai dengan indikasi hasil pembacaan yang tetap konstan selama penilaian. Jika menggunakan voltmeter digital, angka pada perangkat tidak terus-menerus bergerak ke atas dan ke bawah, dan jarum voltmeter juga tidak bergerak dari kiri ke kanan pada nilai tertentu. Oleh karena itu, alat ukur yang baik perlu memberikan ketelitian yang tinggi dan ketelitian yang baik (Pandiangan, 2018).

5.5 Kalibrasi

Kalibrasi adalah prosedur penting untuk menjamin bahwa alat ukur menghasilkan pembacaan yang tepat dan andal. Bisnis dan organisasi dapat menjamin keakuratan data pengukuran, meningkatkan kualitas produk, dan menjaga keselamatan operasional dengan mematuhi prosedur kalibrasi yang benar, memastikan standar dipenuhi, dan melakukan modifikasi yang

diperlukan. Kalibrasi diartikan sebagai perbandingan antara alat ukur dengan acuan. Ada berbagai cara untuk mendapatkan referensi, atau standar, untuk mengkalibrasi alat ukur: standar primer, standar sekunder, atau standar lain yang telah ditetapkan (Faith A Morrison, 2021).

Jika terdapat standar utama, kalibrasi alat harus diuji menggunakan referensi ini. Institut Standar dan Teknologi Nasional, atau NIST, bertugas memelihara dan menyediakan standar yang diperlukan untuk berbagai ukuran, seperti massa, suhu, waktu, dan lain sebagainya. Jika standar primer tidak ditemukan, standar sekunder alat pengukur tambahan dengan tingkat akurasi lebih tinggi dapat digunakan. Ketika suatu alat ukur dapat secara konsisten menghasilkan temuan penghitungan yang sama ketika digunakan untuk mengukur kembali parameter fisik yang sama, maka alat tersebut dianggap tepat.

Kalibrasi semua instrumen penting karena memberikan peluang untuk memeriksa instrumen terhadap standar yang diketahui dan kemudian mengurangi kesalahan dalam akurasi. Menurut (Holman, 2012) bahwa prosedur kalibrasi melibatkan perbandingan instrumen tertentu dengan:

1. Standar primer,
2. Standar sekunder dengan akurasi lebih tinggi daripada instrumen yang akan dikalibrasi,
3. Sumber masukan yang diketahui. Misalnya, pengukur aliran dapat dikalibrasi dengan:
 - a. Membandingkannya dengan fasilitas penghitungan aliran standar dari *National Institute of Standar and Technology* (NIST),
 - b. Membandingkannya dengan pengukur aliran lain yang keakuratannya diketahui, atau
 - c. Secara langsung mengkalibrasi dengan penghitungan utama seperti menimbang sejumlah air dalam tangki dan mencatat waktu yang berlalu hingga kuantitas tersebut mengalir melalui meteran.

5.6 Hasil Penghitungan Terbaik

Sejauh mana hasil penghitungan berbeda dari nilai sebenarnya yang seharusnya dinyatakan sebagai ketidakpastian. Hasil penghitungan suatu variabel fisis harus dinyatakan sebagai berikut jika variabel tersebut diwakili oleh x dan ketidakpastian pengukurannya adalah Δx :

$$x = (x \text{ terbaik} \pm \Delta) \text{ satuan} \dots\dots\dots (5.1)$$

Hasil penghitungan yang terbaca oleh alat merupakan yang terbaik. Menurut teori statistik, x_{terbaik} adalah rerata penghitungan yang dilakukan untuk x jika kita melakukannya berulang kali:

$$x_{\text{terbaik}} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \dots\dots\dots (5.2)$$

Hasilnya, kita dapat menggunakan metode ini untuk mendeskripsikan temuan dari beberapa penghitungan variabel fisik:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ satuan} \dots\dots\dots (5.3)$$

Menuliskan temuan penghitungan dalam bentuk kesalahan absolut (Δx) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan metode ini. Seperti yang telah kita bahas sebelumnya, terdapat korelasi langsung antara ketidakpastian absolut dan akurasi pengukuran: “Semakin presisi hasil pengukuran, maka semakin kecil ketidakpastian absolut (Δx) yang dapat dicapai.”

Penghitungan tegangan $V = (8,50 \pm 0,05)$ mV dianggap lebih akurat daripada penghitungan $V = (8,5 \pm 0,5)$ mV. Dalam banyak kasus, memberikan temuan penghitungan dengan ketidakpastian yang dinyatakan dalam persentase juga lebih bermanfaat. Selain mempelajari temuan penghitungan terbaik yang telah dipublikasikan, tulisan ini memungkinkan kita menilai kaliber penghitungan yang dilakukan. Jenis tulisan ini dikenal sebagai bentuk kesalahan relatif, dan diwakili oleh:

$$x = (\bar{x} \text{ satuan} \pm \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%) \dots\dots\dots (5.4)$$

Contoh:

Penghitungan panjang menghasilkan $x = (1,15 \pm 0,01)$ cm. Tunjukkan ketidakpastian relatif dari hasil!

Penyelesaian:

$$\Delta x\% = \frac{0,01}{1,15} \cdot 100\% = 0,8\% \approx 1\% \text{ sehingga } x = (1,15 \text{ cm} \pm 1\%)$$

Keakuratan penghitungan dan ketidakpastian relatif berkorelasi kuat; artinya, semakin tinggi presisi pengukuran, semakin kecil ketidakpastian relatifnya. Diperlukan peralatan penghitungan yang lebih akurat agar penghitungan menjadi akurat. Nilai x terbaik harus memiliki jumlah digit setelah tanda desimal (koma) yang sama dengan ketidakpastian Δx , sesuai dengan pedoman yang digunakan untuk mempublikasikan hasil pengukuran. Sebagai gambaran, percepatan gravitasi bumi diukur dan diperoleh $g = (9,80146 \pm 0,00001) \text{ m/s}^2$. Informasi mengenai ketelitian suatu penghitungan dapat diperoleh dengan menghitung angka-angka setelah koma. Angka penting adalah jumlah digit yang masih dapat diandalkan untuk mencatat temuan pengukuran.

Tingkat ketepatan penghitungan juga diungkapkan oleh ketidakpastian pengukuran. Oleh karena itu persyaratannya mengharuskan jumlah digit x setelah koma sama dengan Δx . Oleh karena itu, semakin signifikan statistik yang dapat kami laporkan dalam hasil, semakin tinggi keakuratan pengukurannya (Pandiangan, 2018).

Ketidakpastian relatif adalah teknik lebih lanjut untuk melaporkan hasil. Ketidakpastian $\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = 0,01$ sebanding dengan ketidakpastian mutlak $\Delta x = 0,01 \cdot \bar{x}$. Ekspresi pengukuran, seperti $x = (22/7 \text{ unit} \pm 1\%)$, akan setara dengan $x = (3,14285 \dots \pm 0,0314285)$.

Akurasi penghitungan sebesar $1\% = 1/100 = 0,01$ menunjukkan bahwa penghitungan tersebut hanya akurat hingga dua digit setelah koma. Jadi, penghitungan diwakili oleh:

$$x = \left(\frac{22}{7} \text{ satuan} \pm 1\% \right) = (3,14 \pm 0,03) \text{ satuan.}$$

Penulisan dengan cara ini sesuai dengan pedoman pelaporan hasil pengukuran, yang menyatakan bahwa jumlah angka setelah koma harus sesuai. Sedangkan penghitungan diberikan akurasi $10\% = 10/100 = 0,1$:

$$x = \left(\frac{22}{7} \text{satuan} \pm 10\% \right) = (3,1 \pm 0,3) \text{satuan.}$$

Dari pembahasan tersebut maka penulisan aturan melaporkan hasil penghitungan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketelitian 1% memberi hak untuk menuliskan sampai dua angka di belakang koma.
2. Ketelitian 10% memberi hak untuk menuliskan sampai satu angka di belakang koma.
3. Ketelitian 1‰ memberi hak untuk menuliskan sampai tiga angka di belakang koma.

5.7 Ralat Sistematis dan Ralat Acak

Suatu penghitungan fisik akan selalu mengandung kesalahan atau ketidakpastian. Kesalahan ini dapat disebabkan oleh keterbatasan alat ukur yang mengganggu presisi dan akurasi alat, atau karena kondisi lingkungan yang tidak mendukung selama proses pengukuran, seperti saat pengamat lelah dan memberikan pembacaan yang salah. Kategori berikut ini berlaku untuk faktor-faktor yang mempengaruhi ketidakakuratan atau ketidakpastian:

1. Ralat Acak (*Random Error*)
2. Ralat Sistematis (*Systematic Error*)

Parameter fisik yang diukur berfluktuasi nilainya di sekitar nilai sebenarnya, menjadi lebih rendah atau lebih besar dari nilai sebenarnya, karena kesalahan acak yang terjadi secara sporadis dalam temuan pengukuran. Artinya, pembacaan hasil penghitungan pada alat akan menunjukkan kemungkinan lebih besar atau lebih kecil disekitar nilai sebenarnya jika penghitungan dilakukan pada waktu dan lokasi yang berbeda. Akibatnya, besarnya kesalahan ini biasanya cukup kecil. Memperoleh rerata data penghitungan melalui beberapa penghitungan dapat membantu meminimalkan dampak kesalahan acak. Karena kesalahan acak biasanya mempunyai

nilai yang kecil, tidak mungkin untuk menentukan besarnya secara pasti. Kesalahan acak ini disebabkan oleh:

- 1. Sirkuit listrik berisik, yang menjelaskan mengapa penghitungan berbeda diperoleh. Misalnya, dampak suhu pada komponen perkakas menyebabkan kebisingan ini.
- 2. Metode observasi salah. Nilai yang dilaporkan berbeda satu sama lain karena faktor paralaks, yang terjadi ketika posisi melihat tidak tepat di depan alat ukur.
- 3. Kondisi lingkungan yang tidak cocok untuk pengukuran. Misalnya, sensitivitas alat pengukur yang tinggi terhadap variasi suhu di sekitar dapat menyebabkan kesalahan karena dapat mempengaruhi nilai pembacaan.
- 4. Pengaruh latar belakang pada penghitungan peluruhan radioaktif: Akibatnya, penghitungan alat penghitungan mungkin tidak akurat karena faktor latar belakang seperti radiasi kosmik.

Hasil suatu penghitungan seringkali tersebar secara acak di sekitar nilai yang benar ketika terdapat data kesalahan yang acak. Menurut definisi acak, tidak mungkin meramalkan apakah hasilnya akan lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai sebenarnya. Kita dapat melakukan penghitungan berulang untuk mengurangi dampak dari sumber ketidakpastian acak ini dan mendapatkan nilai rerata berikutnya:

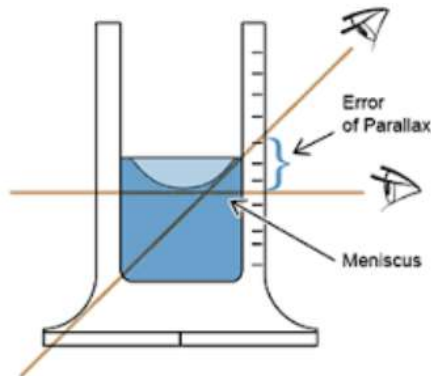
$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+\cdots+x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \dots\dots\dots(5.5)$$

Meskipun kesalahan sistematis dapat diprediksi dan bahkan dapat dicegah, kesalahan acak terjadi secara tidak sengaja dan melekat pada saat pengukuran. Ketidakakuratan semacam ini biasanya menyebabkan variasi temuan penghitungan yang terus-menerus terjadi dalam arah perubahan yang sama. Artinya setiap kali penghitungan dilakukan, temuannya akan selalu lebih kecil atau lebih besar. Di antara sekian banyak asal muasal kesalahan sistematik adalah:

- 1. Ralat Kalibrasi
Ketidakakuratan kalibrasi alat ukur pada saat proses penghitungan erat kaitannya dengan kesalahan ini. Misalnya, saat alat pengukur tidak digunakan, jarumnya

tidak berada pada angka nol. Ketidakakuratan semacam ini dapat dihilangkan dengan melakukan kalibrasi yang tepat.

2. Sifat non-linier alat ukur
Akibat nonlinier akan berdampak signifikan jika alat ukur beroperasi berdasarkan prinsip linieritas.
3. Respons waktu alat ukur
Temuan penghitungan dipengaruhi oleh kesalahan sistematis ini jika alat ukur mempunyai respon yang buruk. Hal ini menunjukkan bahwa lamanya waktu yang dibutuhkan untuk bereaksi tidak sesuai dengan hasil pembacaan alat ukur.
4. Malfungsi alat
Kesalahan sistematis dapat diperburuk oleh alat yang tidak dapat diandalkan. Instrumen yang lelah atau lesu mungkin menjadi sumber kegagalan fungsi ini; contoh alat tersebut adalah pegas jarum penunjuk yang melunak setelah digunakan dalam waktu lama. atau akibat komponen alat saling bergesekan sehingga menyebabkan alat tidak berfungsi.
5. Efek paralaks
Ada efek sistematis yang disebut paralaks, yang terjadi ketika pengamat terus-menerus melihat skala penghitungan secara salah atau ketika matanya tidak tegak lurus terhadap skala pembacaan. Akurasi penghitungan dipengaruhi oleh ketidakakuratan paralaks. Penghitungan akan meleset dengan jumlah yang sama jika memeriksa tanda dari sudut yang salah setiap saat. Kami menyebut ini sebagai kesalahan sistematis. Namun demikian, penghitungan akan menyimpang dari nilai sebenarnya dengan besaran yang berbeda jika tanda dilihat dari sudut yang berbeda.



Gambar 5. 7 Efek Paralaks pada Saat Pengamatan Gelas Ukur

(Sumber : : <http://pharmlabs.unc.edu/labs/measurements/graduates.htm>)

Sudut pengamatan penghitungan yang berbeda sering kali mengakibatkan kesalahan paralaks saat menggunakan kaca mata ukur untuk observasi. Kesalahan timbul pada saat membaca hasil penghitungan atau melakukan pengamatan dari garis bantu alat ukur yang membentuk sudut atau tidak pada garis lurus.

Menggunakan berbagai teknik penghitungan dan peralatan penghitungan adalah cara terbaik untuk menentukan ada atau tidaknya kesalahan sistematis. Kami kemudian akan memeriksa data untuk memastikan kontribusi kesalahan sistematis. Selain itu, dengan menyadari potensi kesalahan, kita dapat berupaya mencapai penghitungan yang akurat, yaitu mengurangi jumlah kesalahan atau ketidakpastian pengukuran.

5.8 Aturan Melaporkan Hasil Ukur

Beginilah cara hasil estimasi, x , disampaikan dengan ketidakpastian: dalam bentuk kesalahan mutlak, yaitu $x = \bar{x} \pm \Delta x$) satuan; dengan bentuk kesalahan relatif adalah $x = (\bar{x}) \text{satuan} \pm \% \Delta x$. Dimana Δx menggambarkan bagaimana hasil estimasi kita menyimpang dari nilai sebenarnya. Itulah ketidakpastian pengukuran, dan x adalah nilai rerata suatu parameter fisik dari beberapa penghitungan berulang atau hasil penghitungan tunggal terbaik yang dapat kita capai.

Dalam hal ini, penting untuk mempertimbangkan gagasan angka penting dan pendekatan perambatan kesalahan untuk merepresentasikan x dan Δx , khususnya untuk parameter fisik yang tidak dapat diperoleh secara langsung tetapi dapat diturunkan, misalnya melalui perhitungan rumus. . Suatu hasil penghitungan dinyatakan sebagai $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$, yang juga menunjukkan ketepatan alat ukur dan pengukuran. Berikut ini adalah poin-poin penting mengenai pedoman pencatatan suatu hasil pengukuran:

1. Setelah titik desimal, ketidakpastian perhitungan sering kali hanya mencapai digit yang paling ambigu.
2. Biasanya, ketidakpastian dan angka penting akhir dari hasil keseluruhan memiliki urutan yang sama (di tempat desimal yang sama).

Contoh:

Dengan ketidakpastian, catat hasil perhitungan yang menghasilkan nilai terbaik 92,81 satuan:

- a. 0,3 Unit.
- b. 3 Unit
- c. 30 Unit.

Penyelesaian:

- a. Poin kedua dari aturan tersebut menyatakan bahwa temuan harus disajikan menggunakan satuan $x = (92,8 \pm 0,3)$, tetapi poin pertama menyatakan bahwa angka 3 adalah angka yang paling dipertanyakan, dengan ketidakpastian 0,3.
- b. Metode yang sama menghasilkan $x = (93 \pm 3)$ satuan.
- c. Kita juga mendapatkan $x = (90 \pm 30)$ satuan dengan cara ini.

5.9 Aturan Konversi

Nilai x berada dalam rentang $(1,265 \leq x \leq 1,275)$ satuan, khususnya $x = (1,270 \pm 0,005)$ satuan, apabila hasil perhitungan tidak mengandung ketidakpastian, seperti pada hasil pengukuran $x = 1,27$ satuan.

Contoh:

Jika ketidakpastian tidak disertakan dalam hasil perhitungan, seperti pada kasus hasil pengukuran $x = 1,27$ satuan, maka $x = (1,270 \pm 0,005)$ satuan, yang berada dalam interval $(1,265 \leq x \leq 1,275)$ satuan:

Hasil perhitungan berkisar sekitar $27,55 \leq L \leq 27,65$ cm; nilai perhitungan yang benar berada di antara keduanya.

5.10 Angka penting

Disarankan untuk mengingat untuk menambahkan nilai ketidakpastian penghitungan setiap kali Anda melaporkan hasil penghitungan untuk mencegah kesalahan. Suatu penghitungan akan menghasilkan hasil dengan jumlah digit tertentu setelah dilakukan. Angka penting adalah banyaknya angka yang masih dapat diandalkan. Keakuratan suatu alat ukur menentukan berapa banyak angka penting yang disertakan dalam setiap pengukuran. Semakin banyak angka relevan yang dapat dimasukkan dalam laporan hasil pengukuran, semakin akurat pula temuan pengukurannya.

Angka yang dilaporkan harus signifikan, dan angka yang tidak penting dapat dihilangkan ketika menyatakan temuan penghitungan $\bar{x} \pm x = \pm \Delta$. Terkait statistik besar, ada beberapa pedoman yang harus diikuti, antara lain:

1. Dengan mengabaikan tanda desimal, menghitung dari digit paling kiri ke digit paling kanan menghasilkan jumlah angka penting..
2. Baik angka pertama yang paling rancu atau meragukan maupun angka-angka yang diketahui pasti dianggap sebagai angka penting. Tidak perlu mencatat hasil penghitungan dengan angka berikutnya yang meragukan.
3. Semua angka yang bukan nol dianggap angka penting.
4. Di sebelah kiri digit bukan nol pertama, angka nol paling kiri bukanlah angka penting.
5. Angka yang berada di antara nilai bukan nol merupakan angka penting.
6. Angka krusial adalah angka yang terletak setelah koma tetapi sebelum ujung kanan suatu bilangan.

7. Semua angka mempunyai angka nol yang signifikan di ujung kanannya, kecuali ada garis bawah sebelum angka nol.

Data penghitungan yang banyak digitnya sebaiknya direpresentasikan dalam notasi ilmiah $x = (x) \pm \Delta x$ untuk mencegah masalah interpretasi. Sepuluh satuan.

Contoh:

Saat mengukur panjang suatu benda dengan alat yang mempunyai skala sekecil 1 mm, tampilkan hasil yang meragukan dari alat tersebut!

Penyelesaian:

Karena skala terkecil alat adalah 1mm, maka jika hasil penghitungan dinyatakan dalam cm, maka bilangan yang meragukan adalah angka kedua setelah koma, dan bilangan pasti adalah angka pertama setelah koma (berdasarkan skala terkecil alat). Untuk alat ukur yang skala terkecilnya 1 mm, maka penghitungan panjang dengan empat angka penting adalah $l = (15,25 \pm 0,04)$ cm misalnya. Misalnya menulis dengan $l = (15,251 \pm 0,035)$ cm tidak dapat diterima karena menyimpang dari batas ketelitian alat.

5.11 Aturan Angka Penting Untuk Perhitungan

Dalam contoh di atas, angka penting (empat digit) yang dapat digunakan untuk melaporkan hasil pengukuran adalah 15,25. Topik pembahasan berikutnya adalah berapa banyak angka penting yang bisa kita masukkan ke dalam hasil perhitungannya. Misalnya dalam menghitung luas, jika diameter suatu lingkaran dapat diukur, maka hasilnya adalah $d = 7,9$ mm,

Berapakah luas lingkaran tersebut? Jika menggunakan kalkulator untuk menghitung $A = \pi d^2/4$, maka hasilnya $A = 62.21138852$ mm. Tentu saja ini tidak benar; luas A berisi sepuluh angka penting, sedangkan diameter D hanya memiliki dua. Oleh karena itu diperlukan pedoman pencatatan angka penting dari hasil perhitungan.

1. Pembagian dan Perkalian

Hasil perhitungan harus memiliki satu digit signifikan lebih banyak daripada angka terkecil yang masih mengandung angka yang dapat diandalkan.

Contoh:

Jika $X = 3,7$ dan $Y = 3,01$, maka $Z = X \cdot Y$, maka carilah harga Z !

$Z = X \cdot Y$

3,7 (Dua angka utama dalam angka terkecil)

3,01 (angka terbesar dengan tiga angka penting)

----- $\times$

11,137 (Lima bilangan penting)

Hasilnya akan memiliki $2 + 1 = 3$ angka penting sesuai dengan kriteria yang disebutkan di atas. $Z = 11,1$ adalah hasil setelah pembulatan.

2. Penjumlahan dan Pengurangan

Perhitungan yang melibatkan penjumlahan dan pengurangan harus menghasilkan hasil dengan jumlah tempat desimal yang sama dengan angka dengan tempat desimal paling sedikit.

Contoh:

Tentukan nilai Z jika $Z = X + Y$, di mana $X = 10,26$ dan $Y = 15,1$.

Penyelesaian:

$Z = X + Y$ 10,26 (dua angka desimal)

15,1 (satu angka desimal)

----- $+$

25,36 (dua angka desimal)

Berdasarkan hasil perhitungan ini, maka setelah pembulatan hasilnya adalah $Z = 25,4$.

5.12 Aturan Pembulatan Angka

Pada penerapan aturan pembulatan angka penting, maka perlu memahami tentang aturan pembulatan angka sebagai berikut:

1. Angka dibulatkan ke bawah jika pecahan atau desimalnya kurang dari $1/2$,

Contoh: Anda dapat membulatkan 4,23 menjadi 4,2.

2. Angka dibulatkan ke atas jika pecahan atau desimal lebih dari $\frac{1}{2}$,
Contoh: Anda dapat membulatkan 3,68 menjadi 3,7.
3. Pembulatan ke atas dilakukan jika bilangan di depannya ganjil, dan pembulatan ke bawah dilakukan jika bilangan di depannya genap, jika pecahan atau desimalnya sama dengan $\frac{1}{2}$.
Contoh: Karena 7 adalah angka ganjil, 12, 75 dapat dibulatkan menjadi 12,8; sebaliknya, karena 6 adalah angka genap, 12, 65 dapat dibulatkan menjadi 12,6.

DAFTAR PUSTAKA

- Bevington, P. and Robinson, D. (2003) *Uncertainties in Measurements*. Third, Mc Graw Hill Higher Education. Third. Edited by Philip R. Bevington. New York: McGraw-Hill Companies. Inc.
- Faith A Morrison (2021) *Uncertainty Analysis for Engineers and Scientists*. First. Edited by Faith A Morrison. New York, United States of America: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781108777513.
- Holman, J. P. (2012) *Esperimental Methods for Engineers*. eight, *Notes and Queries*. eight. Edited by M. Lange. New York: Mc Graw Hill Series in Mechanical Engineering. doi: 10.1093/nq/s1-VIII.193.43-b.
- Koto, J. and Nasir, N. (2018) 'Experimental Method for Mechanical Engineering'.
- Pandiangan, P. (2018) 'Ketidakpastian dan Pengukuran', *Praktikum IPA*, pp. 1-35. Available at: <http://repository.ut.ac.id/4772/1/PEPA4203-M1.pdf>.
- Taylor, J. R. (2022) *An Introduction to Error Analysis*. 2nd edn, *University Science Books*. 2nd edn. Edited by J. R. Taylor. California: University Science Books. doi: 10.4324/9781003200475-13.

BAB 6

KESETIMBANGAN

Oleh Badaruddin Anwar

6.1 Pendahuluan

Kesetimbangan dalam fisika merujuk pada keadaan di mana gaya dan momen yang bekerja pada suatu benda saling menetralkan sehingga hasilnya menjadi nol. Dalam konteks ini, kesetimbangan berarti bahwa benda tersebut berada dalam posisi stabil, tanpa mengalami perubahan dalam gerakan atau rotasi. Kondisi kesetimbangan tercapai ketika gaya total (resultan gaya) serta momen gaya total (resultan torsi) yang berpengaruh pada benda tersebut bernilai nol. (B. Darmawan. 1993).

6.2 Tujuan Pembelajaran

1. Memahami konsep kesetimbangan dalam mekanika.
2. Menjelaskan syarat-syarat terjadinya kesetimbangan.
3. Menganalisis contoh-contoh nyata dari kesetimbangan dalam kehidupan sehari-hari.
4. Menerapkan konsep kesetimbangan dalam penyelesaian soal.

6.3 Kesetimbangan

6.3.1 Pengertian Kesetimbangan

Kesetimbangan adalah keadaan di mana sebuah sistem tidak mengalami perubahan pada ciri-ciri makroskopisnya seiring berjalannya waktu. Dalam konteks fisika dan kimia,

kesetimbangan tercapai ketika gaya atau reaksi yang beroperasi dalam sistem tersebut saling menetralkan satu sama lain.

6.3.2 Syarat Keseimbangan

- 1) Keseimbangan Translasi:
 - a. Resultan gaya pada benda harus nol.
 - b. $\sum F = 0$
- 2) Keseimbangan Rotasi:
 - a. Resultan momen gaya terhadap titik tertentu harus nol.
 - b. $\sum \tau = 0$
- 3) Keseimbangan Kimia:
 - a. Laju reaksi maju = laju reaksi balik.
 - b. Konsentrasi reaktan dan produk konstan.
- 4) Keseimbangan Termal:
 - a. Tidak ada aliran energi panas antara sistem dan lingkungan.
 - b. Suhu sistem dan lingkungan sama.

6.3.3 Jenis-Jenis Keseimbangan

Jenis Keseimbangan dalam Fisika adalah :

1. **Keseimbangan Statis**
 - Terjadi ketika benda **diam** dan tetap diam.
 - Syarat:
 - Resultan gaya ($\sum F=0$) $\rightarrow$ tidak ada percepatan.
 - Resultan momen gaya ($\sum \tau=0$) $\rightarrow$ tidak ada perubahan rotasi.
 - Contoh:
 - Meja yang berdiri di atas lantai.
 - Jembatan yang ditopang di kedua ujungnya.
2. **Keseimbangan Dinamis**
 - Terjadi ketika benda **bergerak dengan kecepatan konstan** (tidak ada percepatan).
 - Syarat:

- Resultan gaya ($\sum F=0$) tetapi benda tetap bergerak lurus beraturan.
- Contoh:
 - Mobil bergerak dengan kecepatan konstan di atas jalan yang datar.
 - Pesawat terbang pada elevasi dan laju tetap.
- 3. Kestimbangan Rotasi**
 - Terjadi ketika benda tidak mengalami perubahan dalam gerak rotasinya.
 - Syarat:
 - Resultan momen gaya ($\sum \tau=0$).
 - Contoh:
 - Ayunan yang diam pada posisi tertentu.
 - Jungkat-jungkit yang tidak bergerak ke atas maupun ke bawah.

Kestimbangan dalam fisika memiliki peranan yang sangat signifikan di berbagai bidang seperti teknik sipil (konstruksi bangunan), mekanika benda tegar, serta dinamika fluida.

6.4 Konsep Kestimbangan Statis

6.4.1 Pengertian Kestimbangan Statis

Kestimbangan statis merujuk pada kondisi di mana suatu objek berada dalam keadaan diam dan tetap diam karena hasil penjumlahan gaya dan hasil penjumlahan momen gaya yang bekerja padanya sama dengan nol. Kestimbangan statis berlangsung ketika suatu objek berada dalam keadaan diam dan tetap diam akibat tidak adanya hasil penjumlahan gaya atau momen gaya yang bekerja padanya. Terdapat tiga kategori kestimbangan statis, yaitu stabil, labil, dan netral (B. Darmawan, 1993).

6.4.2 Syarat-Syarat Keseimbangan Statis

1. **Keseimbangan Translasi:**

- Resultan gaya pada benda harus nol.
- $\sum F = 0$

2. **Keseimbangan Rotasi:**

- Resultan momen gaya terhadap titik tertentu harus nol.
- $\sum \tau = 0$

6.4.3 Jenis-Jenis Keseimbangan Statis

1. **Keseimbangan Stabil**

- Jika benda mengalami gangguan kecil, benda akan kembali ke posisi semula.
- Contoh: Bola di dalam cekungan.

2. **Keseimbangan Labil**

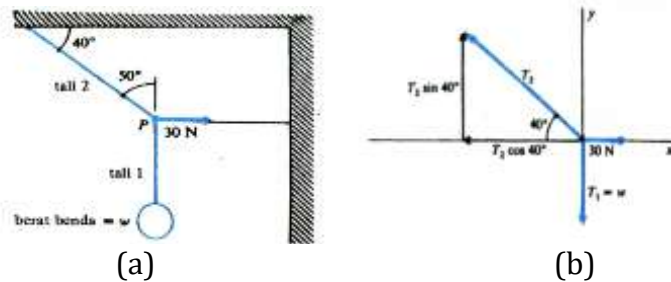
- Jika benda mengalami gangguan kecil, benda akan menjauh dari posisi semula.
- Contoh: Bola di atas puncak bukit.

3. **Keseimbangan Netral**

- Jika benda mengalami gangguan kecil, benda tetap dalam keadaan baru tanpa kembali atau menjauh dari posisi semula.
- Contoh: Bola di atas permukaan datar.

6.4.4 Contoh Soal Keseimbangan Statis

1. Pada gambar berikut, tegangan dalam tali datar tercatat sebesar 30 N. hitunglah berat benda tersebut.



Gambar 6. 1. Benda yang Tergantung pada Tali

(Sumber: B. Darmawan, 1993)

Tegangan pada tali 1 setara dengan berat benda tergantung pada benda tersebut. Dengan demikian, kita dapat menyatakan $T_1 = w$, yang kemudian kita cari nilainya. Perhatikan bahwa gaya T_1 yang belum diketahui dan gaya yang diketahui sebesar 30 N keduanya bekerja pada tali di titik P. Oleh karena itu, kita perlu membebaskan titik P, dan gaya-gaya yang berpengaruh padanya dapat dilihat pada gambar 6.1(b), lengkap dengan komponen-komponennya. Dari sini, syarat pertama kesetimbangan menghasilkan sebuah persamaan:

$$\sum F_x = 0 \text{ atau } 30 \text{ N} - T_2 \cos 40^\circ = 0 \dots\dots\dots (6.1)$$

$$\sum F_y = 0 \text{ atau } T_2 \sin 40^\circ - w = 0 \dots\dots\dots (6.2)$$

Dari persamaan pertama, kita memperoleh T_2 sebesar 39,2 N. Selanjutnya, dengan menyubstitusikan nilai ini ke dalam persamaan kedua, dihasilkan berat benda (w) sebesar 25,2 N.

Soal Latihan:

1. Sebuah batang homogen dengan panjang 2 meter dan massa 10 kg digantung pada titik tengahnya. Apabila pada ujung kanan batang diberikan beban 20 kg, tentukan gaya yang

harus diterapkan di ujung kiri agar batang tetap seimbang! (anggap percepatan gravitasi $g=10 \text{ m/s}^2$).

2. Sebuah papan kayu dengan panjang 4 meter dan massa 20 kg berada pada dua titik tumpuan yang terletak 1 meter dari masing-masing ujungnya. Sebuah beban seberat 40 kg diletakkan tepat di tengah papan tersebut. Hitunglah gaya reaksi pada masing-masing tumpuan!
3. Sebuah tangga dengan panjang 5 meter dan massa 15 kg bersandar pada dinding dengan sudut 60° terhadap lantai. Jika antara koefisien gesekan statis tangga dengan lantai adalah 0,4, tentukan gaya gesek minimum yang diperlukan agar tangga tidak tergelincir! (Gunakan $g=10 \text{ m/s}^2$) Sebuah papan kayu dengan panjang 6 meter dan massa 30 kg bertumpu pada satu titik 2 meter dari ujung kiri. Jika seorang anak dengan massa 40 kg berdiri di ujung kiri, berapa gaya reaksi di titik tumpuan?

6.5 Konsep Keseimbangan Dinamis

6.5.1 Pengertian Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis terjadi ketika suatu objek bergerak dengan kecepatan konstan dalam lintasan lurus atau melingkar tanpa mengalami perubahan percepatan. Hal ini menunjukkan bahwa gaya total yang beroperasi pada objek tersebut adalah nol. Keseimbangan dinamis adalah suatu konsep penting dalam mekanika yang menjelaskan bagaimana objek dapat bergerak dengan kecepatan stabil tanpa adanya perubahan percepatan. Pemahaman mengenai keseimbangan dinamis sangat bermanfaat dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, terutama dalam transportasi, aerodinamika, dan mekanika fluida (Hibbeler, R. C. (2013).

6.5.2 Syarat Kesetimbangan Dinamis

1. **Resultan gaya harus nol:** Tidak ada percepatan dalam arah horizontal maupun vertikal.
2. **Kecepatan tetap:** Tidak ada perubahan dalam besar atau arah kecepatan benda.
3. **Gaya-gaya eksternal seimbang:** Semua gaya yang bekerja harus saling meniadakan.

6.5.3 Perbedaan Kesetimbangan Statis dan Dinamis

Kesetimbangan Statis	Kesetimbangan Dinamis
Benda dalam keadaan diam	Benda bergerak dengan kecepatan tetap
Tidak ada perubahan posisi	Posisi berubah tetapi tidak ada percepatan
Resultan gaya = 0	Resultan gaya = 0

Contoh kesetimbangan dinamis:

1. Kendaraan yang bergerak dengan kecepatan konsisten di jalan raya.
2. Pesawat yang terbang pada ketinggian yang tetap tanpa adanya percepatan.
3. Kapal yang melaju di sungai dengan gaya dorong dari mesin yang seimbang dengan gaya hambatan air.
4. Konveyor di pabrik yang memindahkan barang dengan kecepatan yang stabil.
5. Satelit yang mengorbit bumi dalam jalur yang stabil.

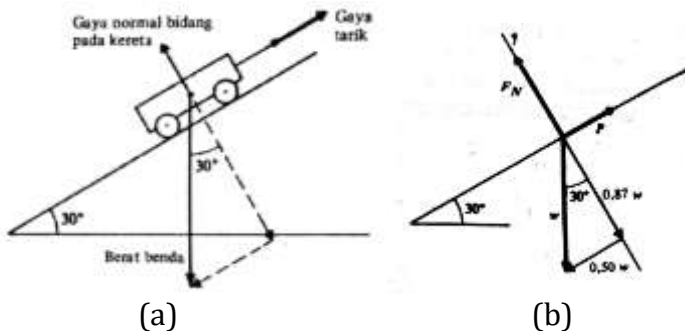
Kesetimbangan dinamis memiliki berbagai aplikasi dalam dunia nyata, termasuk:

- Transportasi: Rancanglah kendaraan agar dapat beroperasi dengan stabil di jalur.

- Aerodinamika: Penguasaan mengenai gaya angkat dan gaya hambat pada pesawat terbang.
- Mekanika Fluida: Penelitian tentang aliran fluida dalam pipa tanpa mengalami perubahan kecepatan.
- Rekayasa Konstruksi: Evaluasi beban dan gaya pada struktur yang mengalami gerakan (Hibbeler, R. C. (2013)).

Contoh Soal Dan Pembahasan:

1. Untuk menarik sebuah kereta seberat 200 N di atas bidang miring dengan sudut 30 derajat, dan menjaga laju tetap tanpa mempertimbangkan gesekan, pertanyaannya adalah, berapa besar gaya sejajar terhadap bidang miring yang dibutuhkan?



Gambar 6. 2. Bidang Miring

(Sumber: B. Darmawan, 1993)

Penyelesaian:

Perhatikan gambar 6.2 (a). Karena kereta bergerak dengan kecepatan yang konstan, vektor kecepatannya tetap, menjadikan kereta dalam keadaan seimbang translasi. Dengan demikian, syarat pertama dari keadaan keseimbangan berlaku untuk situasi ini. Ketika kereta dibebaskan, terdapat tiga gaya yang bekerja padanya: (1) gaya tarik gravitasi (w) yang merupakan berat kereta, bergerak ke arah bawah secara vertikal; (2) gaya P

yang bekerja pada kereta dan sejajar dengan bidang miring; (3) gaya normal (F_N) yang merupakan gaya dorong dari bidang miring terhadap kereta. Gaya-gaya ini dapat dilihat pada gambar 6.2(b).

Dalam analisis masalah terkait bidang miring, sangat bermanfaat untuk mengambil sumbu x sejajar dengan bidang miring dan sumbu y tegak lurus terhadapnya. Setelah gaya-gaya tersebut diuraikan, syarat pertama keseimbangan dapat menghasilkan:

$$\sum F_x = 0 \text{ atau } P - 0,50w = 0 \dots\dots\dots (6.3)$$

$$\sum F_y = 0 \text{ atau } F_N - 0,87w = 0 \dots\dots\dots (6.4)$$

Dari persamaan pertama diperoleh $P = 0,50 w$ dan dengan mengingat bahwa $w = 200 \text{ N}$ didapatkan $P = 100 \text{ N}$. gaya tarik yang diperlukan kereta itu adalah 100 N .

Soal Latihan:

1. Sebuah mobil dengan massa 1000 kg sedang melaju dengan kecepatan konstan 20 m/s di jalan datar. Dalam keadaan ini, terdapat gaya gesek antara ban dan jalan sebesar 500 N . Pertanyaannya adalah, berapa besar gaya yang harus dihasilkan oleh mesin agar mobil tetap berada dalam kesetimbangan dinamis?
2. Sebuah pesawat terbang melintasi udara dengan kecepatan konstan. Dengan massa 5000 kg , pesawat tersebut menerima gaya dorong dari mesinnya sebesar 10.000 N . Selain itu, gaya gesek udara yang dialaminya mencapai 2000 N . Untuk menjaga agar pesawat tetap terbang mendatar, tentukan gaya angkat (lift) yang diperlukan agar pesawat tetap terbang mendatar?
3. Sebuah perahu bermassa **800 kg** melaju di sungai dengan kecepatan tetap. Jika gaya dorong dari motor perahu adalah **600 N** , berapa gaya resistansi air yang bekerja pada perahu?

4. Sebuah lift bermassa **1200 kg** naik dengan kecepatan **2 m/s** dalam keadaan konstan. Tentukan tegangan pada kabel yang menarik lift jika percepatan gravitasi **$g = 10 \text{ m/s}^2$** .

6.6 Konsep Keseimbangan Rotasi

6.6.1 Pengertian Keseimbangan Rotasi

Konsep keseimbangan rotasi merujuk pada kondisi di mana suatu objek tidak mengalami percepatan sudut, yang berarti objek tersebut berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan. Keseimbangan rotasi tercapai ketika jumlah momen gaya (torsi) yang bekerja pada objek adalah nol. Torsi, atau momen gaya terhadap sumbu, merupakan ukuran efektivitas gaya dalam menghasilkan putaran atau rotasi di sekitar sumbu tersebut (Serway., dkk, 2018). Hal ini didefinisikan sebagai berikut:

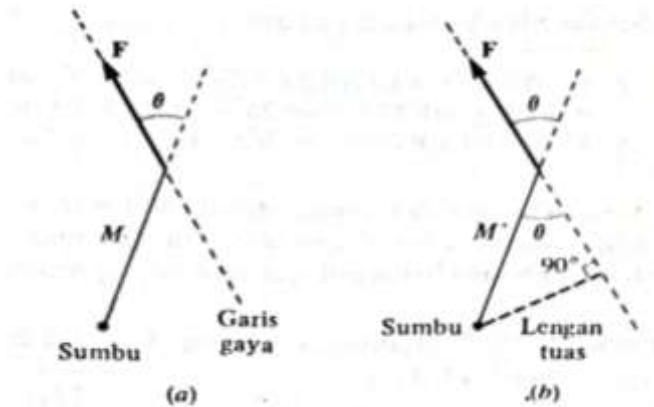
Momen gaya = $\tau = rF \sin \theta$ (6.5)

Dalam konteks ini, r merujuk pada jarak radial dari sumbu ke titik penerapan gaya, sedangkan θ adalah sudut lancip yang dibentuk antara garis r dan F , sebagaimana diilustrasikan dalam gambar 6.3(a). Definisi ini sering kali dikenal dengan istilah "lengan tuas" (lever arm) dari gaya, yang diartikan sebagai jarak tegak lurus dari sumbu hingga garis gaya, seperti yang ditampilkan dalam gambar 6.3(b). Terkait dengan lengan tuas, nilainya dapat dihitung sebagai $r \sin \theta$, sehingga momen gaya dapat dinyatakan sebagai:

$\tau = (F) (\text{lengan tuas})$ (6.6)

Satuan untuk momen gaya adalah Newton-meter ($\text{N}\cdot\text{m}$). Momen gaya ini diberi tanda positif dan negatif; tanda positif diberikan pada momen gaya yang memiliki potensi untuk menghasilkan putaran berlawanan arah jarum jam, sedangkan

momen gaya yang menyebabkan putaran searah jarum jam diidentifikasi dengan tanda negatif (Young, H. D., 2019).



Gambar 6. 3. Momen Gaya

(Sumber: B. Darmawan, 1993)

6.6.2 Syarat Keseimbangan Rotasi

Ada dua ketentuan yang harus dipenuhi agar suatu benda tegar dapat berada dalam keadaan setimbang di bawah pengaruh gaya-gaya sebidang (*coplanar forces*), sehingga benda tersebut dapat mencapai keseimbangan rotasi, yaitu:

- 1) Gaya: jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja dengan momen gaya atau torsi total terhadap suatu titik harus nol:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$

Bidang di mana gaya-gaya itu berada dipakai sebagai bidang xy

- 2) Torsi: Sebuah sumbu yang tegak lurus terhadap bidang gaya-gaya sebidang dapat digunakan untuk menganalisis torsi. Berdasarkan ketentuan bahwa torsi yang menyebabkan perputaran searah jarum jam dihitung sebagai positif, maka

jumlah semua torsi yang bekerja pada objek tersebut haruslah sama dengan nol.

$$\sum \tau = 0$$

Jika terdapat beberapa gaya yang bekerja, maka dapat dinyatakan bahwa $\sum \mathbf{F} \times \mathbf{r} = 0$. Hal ini berarti bahwa torsi yang berputar searah jarum jam harus seimbang dengan torsi yang berlawanan arah jarum jam (Serway, dkk, 2018).

Jenis-Jenis Keseimbangan

1. Keseimbangan Stabil.

Ketika sebuah benda mengalami sedikit gangguan dari posisi kesetimbangannya, benda tersebut akan kembali ke posisi awalnya. Contohnya dapat dilihat pada bola yang berada dalam cekungan.

2. Keseimbangan Labil (Tidak Stabil).

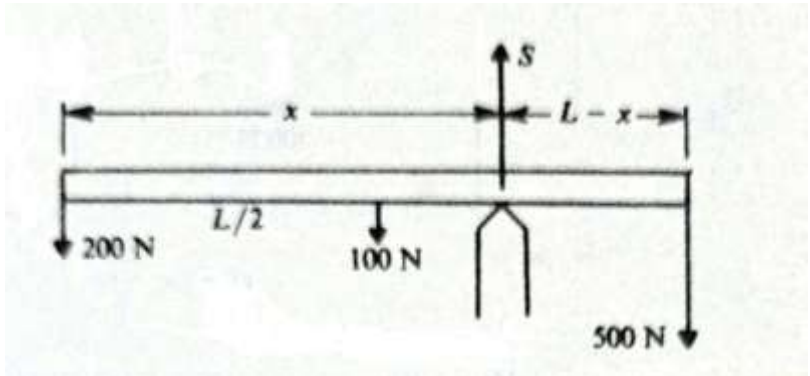
Apabila benda mengalami sedikit gangguan dari posisi kesetimbangannya, maka benda tersebut akan terus menjauh dari posisi semula. Contohnya adalah pensil yang berdiri tegak di ujungnya.

3. Keseimbangan Netral.

Apabila benda terganggu, maka benda tersebut akan tetap berada dalam posisi keseimbangan baru tanpa kembali atau menjauh. Contohnya adalah bola yang diletakkan di atas permukaan lantai yang datar (Tipler, P. A., 2015)

Contoh soal keseimbangan rotasi:

1. Sebuah batang homogen seberat 100 N digunakan sebagai tuas. Mengacu pada gambar yang tersedia, di mana sebaiknya penyangga dipasang agar beban 500 N yang berada di salah satu ujung batang dapat seimbang dengan beban 200 N yang terletak di ujung yang lainnya? Silakan hitung beban yang bekerja pada penyangga tersebut.

**Gambar 6. 4. Benda Homogen**

(Sumber: B. Darmawan, 1993)

Penyelesaian:

Gaya-gaya yang bekerja pada tuas dapat dilihat pada gambar. Misalkan penyangga terletak pada jarak x dari ujung kiri, dan kita tentukan poros perputaran berada pada penyangga tersebut. Dari persamaan $\sum \tau = 0$, kita dapat memperoleh hasil sebagai berikut:

$$+(x)(200 \text{ N})(\sin 90^\circ) + (x - L/2)((\sin 90^\circ) - (L - x)(500 \text{ N})(\sin 90^\circ) = 0$$

Dari persamaan $(800 \text{ N})(x) = (550 \text{ N})(L)$, kita dapat menghitung nilai x , yang diperoleh sekitar $0,69 L$. Dengan demikian, penyangga harus diletakkan sejauh $0,69 L$ dari ujung kiri. Selanjutnya, untuk menentukan beban S yang bekerja pada penyangga, kita dapat menggunakan persamaan $\sum F_y = 0$, yang menghasilkan $S - 200 \text{ N} - 100 \text{ N} - 500 \text{ N} = 0$, sehingga kita mendapatkan $S = 800 \text{ N}$.

Soal Latihan:

1. Sebuah batang dengan panjang 4 meter dan berat 20 N terletak di titik tengahnya. Pada ujung kiri batang diterapkan gaya 30 N ke bawah, dan pada ujung kanan batang diberikan gaya F ke bawah. Untuk menjaga batang tetap dalam keadaan kesetimbangan rotasi, berapakah nilai F ?
2. Seorang anak dengan berat 40 kg berada di ujung kiri jungkat-jungkit yang memiliki panjang 3 meter. Apabila seorang temannya yang berbobot 50 kg ingin duduk sehingga jungkat-jungkit dapat seimbang, pada jarak berapa dia harus duduk dari titik tumpu? (anggap percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$).
3. Sebuah papan kayu sepanjang 5 meter dan bermassa 10 kg diletakkan di atas tumpuan yang berjarak 2 meter dari salah satu ujungnya. Ketika seorang anak yang beratnya 30 kg duduk di ujung papan yang lebih panjang, berapakah massa seorang dewasa yang harus duduk di ujung yang lebih pendek agar papan tetap seimbang? (Gunakan $g=10 \text{ m/s}^2$).
4. Sebuah batang sepanjang 3 meter dipasang pada poros di tengahnya. Suatu gaya sebesar 20 N beraksi 1 meter dari poros menuju arah searah jarum jam, dan gaya F beraksi 1,5 meter dari poros menuju arah berlawanan jarum jam. Apabila batang tetap dalam keadaan seimbang, berapakah nilai F ?
5. Sebuah jungkat-jungkit yang memiliki panjang 4 meter dengan titik tumpu di bagian tengah. Seorang anak yang memiliki berat 300 N duduk sejauh 1,5 meter dari titik tumpu. Apabila anak kedua ingin menyeimbangkan jungkat-jungkit tersebut dengan duduk sejauh 2 meter dari titik tumpu, berapakah berat anak kedua tersebut?
6. Sebuah pintu dengan berat 50 N, lebar 1 meter, dan tinggi 2 meter dilengkapi dengan dua engsel, yaitu satu di bagian atas dan satu di bagian bawah. Jika gaya gesekan yang terjadi pada engsel bawah adalah dua kali lipat dari gaya

gesekan di engsel atas, mari kita hitung berapa besar gaya reaksi yang bekerja pada masing-masing engsel tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Darmawan, (1993). *Fisika*. Penerbit Erlangga,
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2015). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. W. H. Freeman.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University Physics with Modern Physics*. Pearson Education.
- Hibbeler, R. C. (2013). *Engineering Mechanics: Dynamics*. Pearson Education.

BAB 7

GERAK MELINGKAR

Oleh A. Jusriana

7.1 Besaran-Besaran Dalam Gerak Melingkar

7.1.1 Periode dan Frekuensi

Benda yang bergerak secara melingkar, baik Gerak Melingkar Beraturan (GMB) maupun Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB) akan terus berulang dengan keadaan tertentu. Apabila memperhatikan sebuah titik yang berputar pada lintasannya dengan 1 putaran penuh. Maka benda tersebut akan melewati posisi yang sama dengan putaran selanjutnya. Gerak melingkar sering pula disebut sebagai frekuensi (f). Frekuensi merupakan ukuran dari banyaknya siklus yang terjadi pada suatu objek dalam periode waktu yang ditentukan. Sedangkan waktu yang dimaksudkan adalah periode (T). Dimana, periode adalah waktu yang dibutuhkan agar menempuh 1 putaran penuh (Tim GTK DIKDAS, 2021).

Durasi yang diperlukan oleh suatu benda untuk menyelesaikan satu siklus penuh disebut sebagai periode. Periode ini dilambangkan dengan huruf T , yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$T = \frac{t}{n} \quad (7.1)$$

Keterangan:

T : Periode (s)

t : Waktu (s)

n : Jumlah Putaran

Dalam konteks fisika, frekuensi diartikan sebagai jumlah siklus yang dilalui oleh suatu objek dalam satuan waktu. Frekuensi ini disimbolkan dengan f dan dapat dirumuskan dengan:

$$f = \frac{n}{t} \quad (7.2)$$

Keterangan:

f : Frekuensi (Hertz)

n : Jumlah Putaran

t : Waktu (s)

Adapun hubungan antara periode dan frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{f} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \quad (7.3)$$

(Umar, 2007).

Kecepatan dalam konteks gerak lurus dapat diartikan sebagai jarak yang ditempuh oleh suatu objek dalam jangka waktu tertentu. Sementara itu, gerak melingkar merujuk pada panjang lintasan yang dilalui dalam periode waktu tertentu. Selain itu, kecepatan linear dan kelajuan linear memiliki makna yang sama. Persamaan untuk menghitung kecepatan linier dalam gerakan melingkar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Laju Linear} = \frac{\text{Panjang Lintasan}}{\text{Selang Waktu}} \quad (7.4)$$

atau

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (7.5)$$

Dalam gerak melingkar, panjang lintasan diubah menjadi keliling lintasan. Sedangkan waktu diubah menjadi periode. Sehingga persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (7.6)$$

sehingga, $\frac{1}{T} = f$ dapat dituliskan menjadi:

$$v = 2\pi r f \quad (7.7)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan untuk menentukan periode dan frekuensi (Aip Saripudin, n.d.).

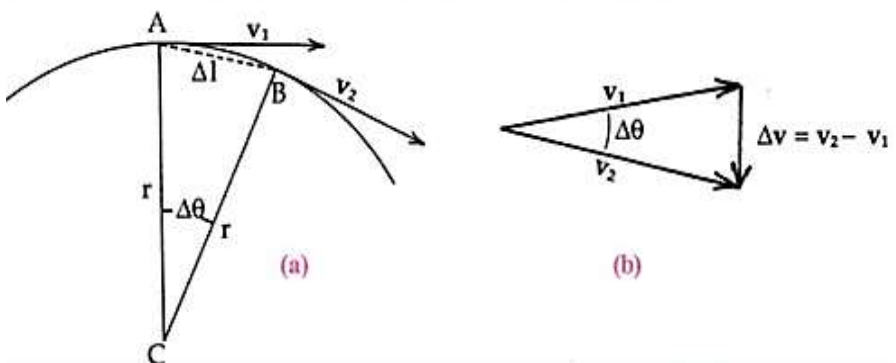
7.1.2 Percepatan Sentripetal

Percepatan sentripetal merupakan sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan yang percepatannya bergerak (arah) yang berpusat pada titik tengah pada suatu lingkaran. Arah percepatan pada gerak lurus beraturan tetap, sehingga vector kecepatan tersbut akan tetap pula. Percepatan dalam gerakan melingkar beraturan berfungsi untuk mengubah arah gerakan dari yang awalnya lurus menjadi melingkar secara teratur. Akibatnya, percepatan suatu benda akan berakhir di titik pusat lingkaran, yang dikenal sebagai percepatan sentripetal. Lambing dari percepatan sentripetal yaitu α_{sp} yang satuannya m/s^3 (Indrajit, 2007)

Ketika benda melakukan GMB memiliki jari-jari (r), kecepatan sudut (ω), dan kecepatan linear (v) kecepatan sentripetal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha_{sp} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (7.8)$$

Tinjau pada saat Δt mendekati nol ($\Delta t \rightarrow 0$), sehingga diperoleh kecepatan sesaat. Perhatikan gambar berikut ini!



Gambar 7. 1. Percepatan Sentripetal

(sumber: Dudi Indrajit)

Berdasarkan gambar di atas dapat ditinjau pada suatu interval yang tidak mendekati nol. Selama selang waktu (Δt), gambar (a) bergerak dari titik A ke titik B, yang menempuh dengan jarak pendek (Δl) sepanjang busur yang melewati sudut kecil ($\Delta\theta$). Perubahan vector kecepatan antara lain:

$$v_2 - v_1 = \Delta v \text{ atau } v_2 + \Delta v \quad (1.9)$$

Gambar (b) menunjukkan penjumlahan vektor, di mana ketika Δt sangat kecil atau mendekati nol ($\Delta t \rightarrow 0$), Δl dan $\Delta\theta$ juga menjadi sangat kecil. Dalam keadaan ini, v_2 hampir sejajar dengan v_1 , dan Δv akan berada dalam posisi tegak lurus terhadap keduanya. Akibatnya, arah Δv akan menuju titik pusat lingkaran. Gambar (a) yang telah didefinisikan sebelumnya menunjukkan bahwa arah Δv sejalan dengan arah menuju titik pusat lingkaran. Konsep ini dikenal sebagai kecepatan sentripetal atau kecepatan radial. Oleh karena itu, kecepatan sentripetal adalah percepatan yang selalu mengarah ke titik pusat lingkaran. Vektor kecepatan dan percepatan saling tegak lurus. Hal ini menunjukkan bahwa arah dari percepatan dan kecepatan tidak harus searah ataupun berlawanan arah (garis) (Indrajit, 2007).

Dalam menentukan besar percepatan sentripetal (α_{sp}), vektor-vektor v_1 , v_2 , dan Δv yang ditunjukkan pada gambar (b) membentuk segitiga yang mirip dengan segitiga ABC yang ada pada gambar tersebut. Kedua segitiga ini merupakan segitiga sama kaki, di mana sudut antara AC dan BC sebanding dengan sudut antara v_1 , v_2 , dan $\Delta\theta$. Ini terjadi karena CA tegak lurus ke arah v_1 dan CB tegak lurus ke arah v_2 . Dengan demikian, rumus yang dapat digunakan adalah:

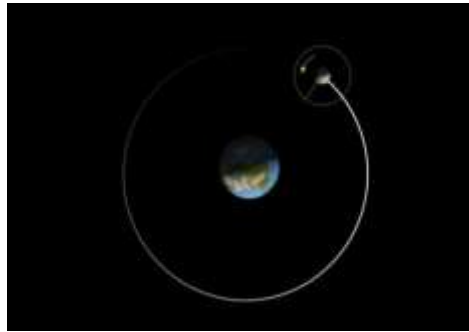
$$\alpha_{sp} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r} \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (7.10)$$

Karena, $\frac{\Delta l}{\Delta t}$ merupakan kecepatan linear (v) maka secara sistematis dapat dituliskan:

$$\alpha_{sp} = \frac{v}{r} v = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (7.11)$$

Percepatan sentripetal pada gerakan melingkar yang beraturan selalu memiliki besaran yang konstan di setiap titik, dengan arah yang selalu menuju pusat lingkaran. Terdapat hubungan langsung antara percepatan sentripetal dan kuadrat kecepatan sudut, karena besarnya percepatan sentripetal juga merupakan fungsi kuadrat dari kecepatan sudut tersebut. (Indrajit, 2007).

7.1.3 Posisi Sudut



Gambar 7. 2. Titik P yang Bergerak Melingkar dengan Sumbu O
(Sumber :Kartono & H, 2017)

Perhatikan gambar di atas, benda yang mendarat pada koordinat XY yang berotasi pada setiap titik benda tersebut dengan sumbu yang tetap bergerak melingkar terhadap sumbu O dan putarannya adalah O . Titik P akan selalu sama jaraknya dengan O , yaitu jari-jari (r) dengan posisi sudut (θ). Sehingga, posisi pada titik P dapat diartikan dengan menggunakan koordinat polar (r, θ). Dimana koordinat yang berubah adalah sudutnya (θ) sedangkan jari-jari (r) akan tetap sama. Posisi sudut θ dari titik P terhadap sumbu X diukur dengan arah yang berlawanan dengan arah jarum jam. (Kartono & H, 2017)

Misalnya, koordinat XY pada titik P diberikan pernyataan dengan koordinat (x, y) sehingga hubungan yang bisa diperoleh antara titik P pada koordinat XY dengan posisi titik P pada koordinat r dan θ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$x = r \cos \theta \quad (7.12)$$

$$y = r \sin \theta \quad (7.13)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (7.14)$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x} \quad (7.15)$$

Apabila pada setiap titik bergerak melingkar dengan sepanjang busur maka posisi sudutnya dapat dituliskan persamaan antara lain:

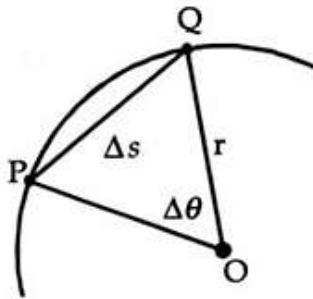
$$\theta = \frac{s}{r} \quad (7.16)$$

Dalam 1 putaran penuh, panjang busurnya (s) akan sama dengan keliling lingkaran ($s = 2\pi r$) maka secara sistematis dirumuskan menjadi:

$$\theta = \frac{s}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ radian} \quad (7.17)$$

(Kartono & H, 2017).

Dalam gerakan melingkar, posisi sudut suatu partikel dapat dinyatakan dengan sudut θ yang memiliki satuan radian atau derajat ($^\circ$). Perpindahan sudut akan terjadi ketika partikel tersebut berpindah. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 7. 3. Posisi Sudut
(Sumber : Aip Saripudin, 2009)

Pada gambar di atas, terlihat partikel yang bergerak mengikuti lintasan melingkar dengan jari-jari r . Gambar tersebut juga menggambarkan perpindahan partikel dari titik P ke titik Q, di mana jarak perpindahan liniernya adalah $\Delta s = SQ - SP$. Untuk memindahkan sudutnya dinyatakan sebagai $\Delta \theta = \theta_Q - \theta_P$.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keduanya memiliki hubungan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{r} \quad (7.18)$$

Keterangan:

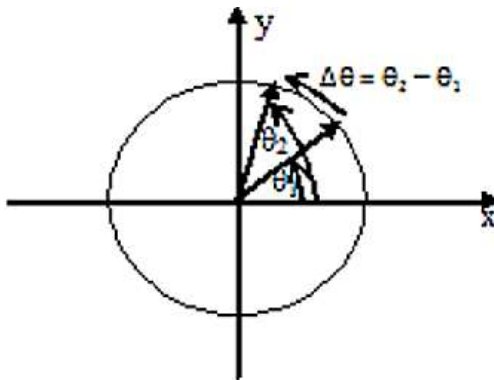
$\Delta\theta$ = Perpindahan Sudut (rad)

Δs = Perpindahan Linear (m)

r = Jari-jari (m)

(Aip Saripudin, n.d.)

Vektor Posisi sudut dan vektor perpindahan sudut memiliki definisi yang sama yaitu letak koordinat pada suatu benda yang arahnya mengikuti arah lingkaran. Begitu pula dengan vektor posisi linear dan vektor perpindahan linear memiliki persamaan yang sama vektor posisi sudut dan vektor perpindahan sudut. Hanya saja yang membedakan dari keduanya adalah letak pada simbol r yang terdapat pada posisi linear dan diubah menjadi simbol teta (θ) dalam posisi sudut.



Gambar 7. 4. Vektor Perpindahan Sudut
(Sumber : Aip Saripudin, 2009)

7.1.4 Kecepatan Sudut

Menurut Kamajaya (2007) Kecepatan sudut didefinisikan sebagai perubahan posisi suatu objek dalam satu waktu tertentu. Terdapat dua jenis kecepatan sudut, yaitu kecepatan sudut rata-rata dan kecepatan sudut sesaat, yang dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

a. Kecepatan Sudut Rata-Rata

Posisi sudut pada gerak melingkar adalah fungsi dari waktu ($\theta = \theta(t)$). Ketika t_1 maka posisi titiknya θ_1 dan ketika $t_2 = t_1 + \Delta t$, maka akan menjadi $\theta_2 = \theta_1 + \Delta \theta$. Kecepatan rata-rata gerak linear ditulis $\Delta s / \Delta t$ yang sejalan dengan gerak linear. Begitupula dengan kecepatan sudut rata-rata dapat dirumuskan:

$$\overline{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{(\theta_1 + \Delta \theta) - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (7.19)$$

Persamaan diatas menjelaskan nilai rata-rata dari perpindahan sudut (θ) persatuan waktu (t). Sehingga dapat diturunkan rumus sebagai berikut.

$$\overline{\omega} = \frac{\theta}{t} \quad (7.20)$$

Dimana:

- θ = perpindahan sudut (Rad)
- $\overline{\omega}$ = Kecepatan sudut rata-rata (Rad/s)
- t = waktu (s)

b. Kecepatan Sudut Sesaat

Dalam membedakan kecepatan sudut rata-rata dari kecepatan sudut sesaat, penting untuk melihat selang waktu yang sangat kecil ($\Delta t \rightarrow 0$). Dengan cara ini, dapat dikatakan bahwa perubahan kecepatannya sangat sedikit. Sehingga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \overline{\omega} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (7.21)$$

Kecepatan sudut adalah turunan pertama dari rumus posisi ungsi waktu. Apabila $\Delta t = t_2 - t_1$ yang mendekati 0. Apabila titik B berhimpitan dengan titik A, maka gradient garis singgung pada titik A mengalami kemiringan grafik θ terhadap t . Hal tersebut defenisi dari kecepatan sudut sesaat.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \tan \beta \quad (7.22)$$

7.1.5 Percepatan Sudut

a. Percepatan Rata-Rata

Benda yang bergerak pada lintasan lingkaran yang menyatakan bahwa seberapa cepat kecepatan sudutnya (θ) dapat berubah. Apabila kecepatan sudut dapat berubah sebesar $\Delta\bar{\omega}$ pada selang waktu Δt , percepatan sudut rata-rata $\bar{a}$ ialah:

$$\bar{a} = \frac{\Delta\bar{\omega}}{\Delta t} \quad (7.23)$$

b. Percepatan Sesaat

Kecepatan sudut sesaat diartikan sebagai harga limit dari percepatan sudut rata-rata dalam selang waktu yang mendekati nol ($\Delta t \rightarrow 0$). Secara sistematis dapat diturunkan rumus sebagai berikut.

$$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\bar{\omega}}{dt} \quad (7.24)$$

(Kristanto, 2020)

7.2 Hubungan Antara Translasi dan Rotasi

7.2.1 Perpindahan Linear dan Perpindahan Sudut

Dalam kajian gerakan melingkar, perhatikan contoh roda kendaraan yang berputar. Kedua roda berputar mengelilingi sumbu pusat (poros roda), dan tampak bahwa berbagai bagian roda bergerak secara konstan relatif terhadap titik pusat ini, yang berfungsi sebagai titik acuan. Gerakan ini diidentifikasi sebagai perpindahan sudut. Terdapat tiga pendekatan dalam pengukuran sudut: yang pertama adalah dalam derajat ($^\circ$), di mana satu lingkaran penuh setara dengan 360° . Pendekatan kedua melibatkan pengukuran sudut dalam bentuk putaran penuh, dengan satu putaran penuh sama dengan satu putaran. Pendekatan ketiga menggunakan radian, satuan standar perpindahan sudut dalam Sistem Internasional (SI), yang umumnya digunakan dalam berbagai perhitungan. (Ir. Randis, S.T., 2022).

Dalam konteks pengukuran sudut, radian dinyatakan sebagai rasio panjang busur, yang merupakan jarak linear sepanjang lingkaran, terhadap jari-jari lingkaran, yang direpresentasikan dengan r .

$$\theta(\text{rad}) = \frac{x}{r} \quad (7.25)$$

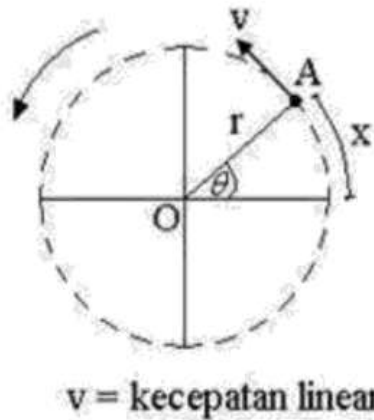
Kita mesti menyadari bahwa satu putaran sama dengan keliling satu lingkaran, sehingga menghasilkan persamaan:

$$\theta(\text{rad}) = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{rad} \quad (7.26)$$

Analisis dalam gerak lurus, kecepatan objek umumnya dinyatakan dalam kilometer per jam (km/jam) atau meter per detik (m/s). Sangat penting untuk diperhatikan bahwa setiap bagian dari objek yang bergerak dalam garis lurus menunjukkan kecepatan yang seragam; misalnya, kecepatan bagian depan kendaraan adalah sama dengan kecepatan bagian belakang saat bergerak di jalur lurus.

Dalam konteks gerakan melingkar, bagian-bagian yang berbeda dari objek menunjukkan kecepatan yang tidak sama. Misalnya, bola yang letaknya dekat sumbu rotasi memiliki kecepatan linier yang lebih rendah, sedangkan bagian yang lebih jauh dari sumbu atau pusat roda bergerak dengan kecepatan linier yang lebih tinggi. Oleh karena itu, menyatakan bahwa roda berputar dengan kecepatan 10 m/s kurang tepat; lebih akurat untuk menyebutkan bahwa tepi roda bergerak dengan kecepatan 10 m/s.

Pada gerak melingkar, saat sebuah objek berputar di sekitar porosnya, setiap komponen objek bergerak sepanjang lintasan melingkar yang berpusat pada poros tersebut. Contoh yang jelas dari hal ini adalah rotasi roda atau rotasi Bumi itu sendiri. Saat Bumi berputar, individu-individu di permukaannya juga terlibat dalam gerakan melingkar, dengan gerakan mereka berputar di sekitar pusat Bumi. Dalam konteks rotasi ini, individu-individu menunjukkan kecepatan linier yang selalu diarahkan secara tangensial ke lintasan rotasi Bumi. Memahami prinsip ini sangat penting untuk menjelaskan hubungan antara perpindahan linier dan sudut. Hubungan ini dapat diperjelas lebih lanjut melalui diagram yang disediakan.



**Gambar 7. 5. Hubungan Antara Perpindahan Linear dengan
Perpindahan Sudut**
(Sumber :Randis,2022)

Saat sebuah objek berputar mengelilingi sumbu O, titik A memiliki kecepatan linier (v) yang selalu bersinggungan dengan lintasan melingkar. Hubungan antara perpindahan linier titik A, yang melintasi jarak melingkar x , dan perpindahan sudut θ (dalam radian) didefinisikan sebagai berikut:

$$\theta = \frac{x}{r} \text{ atau } x \quad (7.27)$$

Atau

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{r} \quad (7.28)$$

Dimana:

$\Delta\theta$ = perpindahan sudut (rad)

Δs = perpindahan linear(m)

r = jari-jari (m)(basuki, 2016).

Prinsip-prinsip dasar

1. Jari-jari rotasi suatu benda berbanding lurus dengan besarnya kecepatan linier titik-titiknya. Jarak antara suatu titik dan pusat sesaatnya dikenal sebagai jari-jari rotasinya.
2. Kecepatan linier suatu titik tegak lurus terhadap jari-jari rotasinya.

3. Pada benda yang sama, kecepatan sudut yang berasal dari satu pusat gerakan sesaat adalah sama di mana-mana.
4. Arah dan besarnya kecepatan translasi dari dua pusat kecepatan sesaat yang sama dari dua benda adalah sama.

7.2.2 Kecepatan Linear dan Kecepatan Sudut

Setiap partikel dalam benda yang berputar menunjukkan kecepatan linier, yang direpresentasikan oleh v . Di titik A, partikel mengikuti lintasan melingkar, mempertahankan vektor kecepatan linier yang selalu tegak lurus terhadap jari-jari lingkaran. Akibatnya, kecepatan linier ini secara umum dikenal sebagai kecepatan tangensial. Berdasarkan definisi kecepatan linear pada pembahasan tentang gerak lurus, maka

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (7.29)$$

Dengan memasukkan $s=r \theta$ dan untuk nilai r tetap, diperoleh

$$v = r \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \quad (7.28)$$

$$v = r\omega \quad (7.29)$$

Persamaan yang disebutkan di atas menggambarkan bahwa jarak suatu titik yang lebih besar dari sumbu rotasi menghasilkan kecepatan linier yang lebih tinggi untuk titik tersebut.

Korelasi antara kecepatan linear dan sudut juga dapat ditentukan dengan menganalisis hubungan setiap kecepatan dengan periode dan frekuensinya masing-masing.

Kecepatan linier didefinisikan sebagai rasio jarak yang ditempuh terhadap interval waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut. Karena menyelesaikan satu putaran penuh di sekitar lingkaran ($2\pi r$) memerlukan periode waktu satu siklus (T), kecepatan sudut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ atau } v = 2\pi r f \quad (7.30)$$

Satuan SI untuk kelajuan linear (v) adalah meter/sekon (m/s).

Kecepatan sudut didefinisikan sebagai rasio sudut pusat yang dilalui oleh suatu objek terhadap interval waktu terjadinya lintasan tersebut. Karena lintasan lengkap sudut pusat 360° atau

2π radian memerlukan periode waktu satu siklus (T), kecepatan sudut dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ atau } \omega = 2\pi f \quad (7.31)$$

Kecepatan sudut mengacu pada besarnya sudut yang ditempuh per satuan waktu. Secara matematis, jika θ mewakili sudut yang ditempuh dan t menunjukkan waktu yang dibutuhkan, kecepatan sudut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad (7.32)$$

Pengukuran sudut dilakukan dalam radian, sedangkan waktu diukur dalam detik. atau sekon (s).

Kecepatan sudut juga dapat dinyatakan dalam bentuk periode dan frekuensinya. Selama satu putaran penuh, sudut yang ditempuh adalah 360° , atau 2π radian, dan waktu yang diperlukan untuk putaran ini dikenal sebagai periode. Dengan demikian, sudut dapat dirumuskan sebagai:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (7.33)$$

kecepatan sudut (ω) diukur dalam radian per detik (rad/s). Satuan alternatif untuk kecepatan sudut adalah rpm (*root per minute*) atau putaran per menit, $1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s}$.

Di samping kecepatan sudut, konsep kecepatan linier juga penting dalam konteks gerak melingkar. Kecepatan linier menggambarkan laju pergerakan suatu objek, dengan arahnya selalu bersinggungan dengan lintasan dan tegak lurus dengan jari-jari lingkaran.

Kecepatan linier, yang setara dengan kecepatan dalam gerak lurus, mengacu pada jarak yang ditempuh per satuan waktu. Dalam gerak melingkar, jarak diwakili oleh lintasan atau busur lingkaran. Panjang busur dihitung sebagai hasil kali sudut dan jari-jari lingkaran. Secara matematis, jika s menunjukkan panjang busur dan R menunjukkan jari-jari lingkaran, maka hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$s = \theta R \quad (7.34)$$

Sesuai definisi, kecepatan linear dapat dituliskan sebagai:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\theta}{t} R = \omega R \quad (7.35)$$

Dengan v = kecepatan linear (m/s), ω = kecepatan sudut (rad/s),
 R = jari-jari lintasan (m).

Kecepatan linear dalam gerak melingkar juga dapat diartikulasikan dalam kaitannya dengan periode dan frekuensi, seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi f R \quad (7.36)$$

7.2.3 Percepatan Linear dan Percepatan Sudut

Dalam konteks gerak melingkar, setiap partikel mengalami dua komponen percepatan yang berbeda: percepatan tangensial a_t dan percepatan sentripetal a_s . Percepatan tangensial berorientasi tegak lurus terhadap jari-jari lintasan melingkar, sedangkan percepatan sentripetal secara konsisten mengarah ke pusat lingkaran. Pemahaman ini sejalan dengan definisi percepatan linier sebagaimana dibahas dalam kajian gerak linier, yaitu:

$$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (7.37)$$

Dengan memasukkan $v = r\omega$ dan untuk nilai r tetap, diperoleh

$$a_t = r \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad (7.38)$$

$$a_t = r\alpha \quad (7.39)$$

Percepatan sentripetal a_s seperti pada pembahasan tentang gerak melingkar memenuhi hubungan

$$a_s = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (7.40)$$

Oleh karena itu, percepatan linear total partikel adalah penjumlahan vector kedua komponen percepatan,

$$a = a_t + a_s \quad (7.41)$$

karena a_t tegak lurus terhadap a_s , maka besar percepatan linear partikel adalah

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_s^2} = \sqrt{r^2 \alpha^2 + r^2 \omega^4} = r \sqrt{\alpha^2 + \omega^4} \quad (7.42)$$

perlu ditekankan bahwa a_t hanya menyebabkan perubahan besar kecepatan, sedangkan a_s hanya menyebabkan perubahan arah kecepatan.

Gerak rotasi dan gerak translasi (persamaan gerak) memiliki berbagai kesamaan. Besaran yang terkait dengan gerak translasi dihubungkan dengan besaran gerak rotasi. Hubungan ini menghasilkan turunan persamaan gerak rotasi yang dapat dinyatakan secara analog dalam konteks gerak translasi, seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut (Saripudin, Aip.,septiawan, 2020)

Tabel 7. 1. Hubungan Gerak Translasi dan Gerak Rotasi

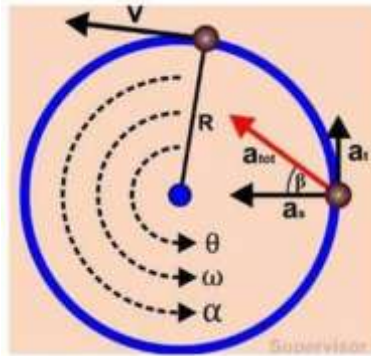
GERAK TRANSLASI		GERAK ROTASI		HUBUNGANN YA
Perpindahan / kedudukan	$\frac{s}{r}$	Perpindahan sudut (θ)	θ	$s = \theta r$
Kecepatan linear rata-rata	$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Kecepatan sudut rata-rata ($\bar{\omega}$)	$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$	$\vec{v} = \vec{\omega} r$
Kecepatan linear sesaat	$v = \frac{ds}{dt}$	Kecepatan sudut sesaat (ω)	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	$v = \omega r$
Menentukan posisi dari fungsi kecepatan linear	$r = r_0 + \int v dt$	Menentukan posisi sudut dari fungsi kecepatan sudut	$\theta = \theta_0 + \int \omega dt$	
Percepatan linear rata-rata	$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Percepatan sudut rata-rata	$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	$\vec{a} = \vec{\alpha} r$

(sumber : Septiawan 2020)

7.3 Gerak Melingkar Beraturan (BMB)

Gerak melingkar beraturan merupakan gerak pada suatu benda yang lintasannya berupa lingkaran dengan kecepatan linear yang tetap (konstan) (Alimah & Wisnu Siwi Satiti, 2021). Menurut Umar (2007) gerak melingkar adalah benda yang geraknya berbentuk melingkar yang menempuh jarak (Δs) dalam selang waktu yang tertentu (Δt) yang meskipun mengalami perubahan dari jarak pada setiap selang waktu akan sama.

Gerak Melingkar Beraturan (GMB) merupakan gerak pada benda dengan lintasan lingkaran yang arah kecepatannya berubah-ubah dan selalu tegak lurus dengan arah percepatan. Pada peristiwa yang ada pada gerak lurus beraturan yang kecepatannya selalu berubah, namun lajunya tetap konstan. Gerak lurus beraturan ialah gerak melingkar yang mempunyai kecepatan sudut (ω) yang tetap. Artinya percepatan sudutnya 0 (Darmawan Harefa, Elisabeth Stefani Gaurifa, Menni Asria Duha, Syukur Oktapian Ndruru, 2023)



Gambar 7. 6. Gerak Melingkar Beraturan

(Sumber : <https://oriviu.com/blog/gerak-melingkar-beraturan-gmb-140>)

Dalam gerakan melingkar, terdapat dua jenis besaran, yaitu besaran sudut dan besaran tangensial, yang keduanya berhubungan dengan gerakan berbentuk lingkaran. Besaran tangensial beroperasi dengan arah yang tegak lurus, sehingga tidak menghasilkan sudut. Di sisi lain, besaran sudut adalah besaran vektor yang berperan dalam pembentukan sudut tertentu.

Pada gerak melingkar beraturan memiliki kecepatan sudut dan kecepatan tangensial. Adapun rumus dari kecepatan tangensial yaitu:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (7.43)$$

Pada kecepatan tangensial arah vektornya tegak lurus dengan arah vektor jari-jari dan ggerak benda. Jika perubahan jarak (Δs) merupakan keliling lintasan yang ditempuh benda

dalam satu satuan waktu (Δt), maka $\Delta s = 2\pi r$ dan $\Delta t = T$. Sehingga dapat dituliskan rumus tangensial sebagai berikut.

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (7.44)$$

Apabila $T = 1/f$ disubstitusi ke dalam persamaan di atas maka akan memperoleh rumus berikut.

$$v = 2\pi r f \quad (7.45)$$

Untuk menentukan hubungan antara kecepatan sudut dan kecepatan tangensial dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \times r \quad (7.46)$$

Persamaan di atas disederhanakan menjadi:

$$v = \omega r \quad (7.47)$$

(Umar, 2007).

7.4 Gerak Melingkar Berubah Beraturan (BMBB)

Gerak melingkar yang ditandai dengan sudut percepatan yang tetap disebut Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB). Jika percepatan sudut tetap, maka kecepatan sudut akan berubah dengan cara yang teratur. (Tim Fisika, n.d.).

Sama halnya dengan gerak lurus, pada gerak melingkar juga memiliki gerak dengan percepatan sudut. Hal tersebut mengakibatkan kecepatan sudutnya dapat berubah yang disebut dengan Gerak melingkar Berubah Beraturan (GMBB). Salah satu hal yang mempengaruhi percepatan pada kecepatan di gerak ini tergantung dari arah geraknya. Pada GMBB kecepatan linear pada benda berubah secara beraturan. Karena, Gerak Melingkar Berubah Beraturan mempunyai kecepatan sentripetal dan percepatan tangensial. Kecepatan linear bisa berubah karena adanya percepatan tangensial. Selain itu, percepatan tangensial juga mengubah kecepatan linearnya. Apabila arah dari percepatan tangensial searah dengan kecepatan linearnya, maka kecepatan dapat meningkat. Namun sebaliknya, apabila arah dari percepatan tangensial berlawanan dengan kecepatan linearnya, maka kecepatannya tidak meningkat (Kiswanto, 2022)

Percepatan tangensial dapat diturunkan rumus sebagai berikut:

$$a_t = a \cdot r \quad (7.48)$$

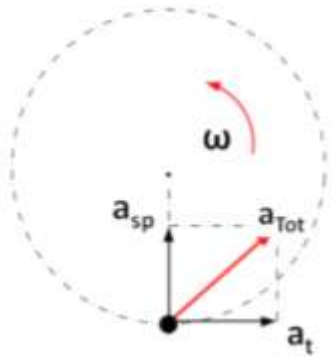
Dimana:

a_t = Percepatan tangensial (m/s^2)

a = Percepatan Sudut (Rad/s^2)

r = Jari-Jari (m)

Sehingga, dapat dilihat bahwa percepatan total dapat dipengaruhi oleh kedua percepatan tersebut. agar dapat dipahami lebih jelas dapat dilihat dari gambar di bawah ini!



Gambar 7. 7. Percepatan Sudut Total pada Gerak Melingkar
(Sumber : Kiswanto, 2022)

Pada Gerak Melingkar Berubah Beraturan akan mengalami percepatan sentripetal (a_{sp}) dan percepatan tangensial(a_t). percepatan tangensial yang mengikuti atau menyinggung lingkaran. Sedangkan percepatan sentripetal selalu menuju titik pusat lingkaran. Untuk lebih jelasnya dapat dituliskan persamaan berikut ini.

$$a = \sqrt{a_s^2 + a_t^2} \quad (7.49)$$

keterangan:

a = Percepatan total (m/s)

a_t = Percepatan tangensial (m/s^2)

a_s = Percepatan Sentripetal (m/s^2)

Sama halnya dengan GLB dan GLBB, GMB dan GMBB memiliki persamaan yang hampir mirip. Sehingga dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\omega_t = \omega_0 + at \quad (7.20)$$

$$\theta = \omega_0 t + 1/2 at^2 \quad (7.51)$$

$$\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2a\theta \quad (7.52)$$

Keterangan:

ω_t = Kecepatan sudut akhir (Rad/s)

ω_0 = Kecepatan sudut mula-mula (rad/s)

t = Waktu (s)

a = Percepatan sudut (Rad/s²)

θ = Perpindahan sudut (Rad)

(Kiswanto, 2022)

DAFTAR PUSTAKA

- Aip Saripudin, dkk. (n.d.). *Praktis Belajar Fisika*. PT Grafindo Media Pratama.
- Alimah, S., & Wisnu Siwi Satiti, S. P. M. S. (2021). *Gerak Melingkar: Fisika SMA*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas KH. A. Wahab Hasbullah.
- basuki, fitria. (2016). *pedoman cerdas fisika SMA* (1st ed.). depok huta.
- Darmawan Harefa, Elisabeth Stefani Gaurifa, Menni Asria Duha, Syukur Oktapian Ndruru, M. Z. (2023). *Teori Fisika* (F. L. Bestaria laia, Aluiwaaauri tafonao (ed.)). CV Jejak (Jejak Publisher).
- Indrajit, D. (2007). *Mudah dan Aktif Belajar Fisika*, Bandung: PT. Setia Purna Inves.
- Ir. Randis,S.T., M. . (2022). *Buku Ajar Kinematika untuk Teknik Mesin Alat Berat* (M. Nasruddin (ed.); 1st ed.). PT. Nasya Expanding Managemet.
[https://books.google.co.id/books?id=AEaIEAAAQBAJ&newbks=1&newbks_redir=0&lpg=PA61&dq=perpindahan linear dan perpindahan sudut&hl=id&pg=PA58#v=onepage&q=perpindahan linear dan perpindahan sudut&f=false](https://books.google.co.id/books?id=AEaIEAAAQBAJ&newbks=1&newbks_redir=0&lpg=PA61&dq=perpindahan%20linear%20dan%20perpindahan%20sudut&hl=id&pg=PA58#v=onepage&q=perpindahan%20linear%20dan%20perpindahan%20sudut&f=false)
- Kamajaya, A. H. (2007). *Cerdas Belajar Fisika*. PT Grafindo Media Pratama.
- Kartono, B. S. A., & H, B. S. (2017). *Explore Fisika Jilid 1 untuk SMA/MA Kelas X*. Penerbit Duta.
- Kiswanto, H. (2022). *Fisika Dasar 1*. Syiah Kuala University Press.
- Kristanto, P. (2020). *Fisika Dasar - Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Andi Offset.
- Saripudin, Aip,septiawan, dede. (2020). *prakris belajar fisika*. visindo.
https://books.google.co.id/books?id=UuLGeZ2tMsYC&newbks=1&newbks_redir=0&lpg=PP1&hl=id&pg=PP1#v=onepage&q&f=false

Tim Fisika. (n.d.). *Fisika SMA Kelas 1*. Grasindo.

Tim GTK DIKDAS. (2021). Modul Belajar Mandiri Calon Guru Aparatur Sipil Negara (ASN) Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja (PPPK). In *Modul Belajar Mandiri Bidang Fisika*.

Umar, E. (2007). *FISIKA Interaktif Kls.X IPA* (S. Maharani (ed.)). Ganeca Exact.

BAB 8

GERAK DUA DIMENSI

Oleh Suarti

8.1 Pendahuluan

Gerak dua dimensi adalah gerak suatu benda yang terjadi pada dua arah sekaligus dalam bidang datar, biasanya dinyatakan dalam sumbu x (horizontal) dan y (vertikal). Pada gerak ini, posisi benda berubah dalam dua dimensi secara bersamaan, sehingga perlu menggunakan konsep vektor untuk menganalisis perpindahan, kecepatan, dan percepatan.

Contoh umum dari gerak dua dimensi meliputi: Gerak parabola seperti bola yang dilempar ke udara, Gerak melingkar: seperti gerak planet mengelilingi matahari atau roda yang berputar, Gerak dalam olahraga: seperti lintasan bola dalam permainan sepak bola atau basket.

Gerak dua dimensi merupakan kombinasi dari dua gerak satu dimensi yang saling tegak lurus, misalnya: Gerak horizontal (sumbu x) yang sering dianggap memiliki kecepatan konstan dan Gerak vertikal (sumbu y) yang dipengaruhi oleh percepatan gravitasi. Gerak ini melibatkan dua komponen yang dapat dianalisis secara terpisah, sehingga metode vektor dan kinematika dapat digunakan untuk menjelaskan dan memprediksi lintasan benda yang bergerak dalam dua dimensi.

Perbedaan utama antara gerak satu dimensi dan gerak dua dimensi, disajikan pada tabel 8.1 :

Tabel 8. 1. Perbedaan Gerak Satu Dimensi dan Dua Dimensi

Aspek	Gerak Satu Dimensi	Gerak Dua Dimensi
Lintasan	Lurus (sepanjang satu garis)	Bidang datar (Lintasan bisa berbentuk kurva, parabola, atau melingkar)
Sumbu koordinat	Hanya satu sumbu (x atau y)	Dua sumbu (x dan y)
Kecepatan	Hanya memiliki satu komponen kecepatan (vx atau vy)	Memiliki dua komponen kecepatan (vx dan vy)
Percepatan	Hanya ada satu komponen percepatan (ax atau ay)	Bisa memiliki dua komponen percepatan (ax dan ay)
Contoh Gerak	Mobil bergerak lurus di jalan tol, Gerak jatuh bebas tanpa kecepatan awal	Gerak parabola (bola ditendang ke udara), gerak melingkar (satelit mengorbit bumi)

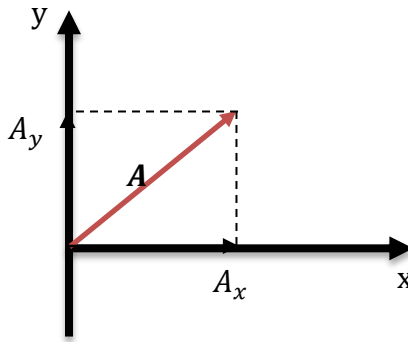
8.2 Vektor dalam Gerak Dua Dimensi

Dalam gerak dua dimensi, vektor adalah besaran yang memiliki besar (*magnitude*) dan arah. Semua besaran fisika yang terlibat dalam gerak dua dimensi seperti perpindahan, kecepatan, dan percepatan dapat direpresentasikan sebagai vektor.

8.2.1 Representasi Vektor dalam Gerak Dua Dimensi

Sebuah vektor dalam bidang dua dimensi biasanya dinyatakan dalam bentuk koordinat kartesian dengan dua komponen seperti pada gambar 8.1:

$$\mathbf{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j}$$



Gambar 8. 1. Penguraian Komponen Vektor A

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Keterangan :

A_x = komponen vektor pada sumbu x (horizontal)

A_y = komponen vektor pada sumbu y (vertikal)

$\hat{i}$ dan $\hat{j}$ = vector satuan yang menunjukkan arah sepanjang sumbu x dan y

Sebagai contoh, jika suatu benda bergerak dengan kecepatan 15 m/s ke arah timur laut dengan sudut 45° , maka kecepatannya bisa diuraikan menjadi:

Komponen horizontal (x) : $v_x = v \cos \theta = 15 \cos 45^\circ$

Komponen vertikal (y) : $v_y = v \sin \theta = 15 \sin 45^\circ$

8.2.2 Besar Vektor

Besar dari sebuah vektor A dapat dihitung menggunakan rumus Pythagoras:

$$|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

Contoh :

Jika $A_x = 5$ dan $A_y = 10$, maka besar vector A adalah :

$$|A| = \sqrt{5^2 + 10^2} = \sqrt{25 + 100} = \sqrt{125}$$

8.2.3 Arah Vektor

Arah vektor biasanya dinyatakan dalam bentuk sudut θ terhadap sumbu x positif, yang dihitung dengan:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{A_y}{A_x} \right)$$

Contoh :

Jika $A_x = 5$ dan $A_y = 10$, maka sudut arah vector adalah

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{10}{5} \right) = \tan^{-1}(2) = 63,43^\circ$$

Soal :

Sebuah perahu motor bergerak di suatu Sungai ke barat dengan kecepatan 20 m/s. arus Sungai cukup deras ke arah utara dengan kecepatan 15 m/s. hitung besar dan arah kecepatan resultan dari perahu motor ini!.

Jawab :

Untuk menghitung besar dan arah kecepatan resultan dari perahu motor, kita perlu menggunakan konsep vektor dalam gerak dua dimensi.

Diketahui :

Kecepatan perahu ke barat (sumbu x) : $v_x = 20 \text{ m/s}$

Kecepatan arus sungai ke utara (sumbu y) : $v_y = 15 \text{ m/s}$

Besar Kecepatan Resultan v_r dapat dihitung menggunakan rumus Pythagoras :

$$v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_r = \sqrt{(20^2 + 15^2)} \\ v_r = \sqrt{(400 + 225)} = \sqrt{625} = 25 \text{ m/s}$$

Arah kecepatan resultan dinyatakan sebagai sudut θ terhadap arah barat (sumbu x negatif), yang dihitung dengan:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{15}{20} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0,75)$$

$$\theta = 36,87^\circ$$

Arah kecepatan $36,87^\circ$ diukur dari barat ke utara.

Jadi perahu akan bergerak dengan kecepatan 25 m/s dalam arah barat laut dengan sudut $36,87^\circ$ dari barat.

8.2.4 Operasi Vektor dalam Gerak Dua Dimensi

1. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor

Untuk menambahkan dua vektor A dan B, kita menjumlahkan masing-masing komponen:

$$R = (A_x + B_x)\hat{i} + (A_y + B_y)\hat{j}$$

2. Perkalian Vektor dengan Skalar

Jika suatu vektor A dikalikan dengan skalar k, maka :

$$A = kA_x\hat{i} + kA_y\hat{j}$$

8.3 Persamaan Gerak Dua Dimensi

Gerak dua dimensi dapat dianalisis dengan memisahkan geraknya ke dalam komponen horizontal (x) dan komponen vertikal (y). Persamaan geraknya merupakan gabungan dari persamaan gerak dalam masing-masing sumbu tersebut.

8.3.1 Persamaan Posisi Gerak Dua Dimensi

Posisi suatu benda dalam gerak dua dimensi dapat dinyatakan dalam bentuk vektor:

$$r = x\hat{i} + y\hat{j}$$

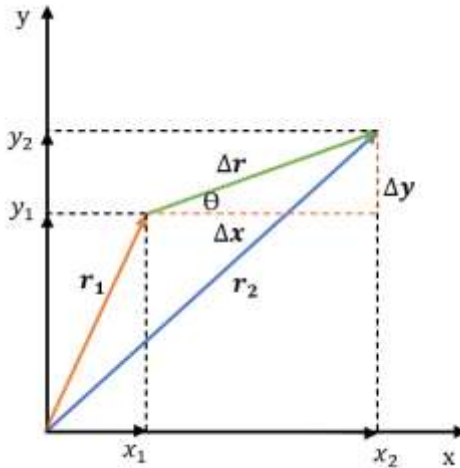
Dengan :

x = posisi dalam arah sumbu x (horizontal)

y = posisi dalam arah sumbu y (vertikal)

$\hat{i}$ dan $\hat{j}$ = vector satuan dalam arah sumbu x dan y

Jika benda tersebut mengalami perubahan posisi dari r_1 ke r_2 , maka persamaan besar perpindahan dan arah perpindahan vektor dapat dianalisis sebagai berikut, perhatikan gambar 8.2.



Gambar 8. 2. Vektor Perpindahan
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Posisi pertama : $r_1 = x_1\hat{i} + y_1\hat{j}$

Posisi kedua : $r_2 = x_2\hat{i} + y_2\hat{j}$

Jadi vektor perpindahannya :

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (x_2 - x_1)\hat{i} + (y_2 - y_1)\hat{j}$$

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x\hat{i} + \Delta y\hat{j}$$

Besar vektor Perpindahan $|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$

Arah Perpindahan terhadap sumbu x :

$$\tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

8.3.2 Persamaan Kecepatan dan Percepatan Gerak Dua Dimensi

Kecepatan dan percepatan juga memiliki dua komponen yaitu pada arah sumbu x dan sumbu y :

Kecepatan pada gerak dua dimensi:

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} \\ \mathbf{v} &= \frac{d}{dt}(x\hat{i} + y\hat{j}) \\ \mathbf{v} &= \frac{dx}{dt}\hat{i} + \frac{dy}{dt}\hat{j} \\ v &= v_x\hat{i} + v_y\hat{j} \end{aligned}$$

Percepatan pada gerak dua dimensi:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{d\mathbf{v}}{dt} \\ \mathbf{a} &= \frac{d}{dt}(v_x\hat{i} + v_y\hat{j}) \\ \mathbf{a} &= \frac{dv_x}{dt}\hat{i} + \frac{dv_y}{dt}\hat{j} \\ \mathbf{a} &= a_x\hat{i} + a_y\hat{j} \end{aligned}$$

Karena gerak dua dimensi adalah kombinasi dari dua gerak satu dimensi, kita dapat menggunakan persamaan kinematika dasar untuk masing-masing sumbu.

1. Persamaan dalam arah sumbu x (gerak dengan kecepatan konstan)

Jika tidak ada percepatan dalam arah horizontal ($a_x = 0$), maka gerak pada arah sumbu x adalah gerak lurus beraturan (GLB) dengan kecepatan konstan sebesar v_{0x} .

Posisi horizontal

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

Kecepatan horizontal

$$v_x = v_{0x}$$

Percepatan horizontal

$$a_x = 0$$

2. Persamaan dalam arah sumbu y (gerak dengan percepatan konstan

Dalam sumbu y, benda mengalami percepatan akibat gravitasi ($a_y = -g$) dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, hal ini menyebabkan gerak dalam arah vertikal menjadi gerak lurus berubah beraturan (GLBB).

Posisi vertikal

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Kecepatan vertikal

$$v_y = v_{0y} - gt$$

Percepatan vertikal

$$a_y = -g$$

3. Besar dan arah Resultan kecepatan

Kecepatan total benda dalam gerak dua dimensi diperoleh dengan menggabungkan komponen x dan y menggunakan teorema Pythagoras:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Arah kecepatan total terhadap sumbu x dapat dihitung dengan:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_y}{v_x} \right)$$

8.4 Gerak Dua Dimensi dalam kehidupan sehari-hari

Gerak dua dimensi terjadi ketika suatu benda bergerak dalam dua arah sekaligus (biasanya pada bidang horizontal dan vertikal). Berikut beberapa contoh penerapannya dalam kehidupan sehari-hari:

1. Gerak Proyektil

- Tendangan bola dalam sepak bola → Saat bola ditendang, ia memiliki komponen kecepatan horizontal (ke depan) dan vertikal (ke atas).
- Lemparan bola basket → Bola yang dilempar memiliki lintasan parabola akibat pengaruh gravitasi.
- Air mancur → Air yang keluar dari pancuran membentuk lintasan melengkung.

2. Gerak dalam Transportasi

- Peluncuran roket → Roket bergerak ke atas (vertikal) sambil berpindah ke samping (horizontal) akibat rotasi bumi dan gaya dorongnya.
- Mobil yang melintasi tanjakan melengkung → Mobil yang naik atau turun bukit mengalami gerak dengan komponen horizontal dan vertikal.
- Pesawat terbang → Saat lepas landas atau mendarat, pesawat mengalami gerak dua dimensi dengan komponen maju dan naik/turun.

3. Gerak dalam Olahraga

- Pukulan dalam tenis atau bulu tangkis → Shuttlecock atau bola memiliki gerak horizontal akibat pukulan dan gerak vertikal akibat gravitasi.
- Gerakan pemain skateboard di ramp → Pemain yang meluncur naik dan turun di lintasan berbentuk parabola menunjukkan gerak dua dimensi.

4. Fenomena Alam

- Hujan yang turun miring akibat angin → Tetesan hujan memiliki komponen kecepatan vertikal (gravitasi) dan horizontal (didorong angin).
- Gerakan burung yang terbang miring melawan angin → Burung mengombinasikan gerak horizontal dengan gerak vertikal untuk menjaga keseimbangannya.

Soal:

1. Sebuah peluru ditembakkan dengan kecepatan 25 m/s dengan sudut elevasi 53° . Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 . Tentukan :
 - a. Kecepatan peluru setelah bergerak selama 1,5 sekon
 - b. Jarak terjauh yang dapat dicapai peluru.

Jawab :

Diketahui :

Kecepatan awal: $v_o = 25 \text{ m/s}$

Sudut elevasi: $\theta = 53^\circ$

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

Waktu: $t = 1,5 \text{ s}$

Menentukan kecepatan awal dalam arah sumbu x dan y

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = 25 \cos 53^\circ = 15 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = 25 \sin 53^\circ = 20 \text{ m/s}$$

- a. Kecepatan peluru setelah 1,5 s

Kecepatan dalam arah horizontal tetap karena tidak ada percepatan di sumbu x

$$v_x = v_{0x} = 15 \text{ m/s}$$

Kecepatan dalam arah vertikal dipengaruhi oleh gravitasi:

$$v_y = v_{0y} - gt$$

$$v_y = 20 - (10 \times 1,5) = 5 \text{ m/s}$$

Besar Kecepatan total :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v = \sqrt{15^2 + 5^2} = \sqrt{250} = 15,81 \text{ m/s}$$

- b. Jarak terjauh yang dicapai peluru

Waktu untuk mencapai titik tertinggi

$$v_y = v_{0y} - gt$$

$$0 = 20 - 10t$$

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

Waktu untuk mencapai jarak terjauh = 2 x waktu untuk mencapai titik tertinggi = 2 x 2 s = 4 s

Jadi jarak terjauh yang dicapai peluru :

$$x = v_x t$$

$$x = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 4 \text{ s} = 60 \text{ m}$$

2. Ketika air hujan turun vertikal dengan kecepatan 30 m/s. Kemudian angin bertiup dengan kecepatan 10 m/s dari timur ke barat. Ke arah mana seseorang harus mengarahkan payungnya agar tidak kehujanan.

Jawab :

Untuk menentukan arah di mana seseorang harus mengarahkan payungnya, kita perlu menghitung resultan kecepatan hujan relatif terhadap orang yang diam.

Diketahui :

Kecepatan hujan turun vertikal $v_y = 30 \frac{m}{s}$

Kecapatan angin dari timur ke barat $v_x = 10 \frac{m}{s}$

Besar Resultan kecepatan hujan :

Karena hujan memiliki komponen kecepatan horizontal akibat angin dan komponen vertikal akibat gravitasi, kita bisa menghitung resultan kecepatan menggunakan teorema Pythagoras:

$$v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_r = \sqrt{10^2 + 30^2} = \sqrt{1000} = 31,6 \text{ m/s}$$

Sudut kemiringan hujan, arah hujan terhadap vertikal:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v_x}{v_y} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{10}{30} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1}(0,333) = 18,4^\circ$$

Jadi hujan datang dengan sudut $18,4^\circ$ terhadap vertikal, miring dari timur ke barat. Sehingga Agar tidak kehujaan, seseorang harus mengarahkan payungnya ke arah datangnya hujan, yaitu $18,4^\circ$ dari vertikal ke arah timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, Douglas. 2001. Fisika edisi kelima, Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, David, Robert Resnick. 1996. Fisika jilid I, Jakarta: Erlangga.
- Tipler, P.A. 2001. Fisika untuk Sains dan Teknik, Jakarta: Erlangga
- Surya, Yohanes. 2010. Mekanika Fluida II. Tangerang: PT Kandel.
- Sears, F.W. 1982. Fisika Mekanika Panas Bunyi. Bandung: Binacipta
- Masruroh, dkk. 2017. Mekanika. Universitas Brawijaya Press.
- Fuadi, Nurul., dkk. 2024. Mekanika Dasar. Bandung: Media Sains Indonesia.

BAB 9

KERJA OLEH GAYA KONSTAN DAN BERUBAH

Oleh Dwi Sukowati

9.1 Pendahuluan

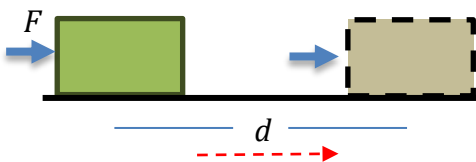
Fisika merupakan cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari interaksi-interaksi yang ada pada fenomena alam (Rumiati, et al., 2021). Dalam ilmu fisika kerja memiliki makna yang berbeda dengan kerja dalam kehidupan sehari-hari. Contohnya, seorang mahasiswa teknik harus kerja keras menguasai materi praktikum agar mendapat nilai yang baik. Kerja yang dimaksudkan disini adalah aktivitas yang harus dilakukan oleh mahasiswa berkaitan dengan tenaga maupun mental. Semakin maksimal tenaga dan mental yang diupayakan, maka semakin berpeluang besar mencapai tujuan yang diinginkan. Kerja dalam ilmu fisika memiliki arti sebagai gaya yang bekerja dalam suatu benda, sehingga menyebabkan benda berpindah posisi. Artinya, semakin besar gaya yang bekerja pada benda tersebut, semakin besar kerja yang dikeluarkan.

Terdapat dua jenis gaya yang berkerja dalam sebuah benda yaitu gaya konstan dan gaya tidak konstan (berubah). Konsep kerja oleh gaya tidak konstan (berubah) dapat menunjang penyelesaian soal-soal mekanika dengan mengaplikasikan Hukum Newton dan Hukum Kekekalan Energi. Energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja (Sulaiman & Tegar, 2019). Energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, tetapi dapat berubah bentuk dari bentuk satu ke bentuk lainnya. Contoh transformasi energi antara lain energi yang dihasilkan oleh air terjun diubah menjadi energi listrik,

energi yang berasal dari pembakaran pada kendaraan diubah menjadi energi gerak, dan lain sebagainya. Sedangkan contoh transfer energi antara lain saat seorang anak mendorong meja, maka terjadi transfer energi melalui gaya yang dikeluarkan oleh anak tersebut dan menyebabkan meja tersebut berpindah posisi. Perpindahan energi inilah yang dinamakan dengan kerja mekanik atau kerja. Dengan kata lain, energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja.

9.2 Kerja

Aktivitas sehari-hari yang berkaitan dengan kerja tentu sangat banyak dan secara tidak sadar setiap orang sudah pernah mengaplikasikan konsep fisis dari kerja. Contohnya, ada mahasiswa teknik menuju ke kampus, ternyata motor yang dikendarai mogok di jalan, sehingga mahasiswa tersebut terpaksa mendorong motornya ke bengkel terdekat. Kasus ini menunjukkan bahwa mahasiswa tersebut melakukan kerja karena mahasiswa tersebut memberikan gaya dorong ke motornya, sehingga motor tersebut berpindah tempat ataupun bergerak. Definisi kerja secara fisis ada pada dua observasi yaitu adanya gaya/ *force* (F) dan adanya perpindahan/ *displacement* (d). Perhatikan gambar 9.1, dimana terdapat sebuah benda yang bergerak karena adanya gaya dorong.



Gambar 9. 1. Kerja yang dilakukan oleh gaya F

Ketika benda didorong ke arah kanan oleh gaya sebesar F , benda bergerak dan berpindah tempat ke arah kanan pula sejauh d . Dimana letak Kerja benda tersebut? Nilai dari kerja yang dilakukan oleh benda timbul karena adanya gaya yang menyebabkan benda bergerak dengan arah yang sama. Secara matematis:

$$W = F \cdot d \quad (9.1)$$

dimana,

W = Kerja (N.m atau Joule)

F = Gaya konstan searah perpindahan benda (Newton)

d = Perpindahan benda (m)

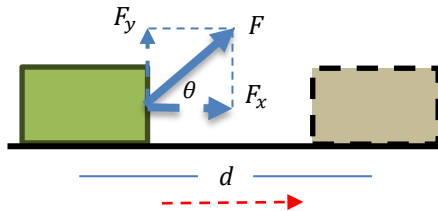
Satuan dari kerja berdasarkan sistem SI adalah N.m atau yang dikenal dengan sebutan Joule disingkat J, Joule merupakan kata yang diambil dari ahli Fisika Inggris bernama James Prescott Joule. Hubungan kerja dan gaya serta perpindahan adalah berbanding lurus. Semakin besar gaya atau perpindahan benda, maka semakin besar pula nilai kerja benda tersebut. Kerja merupakan besaran skalar, sedangkan gaya dan perpindahan merupakan besaran vektor. Artinya, dalam pemecahan soal, harus memperhatikan arah gaya maupun arah perpindahan sesuai dengan perhitungan vektor.

9.2.1 Kerja oleh Gaya Konstan

Kerja yang didefinisikan $W = F \cdot d$, hanya berlaku pada gaya yang bekerja sejajar dengan perpindahan benda. Secara matematis didefinisikan sebagai berikut:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (9.2)$$

Jika gaya tidak sejajar dengan perpindahan, maka penyalain masalah tidak serta merta menggunakan persamaan 9.2, tetapi harus melalui perhitungan vektor. Perhatikan gambar 9.2, sebuah benda ditarik dengan gaya sebesar F membentuk sudut tertentu terhadap bidang datar sebesar θ . Akibat gaya tarik tersebut, benda berpindah sejauh d sejajar dengan bidang datar. Kasus ini mendeskripsikan bahwa gaya tarik yang menyebabkan benda berpindah tidak searah dengan perpindahan. Untuk menyelesaikan kasus ini, maka langkah pertama yang dilakukan adalah menguraikan gaya F dengan perhitungan vektor.



Gambar 9. 2 Benda Ditarik dengan Gaya yang Tidak Searah dengan Perpindahan

Setiap besaran vektor yang membentuk sudut tertentu terhadap suatu sumbu, maka besaran tersebut mempunyai dua arah proyeksi. Gaya F , mempunyai proyeksi ke arah sumbu x yaitu F_x dan sumbu y yaitu F_y . Berdasar persamaan 9.2, maka gaya yang digunakan untuk mencari nilai kerja W adalah gaya yang sejajar dengan perpindahan. Karena benda berpindah ke arah sumbu x , maka gaya yang digunakan adalah gaya F_x dan didapat persamaan matematis berdasarkan perhitungan vektor yaitu,

$$\cos \theta = \frac{F_x}{F} \quad (9.3)$$

Setelah itu, substitusikan persamaan 9.3 ke persamaan 9.2, sehingga didapat persamaan matematis 11. 4

$$\begin{aligned} W &= F_x d \\ W &= F \cos \theta d \end{aligned} \quad (9.4)$$

Jika sebuah benda dikenai beberapa gaya, maka kerja total pada benda tersebut adalah jumlah kerja dari masing-masing gaya.

Contoh:

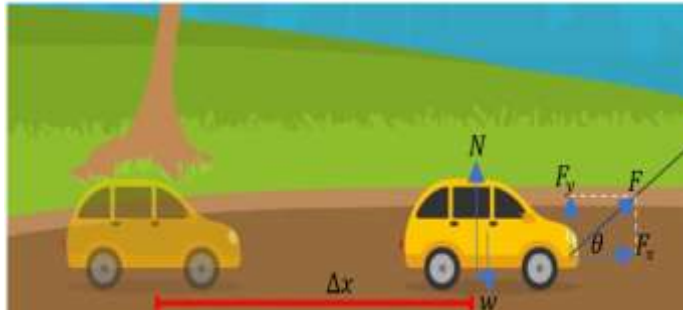
Seorang anak sedang menarik mobil mainannya menggunakan tali dengan gaya tarik sebesar 10 N seperti pada gambar 9.2. Mobil mainan tersebut bergerak sejauh 4 meter diatas permukaan lantai yang slip. Jika massa mobil mainan tersebut sebesar 0,5 kg dan sudut yang dibentuk tali ke arah bidang datar sebesar 60° , maka berapa kerja yang dilakukan oleh gaya pada mobil mainan tersebut?



Gambar 9. 3. Seorang Anak sedang Menarik Mobil Mainan

(Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=Yiic8FXdVkw>)

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menguraikan gaya-gaya yang bekerja pada mobil mainan tersebut untuk mempermudah dalam penyelesaian soal.



Gambar 9. 4. Komponen Gaya yang Bekerja

Dari gambar tersebut nampak beberapa gaya yang bekerja pada mobil yaitu gaya berat mobil, gaya normal, gaya tarik. Sehingga, dapat dikualifikasikan arah gaya tersebut pada dua sumbu yaitu sumbu vertikal (sumbu x) dan horizontal (sumbu y). Dengan uraian besaran masing-masing gaya sebagai berikut:

1. Gaya pada sumbu x

Gaya pada sumbu vertikal terdapat dua gaya yang bekerja pada benda yaitu gaya normal (N) benda terhadap bidang tanah, gaya berat (w) karena pengaruh gravitasi bumi yang arahnya menuju pusat gravitasi bumi, dan gaya tarik hasil proyeksi dari gaya F yaitu F_x

2. Gaya pada sumbu horizontal y

Gaya pada sumbu horizontal terdapat gaya tarik hasil proyeksi gaya F yaitu F_y

Karena mobil bergerak ke arah sumbu x, maka gaya-gaya yang dipakai dalam mencari besarnya kerja pada mobil mainan tersebut adalah gaya yang searah dengan sumbu x. Namun, jika mobil mainan bergerak pada bidang datar yang tidak slip (kasar), maka ada gaya gesek yang mempengaruhi gerak tersebut. Gaya gesek arahnya selalu berlawanan dengan gerak benda. Sehingga, harus dicari dulu besar gaya gesek. Untuk kasus ini, gaya gesek diabaikan karena bidang datar slip (licin). Sehingga kerja yang dilakukan mobil mainan tersebut sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= \sum F_{(\text{sumbu } x)} \cdot \Delta x \\ &= F_x \cdot \Delta x \\ &= F \cos \theta \cdot \Delta x \end{aligned} \quad (9.5)$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W &= 10 \cos 60^\circ \\ &= 10 \cdot 0,5 \\ &= 5 \text{ Joule} \end{aligned}$$

9.2.2 Kerja oleh Gaya Berubah

Kerja oleh gaya yang tidak konstan atau berubah dapat terjadi pada sebuah benda. Konsep ini terjadi jika gaya yang mengenai benda. Besar atau arahnya berubah-ubah sepanjang lintasan gerak benda tersebut. Pemecahan masalah dalam kasus ini tentunya tidak sesederhana seperti pada kerja oleh gaya tetap. Analisis yang digunakan menggunakan persamaan fungsi integral dari gaya sepanjang lintasan perpindahannya. Secara matematis, kerja oleh gaya yang berubah dituliskan sebagai berikut:

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x} \quad (9.6)$$

Dimana, $\vec{F}$ merupakan vektor gaya yang berubah dan $d\vec{x}$ merupakan elemen kecil dari perpindahan benda. Contoh kasus kerja yang dilakukan oleh gaya pegas (gambar 9.3). Gaya yang

dilakukan pegas dapat dicari menggunakan persamaan matematis,

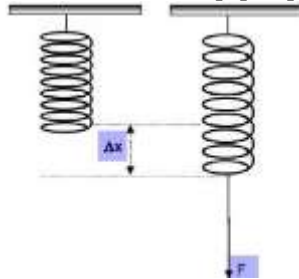
$$F_{(x)} = k\Delta x \quad (9.7)$$

dimana,

k = konstanta pegas (N/m)

Δx = pertambahan panjang pegas (m).

Persamaan matematis gaya pegas pada persamaan 9.7, menunjukkan bahwa semakin besar pertambahan panjang pegas, maka semakin besar pula gaya yang bekerja. Dengan kata lain, besarnya gaya, berubah terhadap perpindahan.



Gambar 9. 5. Gaya pada Pegas

(Sumber: <https://kmsuardika.blogspot.com/2019/01/hukum-hooke.html>)

Dalam persamaan matematis dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\Delta W_i = F_{(xi)}\Delta x_i \quad (9.8)$$

karena terdapat perubahan panjang ($\Delta x = x_2 - x_1$) yaitu pertambahan panjang dari panjang mula-mula x_1 menjadi panjang akhir x_2 , maka jumlah kerja yang dialami pegas tersebut dalam setiap interval adalah:

$$W_{(x_1 \rightarrow x_2)} = F_{(xi)}\Delta x_i \quad (9.9)$$

Jika Δx_i mendekati nol, maka dapat diubah menjadi persamaan integral, sehingga:

$$\begin{aligned} W \big|_{x_1 \rightarrow x_2} &= \int_{x_1}^{x_2} F \cdot dx \\ &= \int_{x_1}^{x_2} k \Delta x \, dx \\ &= \int_{x_1}^{x_2} k (x_2 - x_1) \, dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \int_{x_1}^{x_2} (kx_2 - kx_1) dx \\ &= \int_{x_1}^{x_2} k(x_2 dx) - \int_{x_1}^{x_2} k(x_1 dx) \\ &= \frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_1^2 \end{aligned}$$

Sehingga kerja pada gaya pegas dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} k(x_2^2 - x_1^2) \\ &\text{atau} \\ W &= \frac{1}{2} k\Delta x^2 \end{aligned} \tag{9.10}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Rumiati, R., Handayani, R. D., & Mahardika, I. K. (2021). *Analisis Konsep Fisika Energi Mekanik Pada Permainan Tradisional Egrang Sebagai Bahan Pembelajaran Fisika*. Jurnal Pendidikan Fisika, 9(2), 131. <http://dx.doi.org/10.24127/jpf.v9i2.3570>.
- Sulaiman & Tegar, T. (2019). Kebutuhan Energi pada Pembuatan Papan Partikel dari Tandan Kosong Kelapa Sawit, Serbuk Kulit Pinus dan Akasia. Jurnal Rang Teknik Journal, 2(2), 297-303.

BAB 10

ENERGI KINETIK, ENERGI POTENSIAL DAN HUKUM KEKEKALAN ENERGI

Oleh Fine Eirene Siahaan

10.1 Pendahuluan

Energi merupakan konsep mendasar dalam ilmu fisika yang berperan krusial dalam berbagai fenomena alam dan aktivitas sehari-hari. Secara sederhana, energi adalah kapasitas sistem menata usaha atau menciptakan perubahan dalam kondisi tertentu. Hampir semua aktivitas di sekitar kita, mulai dari pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber kehidupan hingga penggunaan mesin dalam kehidupan sehari-hari, bergantung pada energi.

Energi memiliki beragam manifestasi, termasuk energi kinetik yang berhubungan dengan gerakan, energi potensial yang tersimpan dalam suatu objek, serta bentuk lainnya seperti energi termal, listrik, kimia, dan nuklir. Terlepas dari variasinya, energi memiliki sifat fundamental yang tidak berubah: energi tidak dapat dibuat maupun dihilangkan, tetapi dapat mengalami transformasi dari satu bentuk ke bentuk lain. Konsep ini dikenal sebagai Hukum Kekekalan Energi, yang menjadi dasar dalam memahami berbagai fenomena fisika.

Dalam aktivitas sehari-hari, kita kerap memanfaatkan konsep energi tanpa menyadarinya. Contohnya, ketika mengayuh sepeda, energi kimia yang diperoleh dari makanan dikonversi menjadi energi kinetik yang memungkinkan sepeda

bergerak. Contoh lain adalah ketika menyalakan lampu, energi listrik dikonversi menjadi cahaya dan panas. Pemahaman mendalam tentang energi tidak hanya penting dalam bidang sains, tetapi juga berperan dalam pengembangan teknologi dan upaya pelestarian lingkungan. Seiring meningkatnya kebutuhan manusia terhadap energi, pengelolaan yang lebih efisien menjadi tantangan global agar keseimbangan ekosistem tetap terjaga.

Bab ini akan membahas berbagai bentuk energi, seperti energi kinetik dan potensial, serta menjelaskan bagaimana Hukum Kekekalan Energi bekerja dalam suatu sistem fisika. berdasarkan pemahaman konsep ini, kita mampu menyadari pentingnya energi dalam kehidupan serta mencari cara untuk memanfaatkannya secara lebih bijaksana.

10.2 Energi Kinetik

Ketika seseorang melempar sebuah batu kecil ke depan, batu tersebut akan bergerak dengan kecepatan tertentu setelah terlepas dari tangan. Batu yang melaju ini memiliki energi yang memungkinkannya melakukan kerja, misalnya saat menabrak suatu benda di depannya. Energi yang dihasilkan akibat gerakan batu tersebut dikenal sebagai energi kinetik.

Sederhanyanya, energi ini adalah energi yang dimiliki suatu benda akibat gerakannya. energi ini muncul karena benda memiliki kecepatan. Meningkatnya kecepatan suatu benda, akan meningkatkan energi kinetik yang dimilikinya. Jika sebuah objek bermassa m bergerak dengan kecepatan v , maka energi kinetiknya dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

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

Dari hubungan matematis ini, dapat diketahui bahwa energi kinetik suatu benda bergantung langsung pada massanya dan meningkat secara eksponensial terhadap kecepatan. Jika massa suatu benda menjadi dua kali lebih besar, maka energi kinetiknya pun ikut bertambah dalam jumlah yang sama. Sebaliknya, jika laju percepatan benda meningkat dua kali,

energi kinetik yang dimilikinya akan melonjak hingga empat kali lebih besar.

Energi kinetik dapat ditemukan dalam berbagai bentuk gerakan, termasuk gerak lurus, gerak parabola, gerak melingkar, hingga gerak osilasi. Keberadaan energi ini sangat penting dalam berbagai fenomena fisika, mulai dari pergerakan kendaraan hingga dinamika benda dalam sistem mekanik.

Contoh soal:

Soal 1

Seorang anak mengayuh sepeda dengan kecepatan konstan sebesar 2,5 m/s. Jika massa keseluruhan anak dan sepeda adalah 100 kg, berapakah energi kinetiknya?

Pembahasan:

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

$$EK = \frac{1}{2} 100 \cdot (2,5)^2 = 312,5 \text{ Joule}$$

Jadi, energi kinetik sepeda dan anak tersebut adalah 312,5 Joule.

Soal 2

Sebuah mobil memiliki energi kinetik sebesar 81.000 Joule. Jika massa mobil tersebut adalah 200 kg, tentukan kecepatannya!

Pembahasan:

$$EK = \frac{1}{2} mv^2 \dots\dots\dots (10.1)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 EK}{m}} \dots\dots\dots (10.2)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 (81000)}{200}}$$

$$v = \sqrt{810}$$

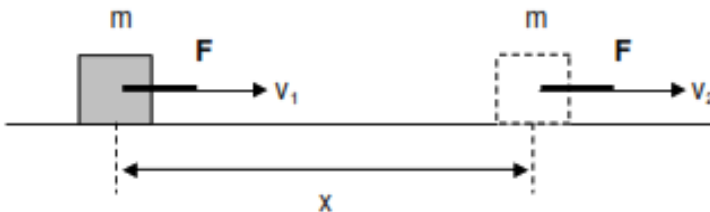
$$v = 28,46 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan mobil tersebut sekitar 28,46 m/s.

10.2.1 Teorema Usaha - Energi

Persamaan energi kinetik yang telah diperoleh pada rumus (1.1) dapat dimanfaatkan untuk mengkaji keterkaitan antara usaha yang diberikan terhadap perubahan energi kinetik suatu benda. Sebagai contoh, bayangkan sebuah benda dengan massa m yang bergerak pada jalur lurus mendatar dengan kecepatan awal v_1 .

Ketika sebuah gaya tetap F bekerja pada sebuah benda yang searah dengan arah gerakanya, benda akan tersebut akan mengalami perpindahan sejauh x . Akibat pengaruh gaya tersebut, kecepatan benda mengalami perubahan menjadi v_2 , seperti yang digambarkan dalam ilustrasi pada Gambar 10.1.



Gambar 10. 1. Gerak benda linier (GLBB)

Menurut prinsip yang dijelaskan oleh Newton, apabila suatu benda dikenai gaya konstan F , benda tersebut akan mengalami percepatan. Nilai percepatan ini bergantung pada besarnya gaya yang diberikan, di mana semakin besar gaya yang bekerja, semakin besar pula percepatan yang terjadi. Sebaliknya, percepatan tersebut akan berbanding terbalik dengan massa benda, artinya semakin besar massa benda, semakin kecil percepatan yang dihasilkan. Hubungan ini dapat dinyatakan

dalam persamaan matematis $F = m.a$. Dengan kata lain, semakin besar gaya yang diberikan pada suatu objek, semakin besar pula percepatan yang dihasilkan, sementara semakin besar massa objek, semakin kecil percepatan yang terjadi. Jika benda tersebut memiliki kecepatan awal dan menempuh jarak s , maka percepatan a dapat ditentukan melalui rumus gerak lurus berubah beraturan (GLBB) berikut:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

$$a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2s}$$

Kemudian, dengan mensubstitusikan nilai a ke dalam persamaan Hukum Newton ($F = m \cdot a$), kita dapat menentukan usaha yang dilakukan pada benda:

$$W = F \cdot s = (m \cdot a)(s) = (m) \left(\frac{v_t^2 - v_0^2}{2s} \right) s$$

$$W = m \left(\frac{v_t^2 - v_0^2}{2} \right) = \frac{1}{2} m(v_t^2 - v_0^2)$$

$$W = \frac{1}{2} m v_t^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$W = \frac{1}{2} m \cdot v_t^2;$$

dimana $v_0 = 0 \dots \dots \dots (10.4.)$

Persamaan tersebut mengindikasikan bahwa total usaha yang dikerahkan pada suatu benda memiliki hubungan langsung dengan perubahan energi kinetik benda tersebut. Dengan kata lain, semakin besar usaha yang dilakukan, semakin besar pula perubahan energi kinetik yang dialami oleh benda tersebut. Dalam konteks fisika, usaha yang dilakukan terhadap suatu objek akan menyebabkan perubahan dalam kecepatan geraknya, yang pada akhirnya mengubah energi kinetiknya. Oleh karena itu, karena $W = \Delta E_K$, maka energi kinetik translasi suatu benda dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$W = EK = \frac{1}{2}mV^2 \dots\dots\dots (10.5)$$

Persamaan 10.2 di atas dapat ditulis ulang menjadi:

$$W = EK_2 - EK_1 = \Delta EK \dots\dots\dots (10.6)$$

Persamaan (1.3) menunjukkan bahwa jumlah usaha yang dilakukan pada suatu benda berhubungan langsung dengan perubahan energi kinetiknya. Konsep ini dikenal sebagai prinsip usaha-energi, yang menyatakan bahwa usaha total yang diberikan oleh semua gaya eksternal pada suatu benda akan menyebabkan perubahan dalam energi kinetiknya. Prinsip ini berlaku secara umum selama usaha yang dihitung mencakup seluruh gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Jika usaha total yang diberikan bernilai positif ($W > 0$), maka energi kinetik benda akan bertambah sesuai dengan besar usaha tersebut. Sebaliknya, jika usaha yang dilakukan bernilai negatif ($W < 0$), maka energi kinetiknya akan berkurang sebesar nilai W .

Dengan kata lain, apabila gaya total yang bekerja berlawanan arah dengan gerak benda, maka gaya tersebut akan menyebabkan perlambatan dan mengurangi energi kinetiknya. Sebaliknya, jika usaha total yang diberikan bernilai nol, maka energi kinetik benda tetap konstan, yang berarti kecepatan benda tidak mengalami perubahan.

10.3 Energi Potensial

Kata "potensial" berasal dari istilah "potensi," yang mengacu pada suatu kemampuan tersembunyi yang dapat diwujudkan dalam kondisi tertentu. Dalam fisika, energi potensial merujuk pada energi yang tersimpan dalam suatu objek akibat posisinya dalam suatu sistem atau keadaan khusus yang dialaminya. Energi ini tidak secara langsung menghasilkan gerakan tetapi dapat berubah menjadi bentuk energi lain ketika terjadi perubahan dalam sistem tersebut.

Energi potensial dapat dijumpai dalam berbagai peristiwa di sekitar kita. Misalnya, sebuah pegas yang ditekan menyimpan energi potensial elastis. Ketika dilepaskan, energi ini berubah menjadi energi kinetik yang mendorong benda di sekitarnya. Contoh lain adalah sebuah buku yang diletakkan di atas rak tinggi. Selama berada di posisi tersebut, buku memiliki energi potensial gravitasi. Jika buku jatuh, energi tersebut berubah menjadi energi kinetik saat bergerak menuju lantai.

Secara umum, terdapat dua jenis utama energi potensial yang berkaitan erat dengan gerakan dan interaksi gaya, yaitu energi potensial gravitasi—yang bergantung pada ketinggian suatu benda dari titik acuan tertentu, serta energi potensial elastis—yang muncul pada benda-benda yang dapat mengalami deformasi, seperti busur panah yang tertarik ke belakang sebelum dilepaskan.

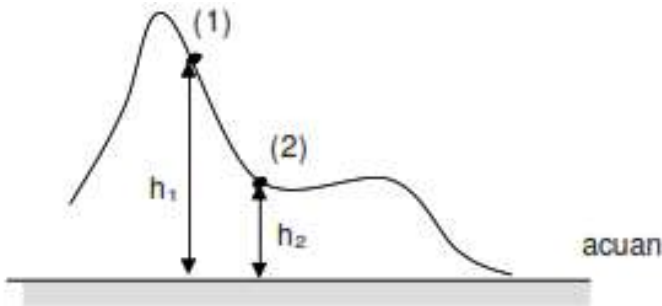
10.3.1 Energi Potensial Gravitasi

Jika seseorang memegang sebuah batu dengan massa tertentu di atas permukaan tanah pada ketinggian h , maka batu tersebut memiliki energi tersimpan akibat pengaruh gaya gravitasi bumi. Ketika batu dilepaskan tanpa kecepatan awal, ia akan mengalami percepatan gravitasi hingga mencapai tanah. Selama jatuh, energi yang tersimpan dalam batu berubah menjadi energi kinetik hingga akhirnya memberikan dampak terhadap permukaan tanah saat menyentuhnya. Energi yang berkontribusi dalam peristiwa ini dikenal sebagai energi potensial gravitasi.

Energi ini merupakan bentuk energi tersimpan yang dimiliki oleh suatu objek akibat posisinya dalam medan gravitasi terhadap suatu referensi tertentu. Besarnya energi potensial gravitasi bergantung pada massa benda serta ketinggiannya dari titik acuan. Semakin besar ketinggian benda, semakin besar pula energi potensial gravitasi yang dikandungnya.

Contoh penerapan konsep ini dapat ditemukan pada tangki air yang ditempatkan di atas gedung. Air di dalam tangki memiliki energi potensial gravitasi yang dapat dikonversi menjadi energi kinetik saat dialirkan ke bawah melalui pipa. Hal

serupa juga terjadi pada pesawat layang yang berada di ketinggian sebelum meluncur turun, memanfaatkan energi potensial gravitasi untuk mempertahankan gerakan tanpa mesin.



Gambar 10. 2. Energi Potensial Gravitasi

Jika kita perhatikan pada ilustrasi di gambar 10.2, kita dapat mengandaikan seorang pendaki yang membawa tas dengan massa m saat mendaki gunung hingga mencapai ketinggian h dari titik awal pendakiannya. Untuk membawa tas tersebut ke posisi lebih tinggi, diperlukan usaha yang setara dengan gaya gravitasi yang bekerja pada tas ($m.g$) dikalikan dengan ketinggian yang dicapai (h). Secara matematis, usaha yang dilakukan dalam proses ini dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$W = F \cdot s$$

Karena gaya gravitasi bekerja ke bawah, maka:

$$\begin{aligned} W &= m(-g)(s) \\ W &= -m(g)(h_2 - h_1) \end{aligned}$$

Tanda negatif dalam persamaan ini menunjukkan bahwa percepatan gravitasi selalu mengarah ke bawah. Oleh karena itu, energi potensial gravitasi suatu benda dapat dihitung dengan mengalikan berat benda dengan ketinggiannya terhadap suatu titik acuan:

$$EP = (m \cdot g \cdot h) \dots \dots \dots (10.7)$$

Dari persamaan tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa semakin jauh suatu benda dari titik acuan tertentu dalam arah vertikal, semakin besar jumlah energi potensial gravitasi yang tersimpan di dalamnya. Energi ini bergantung pada ketinggian objek dari bidang acuan yang digunakan. Seorang pendaki gunung yang mendaki ke puncak membawa perlengkapan dengan massa tertentu. Semakin tinggi ia mendaki, semakin besar energi potensial gravitasi yang tersimpan dalam tubuh dan perlengkapannya. Ketika ia turun dari puncak, energi potensial gravitasi tersebut akan berkurang seiring dengan konversinya menjadi energi kinetik.

Jika kita gabungkan 2 persamaan yang telah kita ketahui,

$$W = -mg(h_2 - h_1) \dots \dots \dots (10.8)$$

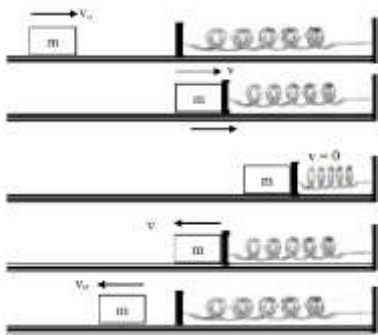
$$W = -(EP_2 - EP_1) \dots \dots \dots (10.9)$$

$$W = -\Delta EP \dots \dots \dots (10.10)$$

Dengan kata lain, jika sebuah benda berpindah posisi (h_1 ke h_2) dalam suatu medan gaya tertentu, energi potensialnya akan mengalami perubahan yang sebanding dengan usaha yang diberikan untuk memindahkannya. Misalnya, dalam konteks energi potensial elastis, ketika sebuah pegas diregangkan atau ditekan dari posisi keseimbangannya, energi yang tersimpan di dalamnya meningkat seiring dengan bertambahnya usaha yang dilakukan untuk mengubah panjang pegas. Hal serupa juga berlaku pada energi potensial listrik, di mana sebuah muatan listrik yang dipindahkan dalam medan listrik akan mengalami perubahan energi potensial sesuai dengan usaha yang diperlukan untuk menggerakkannya tanpa mempercepat muatan tersebut. Konsep ini memperjelas bahwa energi potensial tidak hanya terbatas pada gravitasi, tetapi juga berlaku dalam berbagai sistem fisika lainnya yang melibatkan gaya konservatif.

10.3.2 Energi Potensial Pegas

Energi potensial yang tersimpan dalam sebuah pegas dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu konstanta kekakuan pegas dan besar simpangan atau jaraknya dari posisi kesetimbangan. Semakin besar konstanta kekakuan pegas, semakin besar pula energi yang dapat disimpan dalam pegas tersebut. Selain itu, semakin jauh pegas diregangkan atau ditekan dari posisi keseimbangannya, semakin besar energi potensial elastis yang tersimpan di dalamnya.



Gambar 10. 3. Energi Potensial Pegas

Pada Gambar 10.3, diperlihatkan sebuah balok bermassa m yang bergerak di atas permukaan tanpa gesekan menuju sebuah pegas. Jika ditinjau dari sudut pandang transfer dan transformasi energi, sebelum menabrak pegas, balok memiliki energi kinetik sebesar $\frac{1}{2}mv^2$. Ketika balok menumbuk pegas, kecepatannya berkurang secara bertahap hingga akhirnya berhenti. Hal ini menunjukkan bahwa energi kinetik balok berkurang secara progresif sampai habis.

Saat menekan pegas, balok memberikan gaya sebesar $F = k(x - x^0)$ menyebabkan ujung pegas mengalami pergeseran. Energi yang ditransfer dari balok ke pegas dapat dihitung dengan persamaan:

$$W = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2 \dots \dots \dots (10.11)$$

Dengan demikian, energi kinetik balok sepenuhnya diubah menjadi energi potensial pegas, sehingga berlaku persamaan:

$$\frac{1}{2}mv^2 = W \frac{1}{2}k(x - x_0)^2$$

Pada saat balok mencapai keadaan diam, seluruh energi yang sebelumnya dimiliki oleh balok telah dipindahkan dan tersimpan dalam bentuk energi potensial elastis di dalam pegas. Energi ini dikenal sebagai energi potensial pegas, dengan besar yang sama seperti usaha yang dilakukan, yaitu:

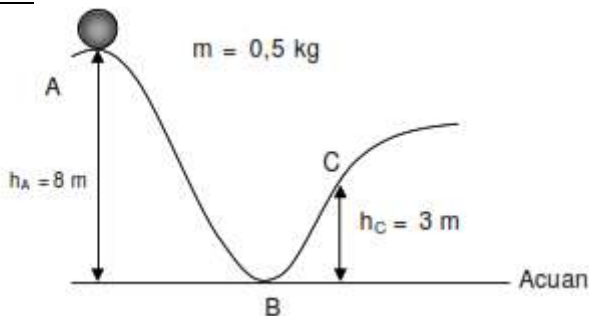
$$W = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2.$$

Contoh Soal

Sebuah bola dengan massa 500 gram bergerak sepanjang lintasan ABC, sebagaimana ditunjukkan dalam ilustrasi. Tentukan:

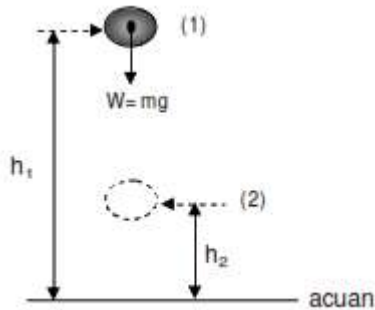
- Besarnya energi potensial bola di titik A dan B dengan acuan titik C.
- Perubahan energi potensial yang terjadi ketika bola berpindah dari titik A ke titik C.

Penyelesaian:



- $EP_A = mgh_A = 0.5 (10)(8) = 40 \text{ joule}$
 $EP_B = mgh_B = 0.5 (10)(0) = 0 \text{ joule}$
 $EP_C = mgh_C = 0.5 (10)(3) = 15 \text{ joule}$
- $\Delta EP = EP_A - EP_C = 40 - 15 = 25 \text{ Joule}$

10.4 Konsep Hukum Kekekalan Energi Mekanik



Gambar 10. 4. Konsep Hukum Kekelan Energi Mekanik

Mari kita tinjau sebuah benda dengan massa m yang berada pada ketinggian awal h_1 dan bergerak ke posisi akhir pada ketinggian h_2 , dengan acuan bidang horizontal sebagai titik nol energi. Perubahan posisi benda ini dipengaruhi oleh gaya gravitasi sebesar $W = mg$ yang bekerja sepanjang perpindahannya. Usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi tersebut berbanding lurus dengan perubahan energi potensial antara dua titik tersebut, yang dapat dirumuskan sebagai:

$$W = EP_2 - EP_1 = mg(h_2 - h_1) \dots \dots \dots (10.12)$$

Selain itu, apabila suatu benda memiliki kecepatan awal v_1 di titik awal dan kecepatan v_2 di titik akhir, maka kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi dapat dinyatakan sebagai perubahan energi kinetik yang dialami benda selama perpindahannya.

$$W = EK_2 - EK_1 = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) \dots \dots \dots (10.13)$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan di atas, diperoleh:

$$W = \left(\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \right) - \left(\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 \right) \dots \dots \dots (10.14)$$

Energi mekanik merupakan gabungan antara energi kinetik dan energi potensial yang dimiliki oleh suatu benda. Secara umum, perubahan energi mekanik ditentukan oleh jumlah usaha yang diberikan oleh berbagai gaya yang bekerja pada benda, dengan pengecualian gaya gravitasi.

Namun, dalam kasus khusus di mana satu-satunya gaya yang bekerja adalah gaya gravitasi, usaha total W menjadi nol, sehingga persamaannya menjadi:

$$\left(\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \right) = \left(\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 \right)$$

$$EM_1 = EM_2 \dots \dots \dots (10.15)$$

Hal ini menunjukkan bahwa dalam sistem tertutup tanpa gaya luar selain gravitasi, energi mekanik tetap konstan atau kekal sepanjang pergerakan benda.

Evaluasi

1. Seorang astronot di Bulan melemparkan batu dengan kecepatan awal 25 m/s secara vertikal. Jika percepatan gravitasi di Bulan hanya 1,63 m/s², tentukan:
 - a) Berapa ketinggian maksimal yang bisa dicapai batu?
 - b) Berapa waktu yang diperlukan batu agar bisa sampai di titik tertinggi?
2. Seekor burung kolibri terbang naik dari permukaan tanah dengan energi kinetik awal sebesar 2 Joule. Jika burung memiliki massa 0,005 kg dan energi totalnya tetap, berapa ketinggian maksimum yang dapat dicapai sebelum kecepatan burung menjadi nol? (Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$)
3. Sebuah meteor dengan massa 500 kg jatuh menuju atmosfer Bumi dari ketinggian 100 km di atas permukaan tanah. Hitung perubahan energi potensial meteor ketika turun dari ketinggian 100 km ke 50 km, dengan

- mengabaikan hambatan udara. (Gunakan percepatan gravitasi rata-rata $9,8 \text{ m/s}^2$)
4. Sebuah robot pembersih otomatis dengan massa 3 kg bergerak dari satu sisi ruangan ke sisi lain sejauh 2 meter. Robot tersebut didorong oleh gaya konstan 5 N. Jika lantai dianggap licin, tentukan kecepatan robot setelah berpindah 2 meter.
 5. Seorang pemain skateboard meluncur turun dari landasan miring dengan sudut kemiringan 30° . Jika ia memulai dari keadaan diam di ketinggian 2 meter dan gesekan diabaikan, tentukan kecepatan pemain skateboard saat mencapai dasar landasan.
 6. Sebuah drone dengan massa 2,5 kg melayang di udara sebelum mulai turun dengan kecepatan tetap 1,5 m/s. Jika motor drone dimatikan dan drone dibiarkan jatuh bebas, hitung:
 - a) Kecepatan drone setelah jatuh sejauh 5 meter.
 - b) Energi kinetik drone sebelum menyentuh tanah.
 7. Seekor katak melompat dari tanah dengan energi awal 1,2 Joule. Jika massa katak adalah 0,15 kg dan tidak ada gaya lain selain gravitasi yang bekerja, tentukan:
 - a) Ketinggian maksimum yang dapat dicapai katak.
 - b) Kecepatan katak saat mencapai separuh ketinggian maksimumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah Mikrajuddin, 2016, Fisika dasar 1, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Martin Kanginan, 2000. Fisika Smu. Jakarta . Penerbit Erlangga.
- Munasir, 2004. Modul Fis 10 Energi Kinetik dan Energi Potensial. Jakarta. Bagian Proyek Pengembangan Kurikulum di Rektorat Pendidikan Menengah Kejuruan di Rektorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional
- Sutrisno, 2010, Modul 5 Fluida, FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Supriyadi, 2019. Mata Pelajaran Fisika Usaha, Energi Dan Daya. Jakarta. Direktorat Pembinaan Guru Pendidikan Menengah Dan Pendidikan Khusus Direktorat Jenderal Guru Dan Tenaga Kependidikan Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan
- Tim SEQIP. (2007). Buku IPA Guru Kelas 5. Jakarta: Dirjen Dikdasmen Depdiknas.
- Tim Dosen Fisika Its, 2002. Fisika I . Surabaya. Penerbit Its.
- Tipler, P.A. (1998). Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.

BAB 11

TUMBUKAN

Oleh Nurul Fuadi

11.1 Pendahuluan

Dalam dunia teknik industri, proses yang melibatkan interaksi antara komponen mesin, alat produksi, maupun material sering kali memicu terjadinya tumbukan. Tumbukan adalah peristiwa di mana dua benda saling berinteraksi dalam waktu singkat, menghasilkan perubahan kecepatan, energi, dan momentum. Pemahaman yang mendalam tentang fenomena tumbukan menjadi esensial dalam merancang sistem yang lebih aman, efisien, serta mampu mengurangi dampak kerusakan akibat benturan.

Di industri manufaktur, pemilihan material yang tepat untuk bantalan, roda gigi, atau pelat logam sangat bergantung pada analisis tumbukan. Selain itu, dalam bidang logistik, desain pengemasan yang mempertimbangkan karakteristik tumbukan dapat mengurangi kerusakan barang selama proses pengiriman. Selain itu, simulasi tumbukan dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method, FEM*) juga menjadi alat penting untuk memprediksi deformasi material akibat benturan dan untuk mengoptimalkan desain produk.

Salah satu parameter penting dalam analisis tumbukan adalah koefisien restitusi, yang menggambarkan tingkat elastisitas tumbukan dan sejauh mana energi kinetik dipertahankan setelah terjadinya benturan. Dengan memanfaatkan nilai koefisien restitusi, para insinyur dapat menentukan karakteristik tumbukan yang terjadi dalam sistem produksi, seperti conveyor, robotik, maupun alat transportasi material. Tumbukan ini paling mudah untuk dianalisis, dan

menggambarkan banyak prinsip fisika yang terlibat dalam tumbukan. Analisis tumbukan dalam teknik industri melibatkan hukum kekekalan momentum, energi, dan sifat material untuk mengoptimalkan desain dan operasi. Prinsip kekekalan momentum sangat berguna di sini, dan dapat digunakan setiap kali gaya eksternal total sama dengan nol. Dengan memahami tumbukan, kita dapat meningkatkan efisiensi sistem produksi, mengurangi risiko kerusakan material atau komponen, memastikan keamanan dan keandalan sistem industri. Dengan memahami konsep tumbukan, teknik industri dapat terus berinovasi dalam menciptakan proses yang lebih efektif, meningkatkan daya tahan komponen, serta memastikan keselamatan kerja yang lebih baik dalam lingkungan produksi.

11.2 Momentum

Salah satu konsep penting dalam mempelajari fisika adalah memahami konsep momentum, suatu besaran yang merangkum kuantitas gerak dari benda dan membantu kita memahami bagaimana objek berinteraksi, bergerak, dan berubah akibat pengaruh gaya. Dalam mempelajari momentum, kita akan menemukan bahwa konsep ini erat kaitannya dengan Hukum Kedua Newton. Hukum ini menyatakan bahwa gaya yang bekerja pada suatu benda akan menyebabkan perubahan dalam gerak atau momentum benda tersebut. Gaya tidak hanya sekadar mempengaruhi kecepatan benda, tetapi juga massa dan arah pergerakannya. Konsep momentum menjadi jembatan untuk memahami bagaimana sebuah gaya memengaruhi objek dalam berbagai keadaan, mulai dari benda diam, bergerak dengan kecepatan konstan, hingga yang mengalami perubahan kecepatan.

Materi momentum menjelaskan banyak fenomena praktis dan teoretis. Melalui pemahaman yang kuat tentang momentum dan keterkaitannya dengan hukum gerak, kita akan dapat menyelami lebih dalam esensi dari banyak fenomena fisika dan bagaimana prinsip-prinsip ini dapat kita terapkan dalam dunia nyata, yang berperan penting dalam ilmu pengetahuan dan teknologi.

11.2.1 Momentum dan Hubungannya dengan Gaya

Momentum adalah besaran fisika yang menggambarkan jumlah gerak suatu benda yang bergerak dalam garis lurus. Momentum merupakan hasil kali antara massa benda dengan kecepatan benda tersebut. Momentum biasanya dinyatakan dengan simbol p . Satuan momentum dalam SI adalah $kg \cdot \frac{m}{s}$. Secara matematis, momentum dirumuskan sebagai:

$$p = m \cdot v \dots\dots\dots(11.1)$$

Di mana:

p adalah momentum (kg m/s),

m adalah massa benda (kg),

v adalah kecepatan benda (m/s).

Momentum bersifat vektor, artinya memiliki arah yang sama dengan kecepatan benda. Semakin besar massa atau kecepatan suatu benda, semakin besar pula momentumnya. Arah momentum adalah arah kecepatan, dan besar momentum adalah $p = m \cdot v$. Karena v bergantung pada kerangka acuan, maka kerangka ini harus ditentukan dulu. Momentum juga berkaitan erat dengan hukum kekekalan momentum, yang menyatakan bahwa total momentum suatu sistem tertutup akan tetap konstan jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem tersebut. Hukum kekekalan momentum berlaku pada berbagai jenis tumbukan.

Untuk merubah momentum diperlukan sebuah gaya, baik untuk menaikkan momentum, menurunkan atau untuk merubah arahnya. Pada awalnya ilmuwan Newton menyatakan hukum keduanya dalam bentuk momentum (hanya kuantitas gerak). Pernyataan Newton mengenai hukum Kedua Newton diterjemahkan sebagai:

“Laju perubahan momentum sebuah benda sama dengan gaya total yang diberikan padanya”

Kita dapat menuliskan pernyataan ini dalam persamaan

$$\sum \mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} \dots\dots\dots(11.2)$$

Dimana

$\sum F$ adalah gaya total yang diberikan kepada benda (N)

Δp adalah hasil perubahan momentum ($kg \cdot \frac{m}{s}$)

Δt adalah selang waktu terjadinya momentum (s)

Selanjutnya kita dapat menurunkan bentuk Hukum Kedua Newton, yaitu $\sum F = m \cdot a$, berdasarkan persamaan 11.2 untuk kasus massa konstan. Jika v_0 merupakan kecepatan awal benda dan v merupakan kecepatan benda setelah selang waktu Δt , maka

$$\begin{aligned}\sum F &= \frac{\Delta p}{\Delta t} \\ &= \frac{mv - mv_0}{\Delta t} = \frac{m(v - v_0)}{\Delta t} \\ &= m \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= m \cdot a \dots\dots\dots(11.3)\end{aligned}$$

11.3 Tumbukan dalam 1 dimensi

Tumbukan adalah interaksi singkat antara dua benda yang menghasilkan perubahan momentum atau energi kinetik. Tumbukan merupakan peristiwa di mana dua atau lebih benda bertemu dan saling memberi gaya satu sama lain dalam waktu yang sangat singkat, yang menyebabkan perubahan dalam momentum masing-masing benda. Kita mulai dengan tumbukan elastis dari dua benda yang bergerak di sepanjang garis yang sama-sebuah masalah satu dimensi. *Tumbukan elastis* adalah tumbukan yang juga menghemat energi kinetik internal. *Energi kinetik internal* adalah jumlah energi kinetik benda-benda di dalam sistem.

Tumbukan yang benar-benar elastis hanya dapat terjadi pada partikel subatomik, seperti elektron yang menumbuk inti. Tumbukan makroskopik bisa jadi hampir, tetapi tidak sepenuhnya, elastis-beberapa energi kinetik selalu diubah menjadi bentuk energi lain seperti perpindahan panas karena gesekan dan suara. Salah satu tumbukan makroskopik yang hampir elastis adalah tumbukan antara dua balok baja di atas es. Tumbukan lain yang hampir elastis adalah tumbukan antara dua gerobak dengan bumper pegas di atas lintasan udara.

Permukaan es dan lintasan udara hampir tidak memiliki gesekan, sehingga memungkinkan terjadinya tumbukan hampir elastis.

11.2.1 Jenis Tumbukan

1. Tumbukan Elastis Sempurna

Tumbukan elastis terjadi di mana energi kinetik total dari sistem tetap sama sebelum dan sesudah tumbukan. Pada tumbukan ini, tidak ada energi yang hilang akibat deformasi atau panas. Contoh: tumbukan antara bola biliar. Persamaan tumbukan lenting sempurna diberikan:

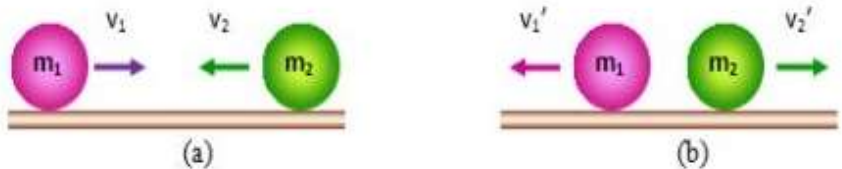
$$\begin{aligned} p_{\text{sebelum}} &= p_{\text{sesudah}} \\ mv_1 + mv_2 &= mv'_1 + mv'_2 \end{aligned} \quad (11.4)$$

Dimana

m adalah massa benda (kg)

v_1 dan v_2 adalah kecepatan benda sebelum tumbukan (m/s)

v'_1 dan v'_2 adalah kecepatan benda setelah tumbukan (m/s)



Gambar 11. 1. Ilustrasi Tumbukan Elastis Sempurna

2. Tumbukan Elastis Sebagian

Tumbukan elastis sebagian ketika sebagian energi kinetik hilang selama tumbukan, misalnya, energi berubah menjadi panas, suara, atau menyebabkan deformasi benda. Contoh: bola yang jatuh ke tanah dan tidak memantul setinggi sebelumnya, tumbukan material di jalur produksi yang menyebabkan deformasi pada material lunak.

Persamaan tumbukan elastis sebagian :

$$p_{sebelum} = p_{sesudah}$$
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad 11.5$$

Dimana v'_2 berkurang setelah terjadi tumbukan

$$v'_2 - v'_1 = e (v_1 - v_2)$$

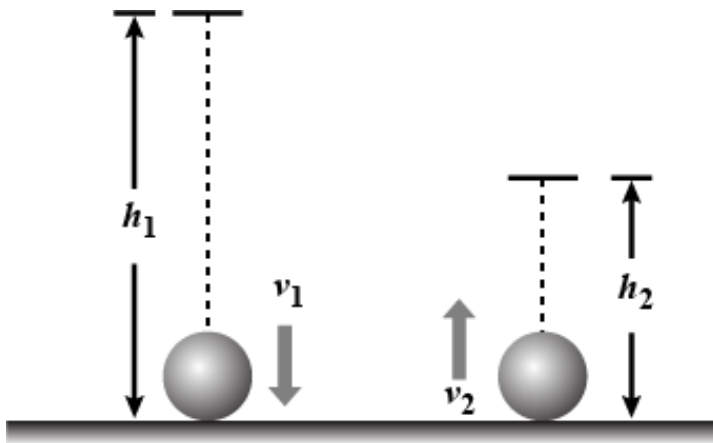
Dimana

m adalah massa benda (kg)

v_1 dan v_2 adalah kecepatan benda sebelum tumbukan (m/s)

v'_1 dan v'_2 adalah kecepatan benda setelah tumbukan (m/s)

e adalah koefisien restitusi



Gambar 11. 2. Ilustrasi Tumbukan Elastis Sebagian

3. Tumbukan Tidak Elastis Sama Sekali

Tumbukan tidak elastis adalah tumbukan yang terjadi ketika kedua benda yang bertabrakan menempel bersama dan bergerak sebagai satu benda setelah tumbukan. Benda-benda bergabung menjadi satu setelah tumbukan. Pada tumbukan ini kehilangan energi kinetik mencapai maksimum. Contoh: Pengelasan gesek (*friction welding*) dimana logam- logam yang ditekan bersama

akan menghasilkan deformasi permanen, selanjutnya pada proses pengepresan logam (*extrusion*) dimana logam ditekan hingga mengalir dalam cetakan.

Persamaan dari ilustrasi tumbukan tidak elastis sama sekali diberikan

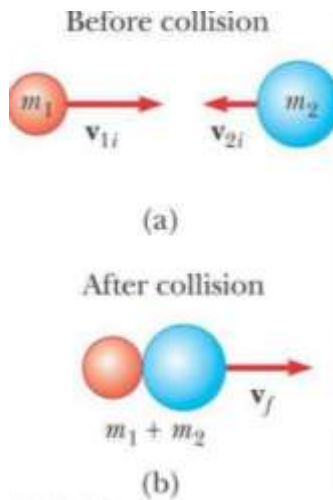
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \quad (11.6)$$

Dimana:

(m_1 dan m_2) adalah massa benda pertama dan benda kedua (kg)

(v_1 dan v_2) adalah kecepatan benda pertama dan benda kedua (m/s)

v' adalah kecepatan gabungan setelah tumbukan (m/s)



Gambar 11. 3. Ilustrasi Tumbukan Tak Elastis Sama Sekali

Salah satu konsep yang menunjukkan aplikasi tumbukan tak elastis sama sekali yaitu pada forging, sebuah palu berat (*hammer*) atau mesin press menumbuk benda kerja logam yang diam (biasanya billet logam) hingga kedua benda bergerak bersama atau menyatu dalam deformasi plastis. Tidak ada pemantulan dari tumbukan ini karena energi kinetik sebagian

besar diubah menjadi panas dan deformasi permanen pada logam.

11.3 Koefisien Restitusi (e)

Koefisien restitusi adalah suatu bilangan tanpa satuan yang menyatakan tingkat elastisitas sebuah tumbukan antara dua benda. Koefisien ini menggambarkan perbandingan antara kecepatan relatif benda setelah tumbukan dan sebelum tumbukan. Koefisien restitusi yang disimbolkan e merupakan sebuah nilai yang menggambarkan sejauh mana energi kinetik yang hilang saat dua benda bertumbukan dapat dipulihkan setelah tumbukan tersebut. Koefisien ini menunjukkan seberapa elastis sebuah tumbukan antara dua benda. Nilai koefisien restitusi berkisar antara 0 hingga 1.

$e = 1$: Tumbukan elastis sempurna.

$0 < e < 1$: Tumbukan elastis sebagian.

$e = 0$: Tumbukan tidak elastis sama sekali.

Koefisien restitusi dapat diilustrasikan pada pantulan bola, bayangkan sebuah bola pimpong dijatuhkan dari ketinggian h_1 di atas permukaan lantai. Setelah bola pimpong menumbuk lantai, maka bola pimpong akan terpantul dengan ketinggian h_2 dan terpantul lagi dengan ketinggian h_3 dan terpantul lagi dengan ketinggian h_4 seterusnya. Dimana $h_4 < h_3 < h_2 < h_1$. Koefisien restitusi tumbukan bola tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2} \quad (11.7)$$

Dimana

v_1 dan v_2 : Kecepatan awal benda 1 dan benda 2 sebelum tumbukan.

v_1' dan v_2' : Kecepatan akhir benda 1 dan benda 2 setelah tumbukan.

Dalam bidang teknik industri, konsep koefisien restitusi penting untuk menganalisis interaksi antar komponen mekanis, efisiensi proses produksi, serta perancangan alat dan mesin. Sebagai contoh:

1. Desain Sistem Penyortiran Produk

Pada conveyor belt dengan mekanisme tumbukan untuk memisahkan produk, nilai koefisien restitusi dapat menentukan arah dan jarak pantulan produk setelah tumbukan dengan deflektor.

2. Pemodelan Robot Industri

Robot yang memindahkan benda keras di jalur produksi harus memperhitungkan koefisien restitusi untuk menentukan gaya tumbukan dan meminimalkan kerusakan.

3. Perancangan Kemasan dan Pelindung Produk

Kemasan dirancang untuk mengurangi gaya tumbukan selama transportasi, sehingga material dengan koefisien restitusi rendah digunakan untuk menyerap energi tumbukan.

4. Pengujian Material di Industri Otomotif

Dalam simulasi kecelakaan (*crash testing*), koefisien restitusi digunakan untuk mengevaluasi sifat elastis material seperti bumper kendaraan dan bagian bodi.

5. Pengemasan dan Transportasi Material

Untuk bahan seperti botol kaca di conveyor, nilai koefisien restitusi membantu menentukan bantalan atau pelindung untuk mencegah kerusakan.

6. Analisis Bahan dan Struktur

Nilai koefisien digunakan untuk memilih bahan yang sesuai, misalnya logam untuk tumbukan elastis atau bahan lunak untuk menyerap tumbukan (seperti busa atau karet).

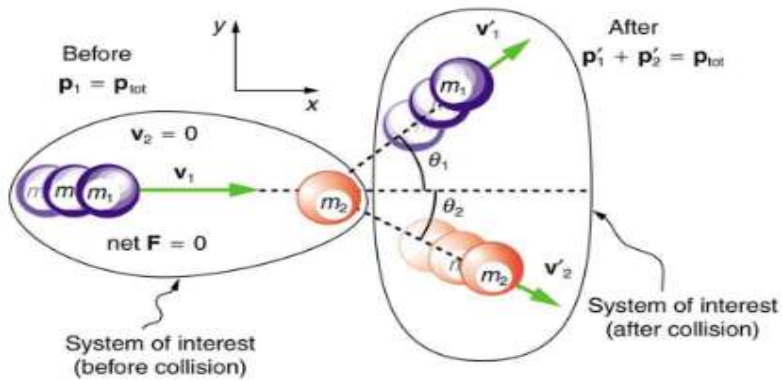
11.4 Tumbukan pada Dua atau Tiga Dimensi

Kekekalan momentum dan energi juga bisa diterapkan pada tumbukan dua atau tiga dimensi merupakan perluasan dari analisis satu dimensi yang telah dibahas sebelumnya. Pendekatan yang dilakukan (mirip dengan pendekatan dalam membahas kinematika dan dinamika dua dimensi) yaitu memilih sistem koordinat yang sesuai dan menyelesaikan gerakan ke dalam komponen-komponen di sepanjang sumbu tegak lurus. Menyelesaikan gerakan menghasilkan sepasang

masalah satu dimensi yang harus diselesaikan secara bersamaan.

Salah satu contoh yang muncul dalam tabrakan dua dimensi adalah bahwa benda-benda tersebut dapat berotasi sebelum atau sesudah tabrakan. Kita tidak akan mempertimbangkan rotasi seperti itu sampai nanti, jadi untuk saat ini kita mengatur segala sesuatunya agar tidak ada rotasi yang mungkin terjadi. Untuk menghindari rotasi, kita hanya mempertimbangkan hamburan **massa titik**-yaitu partikel tak berstruktur yang tidak dapat berotasi atau berputar.

Asumsikan bahwa $F_{\text{net}} = 0$, sehingga momentum p tetap terjaga. Tumbukan yang paling sederhana adalah tumbukan yang salah satu partikelnya pada awalnya diam. (lihat gambar 11.4). Pilihan terbaik untuk sistem koordinat adalah sistem koordinat yang memiliki sumbu yang sejajar dengan kecepatan partikel yang datang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.4. Karena momentum dikekalkan, komponen momentum sepanjang sumbu x dan y juga akan menjadi kekal juga, tetapi dengan sistem koordinat yang dipilih, p_y pada awalnya nol dan p_x adalah momentum partikel yang datang. Kedua fakta tersebut dapat menyederhanakan analisis. (Bahkan dengan asumsi penyederhanaan massa titik, satu partikel yang awalnya diam, dan sistem koordinat yang sesuai, kita masih mendapatkan wawasan baru tentang alam dari analisis tumbukan dua dimensi)



Gambar 11. 4. Ilustrasi Bola Billiar 1 Bertumbukan dengan Bola Billiar 2. Mereka Berpencar Setelah Tumbukan engan Momentum p'_1 Dan p'_2 dengan Membentuk Sudut θ'_1 dan θ'_2 .

Tumbukan dua dimensi dengan sistem koordinat yang dipilih sehingga m_2 mula-mula diam dan v_1 sejajar dengan sumbu- x . Sistem koordinat ini kadang-kadang disebut sistem koordinat laboratorium, karena banyak eksperimen hamburan yang memiliki target yang diam di laboratorium, sementara partikel-partikel dihamburkan darinya untuk menentukan partikel-partikel yang membentuk target dan bagaimana mereka terikat bersama. Partikel-partikel tersebut mungkin tidak dapat diamati secara langsung, tetapi kecepatan awal dan akhirnya dapat diketahui.

Gambar 11.4 menunjukkan bola billar 1 (m_1) berjalan sepanjang sumbu X menuju bola billar 2 (m_2), yang awalnya diam. Ketika bola billar m_1 menabrak bola bilyar m_2 mereka akan berpencar dengan membentuk sudut θ'_1 dan θ'_2 , berturut-turut yang diukur relatif terhadap arah awal m_1 dan (pada sumbu x). dengan menerapkan hukum kekekalan momentum pada tumbukan yang terjadi pada gambar 11.4. Kita pilih bidang xy sebagai bidang dimana momentum awal dan akhir berada. Karena momentum merupakan vektor, dan sifatnya kekal, maka komponen-komponennya pada arah x dan y tetap konstan. Gambaran bola billiar ini diasumsikan sebagai partikel-partikel yang mungkin mulai berbelok sebelum

bersentuhan jika ada gaya listrik, magnet atau nuklir yang bekerja pada mereka.

Pada arah x diberikan

$$p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x} \tag{11.8}$$

atau

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 \cos \theta'_1 + m_2 v_2 \cos \theta'_2 \tag{11.9}$$

Dimana p_x kekal.

Karena pada awalnya tidak ada gerak pada arah y, maka komponen y dari momentum total adalah nol:

$$p_{1y} + p_{2y} = p'_{1y} + p'_{2y} \tag{11.10}$$

$$\text{atau } 0 = m_1 v'_1 \sin \theta'_1 + m_2 v_2 \sin \theta'_2 \tag{11.11}$$

Kekekalan momentum sepanjang sumbu x dan sumbu y sangat berguna dalam menganalisis tumbukan dua dimensi partikel, di mana salah satu partikel awalnya diam. Namun, dua persamaan hanya dapat digunakan untuk menemukan dua hal yang tidak diketahui, sehingga data lain mungkin diperlukan ketika eksperimen tumbukan digunakan untuk mengeksplorasi alam pada tingkat subatomik.

11.4 Hubungan Energi Kinetik Terhadap Tumbukan

Pada peristiwa tumbukan, energi kinetik dapat kekal, hal ini terjadi pada tumbukan elastis atau energi kinetiknya berkurang, ini terjadi pada tumbukan tidak elastis. Pada tumbukan sempurna tidak elastis, sebagian besar energi kinetik hilang, tetapi momentum linier tetap kekal. Perubahan energi kinetik bergantung pada sifat-sifat tumbukan dan benda-benda yang bertumbukan. Energi kinetik pada tumbukan adalah energi yang dimiliki oleh benda-benda yang bergerak dan bertabrakan. Ada dua jenis utama tumbukan: tumbukan elastis dan tumbukan tidak elastis, yang mempengaruhi perubahan energi kinetik.

Energi kinetik (KE) adalah energi yang dimiliki oleh benda karena geraknya, dirumuskan sebagai:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2(11.12)$$

dimana:

KE adalah energi kinetik (Joule)

m adalah massa benda (kg)

v adalah kecepatan (m/s)

Dalam tumbukan, energi kinetik sistem dapat berubah tergantung pada jenis tumbukan. Hukum kekekalan energi kinetik hanya berlaku pada tumbukan tertentu. Berikut perubahan energi kinetik berdasarkan jenis tumbukan:

11.4.1 Energi Kinetik pada Tumbukan Elastis

Dalam tumbukan, energi kinetik dapat kekal, hal ini terjadi pada tumbukan tidak elastis. Pada tumbukan tidak elastis, sebagian besar energi kinetik hilang, tetapi momentum linier tetap kekal. Perubahan energi kinetik bergantung pada sifat-sifat tumbukan dan benda-benda yang bertumbukan. Pada tumbukan elastis, energi kinetik total sistem sebelum dan sesudah tumbukan tetap sama. Tidak ada energi kinetik yang hilang atau berubah menjadi bentuk energi lain seperti panas atau suara. Ini terjadi, misalnya, pada tumbukan antar partikel gas ideal atau bola biliar.

Pada tumbukan elastik sempurna berlaku hukum kekekalan energi kinetik:

$$E_{\text{kinetik total sebelum}} = E_{\text{kinetik total setelah}}$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 \dots\dots\dots(11.13)$$

Pada tumbukan elastis, jumlah energi kinetik dari semua benda yang bertumbukan sebelum tumbukan sama dengan jumlah energi kinetik setelah tumbukan.

11.4.2 Energi Kinetik pada Tumbukan Tidak Elastis (Elastis Sebagian)

Pada tumbukan elastis sebagian, energi kinetik total tidak kekal. Sebagian energi kinetik hilang atau berubah menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara, atau energi deformasi. Meskipun momentum linier sistem tetap kekal, energi kinetik sebelum tumbukan lebih besar daripada energi kinetik setelah tumbukan.

Pada tumbukan tidak elastis (elastis sebagian), energi kinetik setelah tumbukan berkurang:

$$E_{k\ total\ sebelum} > E_{k\ total\ sesudah}$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 + \text{energi panas dan bentuk lainnya.....(11.14)}$$

Energi yang hilang dalam tumbukan tak elastis (elastis sebagian) biasanya diserap oleh deformasi benda atau berubah menjadi panas atau suara. Contohnya, ketika dua mobil bertabrakan, energi kinetik yang hilang menyebabkan mobil penyok dan menghasilkan suara keras.

11.4.3 Energi Kinetik pada Tumbukan Tidak Elastis Sama Sekali

Pada tumbukan sempurna tidak elastis, energi kinetik yang hilang mencapai maksimum. Kedua benda menempel dan bergerak bersama setelah tumbukan. Dalam jenis tumbukan ini, energi kinetik yang hilang lebih besar dibandingkan dengan tumbukan tidak elastis biasa (energi kinetik total tidak kekal), tetapi momentum tetap kekal.

Dalam teknik industri aplikasi energi kinetik pada tumbukan elastis dan tidak elastis dapat dilihat pada contoh saat lengan robot bertumbukan dengan benda kerja, energi kinetik yang hilang diperhitungkan untuk menganalisis deformasi benda atau kerusakan robot. Dan saat pengepresan dan pemotongan material dalam proses stamping atau pemotongan, energi kinetik dari alat pemotong dihitung untuk memastikan energi yang cukup untuk membentuk atau memotong material tanpa kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sa'diyah S. et.al. 2022. *Fisika Dasar pada Industri, edisi :1*. Padang : PT.Global Eksekutif Teknologi.
- Giancoli, C.D. 1998. *Fisika, edisi kelima, jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D. Resnick, R. dan Walker,J. 2014. *Fundamentals of Physics (10th)*. John Willey & Sons, Inc.
- Young, D. F. dan Freeman, R.A. 2014. *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics (14th ed.)*. Pearson Education, Inc.

BAB 12

ELASTISITAS DAN HUKUM HOOKE

Oleh Aji Saputra

12.1 Elastisitas

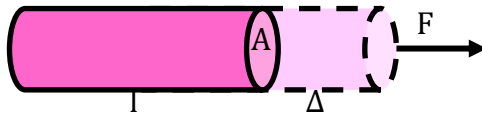
Sifat elastis merupakan karakteristik bahan yang cenderung kembali ke bentuk awalnya setelah gaya luar yang mempengaruhi objek tersebut hilang. Misalnya sebuah pegas yang diregangkan akan tampak pegas tersebut bertambah panjang. Namun, ketika gaya tersebut dihilangkan, pegas kembali ke ukuran awalnya. Di sisi lain, saat pegas ditekan dari kedua sisinya, panjang pegas akan berkurang. Namun, setelah gaya tekan dihilangkan pegas tersebut akan kembali ke ukuran awal. Karakteristik pegas yang dapat kembali ke kondisi awal setelah gaya luar yang bekerja dihilangkan disebut sifat elastis (Giancoli, 2016).

Pegas tidak dapat ditarik terlalu panjang karena apabila ditarik melebihi batasnya bisa jadi setelah tarikan dilepas panjang pegas akan menjadi melebihi panjang awalnya. Demikian pula jika pegas ditekan terlalu jauh melebihi batasnya bisa jadi setelah tekanan dilepas panjang pegas menjadi lebih pendek dari panjang awalnya. Kondisi ini disebut pegas sudah melewati batas elastisitasnya (Abdullah, 2016).

Sifat elastis tidak hanya dimiliki oleh pegas, namun juga dimiliki benda lain seperti karet, besi, aluminium bahkan beton cor dan juga bahan lainnya memiliki sifat elastis. Hal yang membedakan sifat elastis adalah mudah tidaknya benda atau bahan diubah-ubah ukurannya. Benda yang lebih mudah diubah ukurannya dianggap lebih elastis. Perbedaan bahan berdasarkan sifat elastisnya didefinisikan dengan besaran modulus Young.

12.2 Modulus Young

Modulus Young juga disebut modulus elastisitas yang merupakan perbandingan antara tegangan (*stress*) dengan regangan (*strain*). Untuk memahami konsep modulus elastisitas, perhatikan Gambar 12.1 di bawah. Asumsikan ada sebuah karet dengan luas penampang A , panjang l_0 dan ditarik dengan gaya sebesar F . Karet tersebut akan bertambah panjang sebesar Δl selama gaya diberikan. Tegangan dan regangan terjadi bersamaan pada kondisi tersebut.



Gambar 12. 1. Karet Elastis yang Ditarik

(Sumber: Dok. Pribadi)

Tegangan (*stress*) merupakan gaya tiap satuan luas penampang. Simbol tegangan adalah σ dengan satuan N/m^2 . Secara matematis dituliskan sebagai berikut:

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

F = gaya tarik/gaya tekan (N)

A = luas permukaan (m^2)

σ = stress (N/m^2)

Regangan (*strain*) merupakan perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awalnya saat pegas dikenai gaya. Simbol regangan adalah ε dan tanpa satuan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

ε = regangan

Δl = perubahan panjang (m)

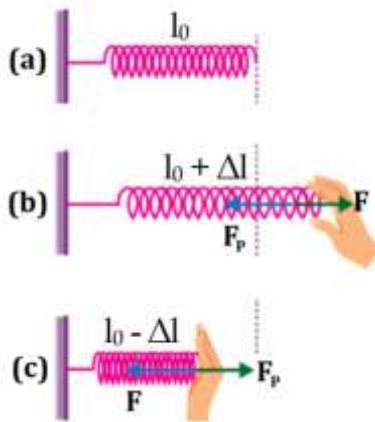
l_0 = panjang awal (m)

Dari kedua rumus diatas maka modulus Young secara matematis dapat dituliskan sebagi berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

12.3 Hukum Hooke

Hukum Hooke berbunyi, "Gaya yang diberikan pada suatu bahan elastis berbanding lurus dengan pertambahan panjang bahan tersebut selama masih berada dalam batas kelenturan (batas Hukum Hooke)." Kita tinjau pegas yang dipasang horisontal dengan sisi kiri dikaitkan pada tembok seperti pada Gambar 12.2. Asumsikan massa pegas diabaikan dan tidak ada gesekan.



Gambar 12. 2. (a) Pegas dalam Kondisi Setimbang; (b) Pegas yang Ditarik Memanjang; (c) Pegas yang Ditekan Memendek.

(Sumber: Dok. Pribadi)

Pada Gambar 12.2 bagian (a) pegas dalam kondisi setimbang dengan panjang awal l_0 dan tidak dikenai gaya. Bagian (b) pegas ditarik dengan gaya F sehingga mengalami penambahan panjang sebesar Δl . Pada bagian (b) ini terdapat Gaya F_p yang arahnya ke kiri berlawanan dengan arah tarikan F ke kanan. Gaya F_p ini disebut gaya pemulih, yang mana saat pegas ditarik ke kanan kita akan merasakan gaya dari pegas yang cenderung memulihkan dirinya ke arah yang berlawanan dengan gaya tarikan. Bagian (c) pegas ditekan dengan gaya F sehingga mengalami pengurangan panjang sebesar Δl . Pada bagian (b) juga terdapat Gaya F_p yang arahnya ke kanan berlawanan dengan arah gaya tekan F .

Gaya pemulih dapat didefinisikan sebagai gaya yang memiliki arah berlawanan dengan arah perpindahan sehingga membuat pegas atau bahan elastis lain cenderung kembali ke posisi setimbangnya. Besar gaya pemulih F_p berbanding lurus dengan arah perubahan panjang dari pegas yang ditarik maupun ditekan dari posisi setimbang (Halliday, Walker and Resnick, 2018). Dengan demikian secara matematis hukum Hooke dapat ditulis:

$$F = -k \cdot \Delta l$$

F = gaya pegas (N)

k = konstanta pegas (N/m)

Δl = perubahan panjang (m)

Tanda (-) pada rumus hukum Hooke menjelaskan adanya gaya pemulih yang berlawanan dengan arah perpindahan/perubahan panjang. Selanjutnya konstanta pegas (k) merupakan besaran fisik yang menentukan tingkat kekakuan pegas. Konstanta pegas dapat didefinisikan juga dengan besarnya gaya yang dibutuhkan agar terjadi perubahan panjang sebesar satu satuan panjang (Bahtiar, 2017).

Konstanta pegas masih berkaitan dengan modulus Young. Setiap bahan memiliki modulus elastisitas masing-masing sehingga jenis bahan mempengaruhi juga konstanta pegas. Berikut penjabaran rumusnya.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{F}{A} \cdot \frac{l_0}{\Delta l}$$

$$\frac{E \cdot A \cdot \Delta l}{l_0} = F$$

$$F = \left(\frac{E \cdot A}{l_0} \right) \cdot \Delta l$$

Pada persamaan di atas terlihat mirip dengan rumus hukum Hooke sehingga konstanta pegas (k) memenuhi persamaan berikut.

$$k = \frac{E \cdot A}{l_0}$$

Beberapa variabel yang memengaruhi konstanta pegas diantaranya: modulus Young, luas penampang dan panjang awal. Dari rumus ini dapat kita pahami bahwa konstanta pegas bersifat konstan ketika variabel yang ada di dalamnya pun dalam kondisi konstan.

Studi kasus 1

Sebuah pegas dengan konstanta k terbuat dari bahan yang memiliki modulus Young E , luas penampang A dan panjang awalnya l_0 . Apa yang terjadi pada konstanta pegas jika pegas tersebut dipotong menjadi 2 bagian sama panjang?

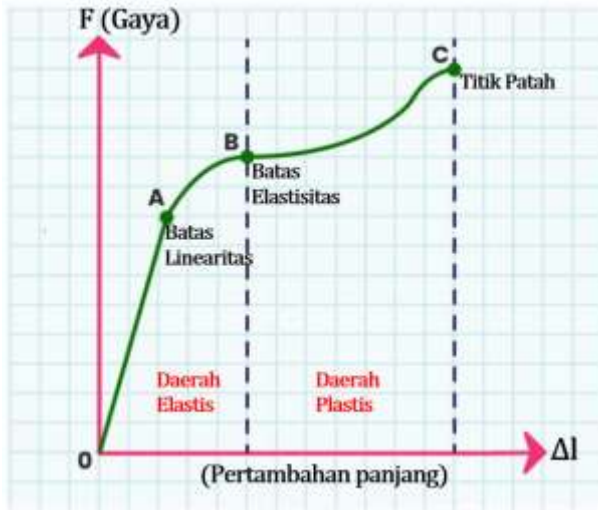
Saat dipotong menjadi 2 bagian maka $l' = \frac{1}{2} l_0$. Mari kita bandingkan untuk mengetahui konstanta pegas setelah dipotong.

$$\begin{aligned}\frac{k'}{k} &= \frac{\frac{E \cdot A}{\frac{1}{2} l_0}}{\frac{E \cdot A}{l_0}} \\ \frac{k'}{k} &= 2 \\ k' &= 2k\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perbandingan di atas diperoleh hasil k' menjadi bernilai 2 kali lipat sebelumnya sehingga dapat disimpulkan saat pegas dipendekkan maka konstanta pegasnya akan bertambah.

12.4 Hubungan Gaya dengan Perubahan Panjang

Besar gaya yang dapat diberikan pada pegas memiliki batas tertentu. Jika gaya terlalu besar maka yang terjadi regangan pada pegas juga sangat besar dan dapat mengakibatkan pegas patah (Serway and Jewett, 2019). Hubungan antara gaya dan perubahan panjang beserta titik batas pegas diuraikan dalam grafik yang ada pada Gambar 12.3.



Gambar 12. 3. Hubungan Gaya dengan Pertambahan Panjang

(Sumber: Dok. Pribadi)

Garis yang menghubungkan titik OA merupakan garis lurus dan terletak pada daerah elastis. Hukum Hooke berlaku pada garis OA ini dimana F dan Δl berbanding lurus. Batas linearitas merupakan batas akhir hukum Hooke berlaku karena jika pegas diberi gaya melebihi batas ini maka gaya dengan pertambahan panjang tidak linear lagi. Daerah elastis berarti selama masih berada dalam daerah ini pegas masih bisa kembali ke bentuk awal.

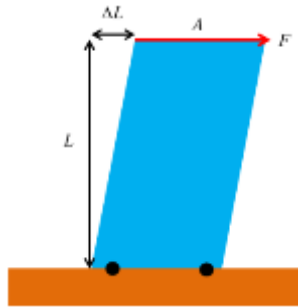
Garis AB berada dalam daerah elastis namun tidak linear. Pada kondisi ini pegas masih bisa kembali ke bentuk awal saat gaya dihilangkan karena masih berada di dalam daerah elastis. Namun sudah tidak berlaku hukum Hooke $F = -k \cdot \Delta l$.

Garis BC terletak pada daerah plastis. Daerah plastis berarti pegas sudah tidak bisa kembali ke bentuk awal meskipun gaya tarik maupun tekan dihilangkan. Daerah ini menandakan kalau elastisitas pegas sudah terlampaui. Kondisi ini seperti saat kita mencoba menarik karet terlalu kuat hingga ketika tarikan dilepas karet sudah dalam kondisi kendur.

Titik C merupakan titik patah. Titik ini merupakan batas kekuatan pegas karena saat gaya diberikan mencapai titik ini maka pegas akan patah. Benda elastis dapat berubah sifatnya menjadi plastis bahkan patah atau hancur tergantung seberapa besar gaya yang diberikan.

12.5 Modulus Geser

Selain perubahan panjang, gaya juga bisa menyebabkan perubahan bentuk benda. Misalkan sebuah balok karet yang sisi bagian bawahnya dilengketkan di atas meja dan pada sisi bagian atas didorong dengan gaya yang menyinggung permukaan karet seperti pada Gambar 12.4. Apa yang terjadi? Balok karet tersebut menjadi miring dengan sisi bagian atas bergeser. Besarnya perubahan bentuk pada benda bergantung pada jenis bahannya. Untuk membedakan respon benda terhadap gaya geser maka didefinisikan sebuah besaran yang kemudian disebut modulus geser. Makin besar modulus gesernya maka semakin sulit benda untuk berubah bentuk.



Gambar 12. 4. Balok Karet yang Didorong Bagian Atasnya

Sumber: (Abdullah, 2016)

Modulus geser disimbolkan G dengan satuan N/m^2 dan merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan.

$$G = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$G = \frac{F}{A} \cdot \frac{L}{\Delta L}$$

$$\frac{G \cdot A \cdot \Delta L}{L} = F$$

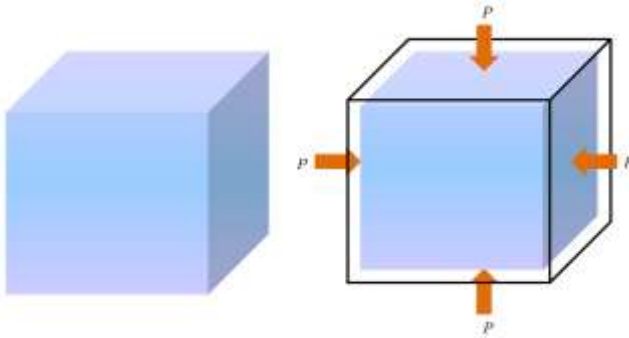
$$F = \left(\frac{G \cdot A}{L} \right) \cdot \Delta L$$

Dengan demikian konstanta pegas pada modulus geser dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$k = \frac{G \cdot A}{L}$$

12.6 Modulus Bulk

Modulus Bulk adalah modulus yang berkaitan dengan tekanan hidrostatik dan perubahan volume. Benda yang ditekan dari segala sisi menyebabkan volume benda akan berkurang seperti pada Gambar 12.5. Hasil pengamatan dari beberapa eksperimen diperoleh hasil bahwa pengurangan volume ΔV berbanding lurus dengan volume semula dan perubahan tekanan yang diberikan.



Gambar 12. 5. Sebuah Benda yang Ditekan dari Segala Sisi

Sumber: (Abdullah, 2016)

$$B = -V_0 \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

B = modulus Bulk (N/m^2)

V_0 = volume awal (m^3)

ΔP = perubahan tekanan (N/m^2)

ΔV = perubahan volume (m^3)

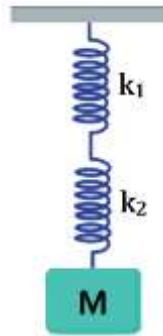
Modulus Volume (Modulus Bulk) disimbolkan B . Tanda negatif pada rumus menjelaskan bahwa semakin besar perubahan tekanan yang diberikan pada benda maka semakin kecil volume akhir benda atau. Nilai B selalu positif.

12.7 Susunan Pegas

Pada penerapan konsep elastisitas di kehidupan nyata kadang memerlukan lebih dari satu bahan yang disusun sedemikian rupa dengan cara tertentu untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Bagaimana cara menentukan konstanta pegas pengganti dari susunan bahan-bahan tersebut? Disini akan membahas susunan bahan secara seri dan paralel.

Susunan Seri

Pegas dengan susunan seri dirangkai secara berurutan dan berderet. Susunan seri bertujuan untuk memperkecil nilai konstanta pegas sehingga pertambahan panjang pegas menjadi lebih besar.



Gambar 12. 6. Pegas susunan seri

(Sumber: Dok. Pribadi)

Konstanta pegas pengganti

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

Apabila ada susunan n pegas, maka konstanta pegas penggantinya

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$$

Pada susunan pegas seri, setiap pegas akan mengalami gaya yang sama, sehingga gaya yang diterima setiap pegas sama dengan gaya total yang diberikan pada rangkaian pegas. Pada Gambar 11.6 gaya total pada rangkaian adalah $F_{\text{total}} = M \cdot g$, sehingga berlaku

$$F_1 = F_2 = F_{total} = M \cdot g$$

Sedangkan pada pertambahan panjang pegasnya berlaku

$$\Delta l_{total} = \Delta l_1 + \Delta l_2$$

k_1 = konstanta pegas 1

k_2 = konstanta pegas 2

k_s = konstanta pegas pengganti susunan seri

F_1 = gaya yang bekerja pada pegas 1

F_2 = gaya yang bekerja pada pegas 2

F_{total} = gaya total pada rangkaian pegas

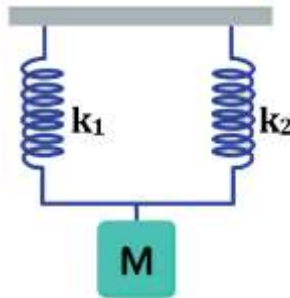
Δl_1 = pertambahan panjang pada pegas 1

Δl_2 = pertambahan panjang pada pegas 2

Δl_{total} = pertambahan panjang total pada rangkaian pegas

Susunan Paralel

Pegas dengan susunan paralel dirangkai secara berdampingan. Susunan paralel bertujuan untuk memperbesar konstanta pegas sehingga pertambahan panjang pegas menjadi lebih kecil.



Gambar 12. 7. Pegas Susunan Paralel

(Sumber: Dok. Pribadi)

Konstanta pegas pengganti

$$k_p = k_1 + k_2$$

Apabila terdapat susunan n pegas, maka konstanta pegas penggantinya

$$k_p = k_1 + k_2 + \dots + k_n$$

Pada susunan pegas paralel, setiap pegas akan mengalami gaya yang berbeda dan hasil penjumlahan gaya yang diterima

setiap pegas sama dengan gaya total pada rangkaian pegas. Pada Gambar 12.7 gaya total pada rangkaian adalah $F_{\text{total}} = M \cdot g$, sehingga berlaku

$$F_1 + F_2 = F_{\text{total}} = M \cdot g$$

Sedangkan pada pertambahan panjang pegasnya berlaku

$$\Delta l_{\text{total}} = \Delta l_1 = \Delta l_2$$

Latihan Soal

1. Kawat baja berdiameter 2 mm dan panjangnya 10 m digunakan pada sebuah proyek pembangunan gedung kuliah bersama di Universitas. Kawat baja tersebut digunakan untuk menggantung material yang massanya 10,0 kg. Apabila modulus Young kawat baja adalah $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, tentukan pertambahan panjang kawat dan konstanta pegasnya!
2. Cairan dalam wadah silinder volumenya 1 L pada tekanan 1 atm. Berapa perubahan volume cairan saat diberi tekanan 100 atm? Modulus Bulk cairan sebesar $21 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
3. Kawat berbahan kuningan panjangnya 2 m disambung dengan kawat berbahan baja yang panjangnya 3 m. Jari-jari kawat kuningan sebesar 1 mm dan jari-jari kawat baja sebesar 0,75 mm. Tentukan pertambahan panjang pada masing-masing kawat! Jika sambungan kawat digunakan untuk menggantung material 10,0 kg. (Modulus Young kuningan $E = 10^{11} \text{ N/m}^2$ dan modulus Young baja $E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2016) *Diktat Kuliah Fisika Dasar I*. 2nd edn. Bandung: ITB Press.
- Bahtiar (2017) *Pengantar Fisika Dasar 1*. Mataram: LP2M UIN Mataram.
- Giancoli, D.C. (2016) *Physics (Principles With Applications) (5th ed.)*. United State of America: Prentice-Hall International.
- Halliday, D., Walker, J. and Resnick, R. (2018) *Fundamentals of Physics (Extended 10th Edition)*. United State of America: Wiley.
- Serway, R.A. and Jewett, J.W. (2019) *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (10th Edition)*. Boston: Cengage Learning.

BAB 13

GELOMBANG MEKANIK

Oleh Amirin Kusmiran

13.1 Pendahuluan

Gelombang merupakan fenomena yang tak lepas dari kehidupan sehari-hari, misalnya suara guntur, petir, benda yang jatuh ke permukaan air, komunikasi radio, dan lain-lain. Konsep gelombang banyak juga dimanfaatkan untuk mengetahui fenomena-fenomena alam lainnya, seperti Gempa bumi. Mengingat peranan gelombang yang sangat signifikan, peneliti terus mengeksplorasi informasi-informasi yang terdapat di dalam gelombang. Sebagai contoh, gelombang ultrasonik yang merupakan gelombang dengan frekuensi tinggi. Gelombang ini bersifat non destruktif (NDT) yang digunakan untuk mendeteksi cacat internal pada material logam, plastik, dan material komposit. Gelombang memainkan peran krusial dalam berbagai aspek teknik industri, mulai dari pengujian material hingga komunikasi data dan pengolahan energi. Pemahaman dan penerapan gelombang memungkinkan peningkatan efisiensi, keamanan, dan inovasi dalam proses industri.

Gelombang mekanik adalah fenomena fisika yang melibatkan perambatan energi melalui medium atau ruang. Medium rambatan gelombang yang dimaksud adalah medium cair, udara, dan padat. Gelombang mekanik ini dibagi menjadi dua yakni gelombang longitudinal, dan transversal. Dalam konteks teknik industri, gelombang digunakan dalam berbagai aplikasi untuk memecahkan masalah teknik, meningkatkan kualitas produk, dan mengoptimalkan proses produksi. Konsep dasar fisika yang perlu dipahami sehingga gelombang dalam

konteks fisika dapat diterapkan adalah frekuensi, panjang gelombang, periode, dan lain-lain. Untuk lebih jelaskan tentang konsep dasar gelombang, kita dapat mempelajari secara seksama sub-bab gelombang di bawah ini.

13.2 Karakteristik Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik memiliki beberapa karakteristik utama yang menentukan bagaimana gelombang tersebut merambat melalui suatu medium. Salah satu karakteristik penting adalah medium perambatan. Berbeda dengan gelombang elektromagnetik yang dapat bergerak tanpa medium, gelombang mekanik harus merambat melalui zat tertentu, seperti udara, air, atau benda padat. Tanpa medium, gelombang mekanik tidak dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Selain itu, gelombang mekanik juga memiliki osilasi atau gangguan dalam medium. Osilasi ini merupakan getaran yang terjadi pada partikel medium akibat energi yang dihantarkan oleh gelombang. Partikel medium tidak berpindah tempat secara permanen, melainkan hanya bergetar di sekitar titik keseimbangannya. Misalnya, dalam gelombang air, partikel air hanya bergerak naik turun, sementara gelombangnya sendiri merambat ke depan.

Karakteristik lainnya adalah kecepatan (v), frekuensi (f), panjang gelombang (λ), dan periode (T). Kecepatan gelombang bergantung pada jenis medium yang dilewati seperti padat, cair, dan gas. Umumnya, gelombang bergerak lebih cepat dalam medium yang lebih rapat, seperti benda padat, dibandingkan dengan gas atau cairan. Frekuensi gelombang menunjukkan jumlah osilasi yang terjadi dalam satu detik dan dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz) yang memenuhi persamaan:

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

Frekuensi yang dihasilkan gelombang mempunyai korelasi dengan panjang gelombang, dan memenuhi Persamaan:

$$v = \lambda f \quad (13.1)$$

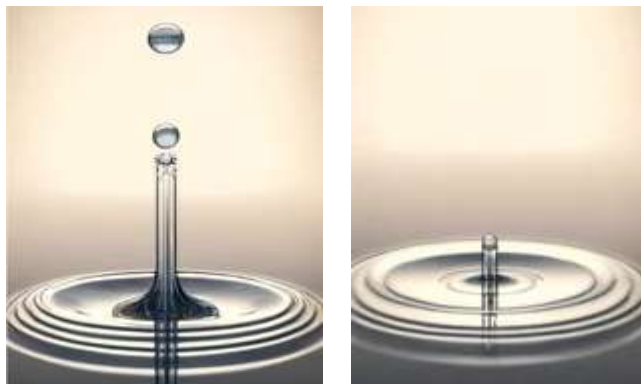
Panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak atau dua lembah berturut-turut pada gelombang transversal, atau

antara dua rapatan berturut-turut pada gelombang longitudinal. Sementara itu, periode gelombang adalah waktu yang diperlukan untuk satu kali osilasi penuh. Keempat karakteristik ini saling berhubungan dan menentukan sifat serta perilaku gelombang mekanik saat merambat dalam suatu medium.

Dengan memahami karakteristik-karakteristik ini, kita dapat menganalisis bagaimana gelombang mekanik bekerja dalam berbagai fenomena alam, seperti suara, gempa bumi, hingga gelombang laut. Pengetahuan ini juga memiliki banyak aplikasi dalam bidang teknologi, seperti komunikasi, kedokteran, dan industri.

13.3 Gelombang Longitudinal dan Transversal

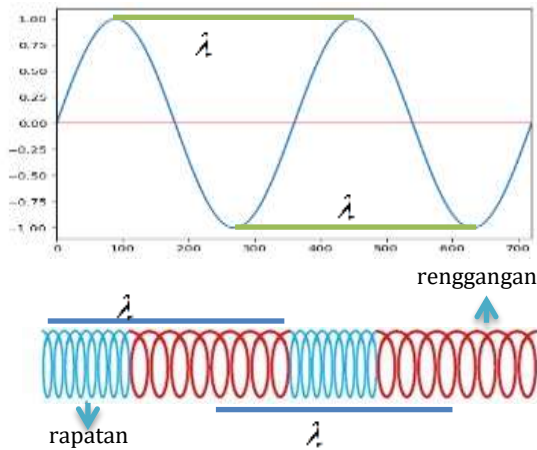
Gelombang secara definisi dapat dikatakan sebagai getaran yang merambat secara bolak-balik pada titik setimbang. Ilustrasi fenomena gelombang dapat dilihat pada Gambar 13.1 tentang fenomena riak air. Fenomena ini memberikan dua informasi yakni osilasi atau getaran (titik permukaan air yang bergerak naik turun hingga teredam), dan rambatan gelombang (pola air yang bergerak melebar yang awalnya berasal dari satu titik).



Gambar 13. 1. Ilustrasi Fenomena Gelombang.

Gelombang permukaan ini merupakan kombinasi dari gelombang transversal dengan longitudinal. Nama dari kedua jenis gelombang ini dikategorikan berdasarkan arah rambatan

dari gelombang. Gelombang ini merambat dengan arah getaran partikel mediumnya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang sebagaimana terlihat pada Gambar 13.2.



Gambar 13. 2. a.) Gelombang Transversal, b.) Gelombang Longitudinal.

Ciri khas gelombang transversal adalah adanya puncak dan lembah:

- Puncak adalah titik tertinggi dalam gelombang.
- Lembah adalah titik terendah dalam gelombang.
- Panjang gelombang λ adalah jarak antara dua puncak atau dua lembah yang berurutan.
- Amplitudo A adalah simpangan maksimum dari titik keseimbangan.

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getaran partikel mediumnya sejajar dengan arah rambat gelombang. Dalam gelombang ini, partikel medium tidak bergerak maju, tetapi berosilasi maju dan mundur di sepanjang arah perambatan gelombang. Ciri khas gelombang longitudinal adalah adanya rapatan dan regangan:

- Rapatan adalah daerah di mana partikel-partikel medium berkumpul lebih rapat akibat tekanan gelombang.
- Regangan adalah daerah di mana partikel-partikel medium lebih renggang akibat gelombang yang merambat.

- Panjang gelombang λ adalah jarak antara dua rapatan atau dua regangan yang berurutan.

Contoh gelombang longitudinal dalam kehidupan sehari-hari meliputi Gelombang suara yang merambat melalui udara atau air, Gelombang seismik tipe P (*primary*) yang terjadi saat gempa bumi, dan Gelombang pada pegas yang ditekan dan dilepaskan secara berulang. Baik gelombang transversal maupun gelombang longitudinal memiliki peran penting dalam berbagai fenomena alam dan teknologi, termasuk komunikasi, kedokteran (ultrasonografi), dan eksplorasi geologi. Memahami perbedaan dan karakteristik kedua jenis gelombang ini sangat penting untuk memahami berbagai konsep dalam ilmu fisika dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari.

13.4 Persamaan Dasar Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik adalah gelombang yang membutuhkan medium untuk merambat, seperti udara, air, atau benda padat. Salah satu cara untuk memahami gelombang mekanik secara matematis adalah dengan menggunakan persamaan dasar gelombang yang menghubungkan kecepatan gelombang, panjang gelombang, dan frekuensi. Secara umum, hubungan antara ketiga besaran ini dapat dinyatakan dengan Persamaan. parameter v yang menyatakan kecepatan gelombang dalam satuan (m/s), adalah seberapa cepat gelombang merambat melalui medium tertentu. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi gelombang, semakin pendek panjang gelombangnya jika kecepatan tetap. Sebaliknya, jika frekuensi rendah, panjang gelombang akan lebih besar.

Selain itu, dalam beberapa kasus, kita juga menggunakan persamaan simpangan gelombang, yang menggambarkan bentuk gelombang sebagai fungsi waktu dan posisi. Persamaan ini dapat ditulis sebagai:

$$y(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (13.2)$$

di mana:

- $y(x,t)$ adalah simpangan gelombang pada posisi x , dan waktu t .

- A adalah amplitudo gelombang, yaitu simpangan maksimum dari titik keseimbangan.
- $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ adalah bilangan gelombang, yang menunjukkan jumlah gelombang dalam satuan panjang tertentu.
- $\omega = 2\pi f$ adalah frekuensi sudut gelombang.
- ϕ adalah fase awal gelombang, yang menentukan posisi awal osilasi.

Persamaan **Error! Reference source not found.** sangat berguna untuk menganalisis sifat-sifat gelombang mekanik dalam berbagai kondisi, seperti pada gelombang bunyi, gelombang air, atau gelombang seismik. Dengan memahami persamaan dasar ini, kita dapat lebih mudah mempelajari bagaimana gelombang berinteraksi dengan lingkungannya, seperti dalam peristiwa pemantulan, pembiasan, dan interferensi gelombang.

13.5 Energi dan Intensitas Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik tidak hanya berfungsi sebagai medium perambatan getaran, tetapi juga sebagai pembawa energi. Energi yang ditransfer oleh gelombang ini bergantung pada amplitudo dan frekuensi gelombang serta medium tempat gelombang merambat. Dalam studi gelombang mekanik, dua konsep utama yang berkaitan dengan energi adalah energi gelombang dan intensitas gelombang.

Energi dalam gelombang mekanik berasal dari sumber getaran yang menghasilkan gangguan pada medium. Partikel-partikel dalam medium berosilasi saat gelombang merambat, mentransfer energi dari satu titik ke titik lainnya tanpa perpindahan materi secara permanen. Energi dalam gelombang mekanik bergantung pada amplitudo (A) gelombang. Semakin besar amplitudo gelombang, semakin besar energi yang dibawa oleh gelombang tersebut. Secara matematis, energi gelombang sebanding dengan kuadrat dari amplitudo seperti pada Persamaan 13.3:

$$E \propto A^2 \quad (13.3)$$

artinya, jika amplitudo gelombang meningkat dua kali lipat, maka energi yang dibawa oleh gelombang akan meningkat empat kali lipat. Hal ini dapat diamati dalam gelombang air/ombak besar memiliki lebih banyak energi dibandingkan gelombang kecil karena amplitudonya lebih besar, dan intensitas yang besar juga.

Intensitas gelombang (I) adalah ukuran jumlah energi yang dihantarkan oleh gelombang per satuan luas dalam satuan waktu. Intensitas gelombang dinyatakan dengan persamaan:

$$I = PA \quad (13.4)$$

di mana I adalah intensitas gelombang (W/m^2), P adalah daya atau energi yang dihantarkan per detik (Watt), A adalah luas permukaan tempat energi tersebar (m^2). Karena daya gelombang juga bergantung pada amplitudo, maka intensitas gelombang juga berbanding lurus dengan kuadrat amplitudo:

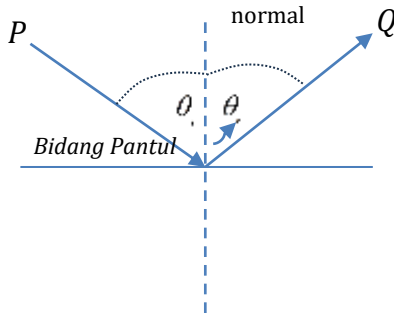
$$I \propto A^2$$

dengan kata lain, jika amplitudo gelombang dinaikkan dua kali lipat, maka intensitas gelombang akan meningkat empat kali lipat. Konsep ini memiliki banyak aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, misalnya: *gelombang suara*: suara dengan amplitudo yang lebih besar terdengar lebih keras karena membawa lebih banyak energi; *gelombang air*: ombak besar menghantam pantai dengan intensitas lebih besar dibandingkan riak kecil; *gelombang seismik*: gempa bumi yang lebih kuat memiliki amplitudo gelombang seismik yang lebih besar sehingga menyebabkan kerusakan yang lebih luas.

Memahami hubungan antara energi, intensitas, dan amplitudo dalam gelombang mekanik sangat penting dalam berbagai bidang ilmu, seperti fisika, teknik, dan geofisika, serta memiliki banyak aplikasi dalam teknologi modern.

13.5 Pemantulan, Pembiasan, dan Difraksi Gelombang

Pemantulan gelombang adalah peristiwa di mana gelombang yang merambat melalui suatu medium mengenai permukaan batas dan kembali ke medium asalnya. Fenomena ini mengikuti hukum pemantulan (Gambar 13.3) yang menyatakan bahwa:



Gambar 13. 3. Ilustrasi Hukum Pemantulan.

1. Sudut datang (θ_i) sama dengan sudut pantul (θ_r).
2. Gelombang pantul tetap berada dalam medium yang sama dengan gelombang datang.

Secara matematis, hukum ini dinyatakan sebagai:

$$\theta_i = \theta_r$$

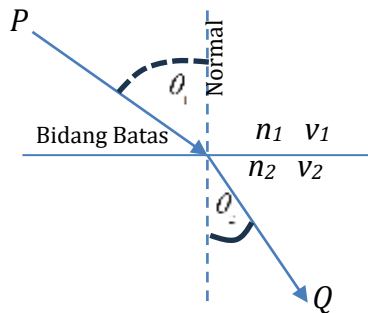
Hukum pemantulan berlaku baik untuk gelombang cahaya, gelombang air, maupun gelombang bunyi. Beberapa contoh aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari meliputi:

1. Cermin datar, di mana cahaya dipantulkan dengan sudut yang sama sehingga memungkinkan kita melihat bayangan.
2. Sonar (*sound navigation and ranging*), yang digunakan oleh kapal selam untuk mendeteksi objek di bawah air melalui pantulan gelombang suara.
3. Gema, yang terjadi ketika gelombang suara dipantulkan oleh dinding atau tebing.

Pembiasan gelombang terjadi ketika gelombang berpindah dari satu medium ke medium lain dengan kecepatan yang berbeda, menyebabkan perubahan arah perambatan gelombang. Hukum pembiasan, yang dikenal sebagai Hukum Snellius (Gambar 13.4), menyatakan bahwa:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

Dimana n_1 dan n_2 adalah indeks bias medium pertama dan kedua, θ_1 adalah sudut datang, θ_2 adalah sudut bias.



Gambar 13. 4. Ilustrasi Hukum Snellius.

Jika gelombang merambat medium yang lebih rapat (indeks bias lebih besar), maka kecepatan gelombang menurun dan sudut bias lebih kecil dari sudut datang. Sebaliknya, jika gelombang memasuki medium yang lebih renggang, maka sudut bias lebih besar dari sudut datang.

13.5 Resonansi Gelombang Mekanik

Resonansi adalah fenomena di mana suatu sistem mengalami getaran dengan amplitudo maksimum ketika dipaksa berosilasi pada frekuensi alami sistem tersebut. Dalam gelombang mekanik, resonansi terjadi ketika frekuensi suatu gaya eksternal yang diberikan kepada suatu sistem sama dengan frekuensi alami sistem tersebut. Akibatnya, energi yang ditransfer ke dalam sistem menjadi sangat efisien dan menghasilkan peningkatan amplitudo yang signifikan.

Resonansi dapat terjadi pada berbagai jenis gelombang mekanik, termasuk gelombang bunyi, gelombang tali, dan gelombang air. Fenomena ini dapat membawa manfaat dalam berbagai aplikasi teknologi, tetapi juga dapat menyebabkan bencana jika tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, pemahaman mengenai resonansi dalam gelombang mekanik sangat penting dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknik.

Fenomena resonansi dalam gelombang mekanik didasarkan pada prinsip osilasi terpaksa (*forced oscillation*), di mana suatu sistem diberikan gaya periodik yang memiliki frekuensi tertentu. Jika frekuensi gaya yang diberikan mendekati atau sama dengan frekuensi alami sistem, energi yang ditransfer ke sistem akan terus bertambah, menyebabkan peningkatan amplitudo yang signifikan. Secara matematis, hubungan antara amplitudo (A) dan frekuensi eksternal (f) dalam resonansi dapat dijelaskan oleh persamaan:

$$A = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\beta\omega)^2}} \quad (13.5)$$

Dimana A adalah amplitudo osilasi, F_0 adalah gaya pemicu, m adalah massa sistem, ω_0 adalah frekuensi alami sistem, ω adalah frekuensi gaya eksternal, dan β adalah faktor redaman. Persamaan 13.5 dapat diinterpretasi dengan nilai amplitudo menjadi sangat besar dapat menjadi indikasi terjadinya resonansi.

Resonansi gelombang mekanik merupakan fenomena fisika yang terjadi ketika suatu sistem bergetar mengalami peningkatan amplitudo secara signifikan akibat adanya gaya periodik yang bekerja dengan frekuensi yang mendekati atau sama dengan frekuensi alami sistem tersebut. Secara mendasar, resonansi terjadi karena energi dari gaya penggerak secara terus-menerus diberikan pada sistem pada saat-saat yang tepat sehingga terjadi akumulasi energi vibrasi. Dalam konteks gelombang mekanik, resonansi memiliki peran penting dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, mulai dari desain struktur bangunan yang tahan gempa, pengoperasian alat musik, hingga pengembangan instrumen pengukuran presisi. Secara matematis, fenomena resonansi dapat dijelaskan melalui persamaan diferensial orde dua yang menggambarkan gerak harmonik teredam, di mana solusi dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa amplitudo maksimum terjadi ketika frekuensi gaya eksternal hampir sama dengan frekuensi alami sistem. Pendekatan analitik ini membantu peneliti untuk memprediksi kondisi kritis dalam sistem dinamis dan

mengoptimalkan performa peralatan yang memanfaatkan prinsip resonansi.

Secara konseptual, resonansi gelombang mekanik melibatkan interaksi antara gaya eksternal dan karakteristik dinamis dari sistem mekanik yang diteliti. Misalnya, dalam sistem massa-pegas, resonansi terjadi ketika frekuensi getaran yang diberikan sama dengan frekuensi osilasi alami dari massa tersebut. Penerapan teori resonansi tidak hanya terbatas pada sistem sederhana seperti massa-pegas, tetapi juga meluas pada sistem kompleks seperti struktur bangunan, jembatan, dan bahkan pada tingkat mikroskopis dalam dunia material dan kristal. Pengaruh resonansi dalam sistem-sistem tersebut sangat krusial karena dapat menimbulkan getaran berlebih yang pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan struktural. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai kondisi resonansi dan mekanisme energinya menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi risiko kegagalan struktural serta dalam perancangan sistem yang lebih efisien dan aman.

Lebih lanjut, analisis resonansi gelombang mekanik melibatkan identifikasi parameter-parameter penting seperti frekuensi alami, faktor redaman, dan amplitudo gaya penggerak. Faktor redaman, misalnya, berperan dalam menahan pertumbuhan amplitudo getaran sehingga fenomena resonansi tidak mencapai tingkat yang merusak. Dalam aplikasi teknik, redaman sengaja ditambahkan melalui penggunaan material penyerap energi atau peredam getaran guna mengurangi dampak resonansi. Pengaruh redaman ini dapat dikaji dengan memodifikasi koefisien redaman dalam persamaan diferensial yang mendeskripsikan gerak harmonik teredam. Secara praktis, desain redaman yang efektif memerlukan pemodelan matematis yang akurat serta simulasi numerik untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dalam batas-batas aman meskipun mengalami rangsangan eksternal dengan frekuensi yang mendekati nilai kritis.

Dalam pengkajian fenomena resonansi, peran analisis spektrum frekuensi juga sangat penting. Dengan menggunakan metode transformasi Fourier, sinyal getaran yang dihasilkan oleh sistem dapat diuraikan menjadi komponen-komponen

frekuensi penyusunnya. Analisis ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi puncak-puncak resonansi dan menentukan frekuensi mana yang menyebabkan akumulasi energi vibrasi. Metode spektral ini tidak hanya membantu dalam mendeteksi kondisi resonansi pada sistem mekanik, tetapi juga dapat diaplikasikan dalam pengembangan sensor dan alat diagnostik yang mampu memonitor kondisi struktural secara real-time. Penggunaan teknik-teknik modern dalam analisis sinyal, seperti algoritma digital untuk pemrosesan data, telah membuka peluang baru dalam pemantauan dan pengendalian resonansi pada berbagai sistem industri dan infrastruktur.

Selain aspek teknis dan matematis, studi tentang resonansi gelombang mekanik juga memiliki dimensi historis dan filosofis yang menarik. Sejak ditemukannya konsep resonansi oleh ilmuwan seperti Galileo Galilei dan Christiaan Huygens, pemahaman mengenai fenomena ini telah mengalami perkembangan yang pesat. Penelitian awal yang dilakukan melalui eksperimen sederhana telah berkembang menjadi kajian multidisipliner yang menggabungkan mekanika klasik, teori kontrol, dan teknologi informasi. Perkembangan ini tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi dalam sistem dinamis, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi dalam desain material dan struktur yang mampu memanfaatkan resonansi secara optimal untuk meningkatkan efisiensi energi dan performa fungsional.

Dalam konteks aplikasinya, fenomena resonansi memiliki implikasi yang luas di bidang teknik sipil, otomotif, dan aerospace. Misalnya, dalam rekayasa bangunan, pemahaman mengenai resonansi sangat penting untuk mendesain struktur yang tahan terhadap getaran akibat gempa bumi maupun angin kencang. Dengan menerapkan analisis resonansi, insinyur dapat menentukan titik-titik kritis di mana penambahan peredam atau penguat struktural diperlukan. Di sektor otomotif, resonansi juga menjadi perhatian utama dalam perancangan mesin dan suspensi, di mana getaran berlebih dapat mengurangi kenyamanan berkendara serta efisiensi mesin. Begitu pula dalam industri penerbangan, di mana getaran resonan yang tidak terkendali dapat mempengaruhi kestabilan pesawat dan keamanan penerbangan.

Lebih jauh lagi, konsep resonansi gelombang mekanik juga telah mengilhami pengembangan teknologi dalam bidang energi. Contohnya, dalam sistem pengumpulan energi getaran, resonansi dimanfaatkan untuk mengakumulasi energi mekanik dari sumber getaran lingkungan seperti lalu lintas atau gempa bumi, yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Teknologi ini memiliki potensi untuk diaplikasikan dalam pengembangan sistem energi terbarukan yang ramah lingkungan. Inovasi seperti ini menunjukkan bahwa pemahaman mendalam mengenai fenomena resonansi tidak hanya penting dari sudut pandang teori, tetapi juga memiliki implikasi praktis yang signifikan dalam menghadapi tantangan era modern.

Secara keseluruhan, teori resonansi gelombang mekanik merupakan salah satu aspek penting dalam fisika dan teknik yang mengintegrasikan konsep-konsep matematis dan eksperimen untuk memahami dinamika sistem bergetar. Pemahaman mengenai mekanisme resonansi dan penerapan teknik redaman serta analisis spektral memungkinkan perancangan sistem yang lebih aman, efisien, dan tahan terhadap gangguan eksternal. Di tengah kompleksitas sistem modern, riset dan pengembangan terkait resonansi tetap menjadi area yang aktif dan dinamis, memberikan kontribusi besar terhadap kemajuan teknologi dan peningkatan keselamatan infrastruktur. Dengan demikian, studi tentang resonansi tidak hanya memperkaya wawasan ilmiah, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi teknologi yang berkelanjutan dan aplikatif dalam berbagai bidang.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, D. (2013). *Physics: Principles with Applications (7th Edition) - Standalone book* (7th edition). Pearson.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics, Extended* (10th edition). Wiley.
- King, G. C. (2009). *Vibrations and Waves* (1st edition). Wiley.
- Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B., & Sanders, J. V. (2000). *Fundamentals of Acoustics* (4th edition). Wiley.
- Pain, H. J. (2005). *The Physics of Vibrations and Waves, 6th Edition* (6th edition). Wiley.
- Serway, R., & Jewett, J. (2018). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (10th edition). Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers, 6th Edition* (Enlarged 6th edition). W. H. Freeman.
- Young, H. D. (2021). *University Physicsw With Modern Physics*. Pearson Education.

BIODATA PENULIS



Siti Aisyah, S. T, M. Si.

Dosen tetap pada Program Studi Pengolahan Hasil Perkebunan (TPHP) Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan.

Penulis merupakan salah satu dosen tetap dan aktif pada Program Studi Pengolahan Hasil Perkebunan (TPHP), Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan. Penulis lahir di Binjai, Tanggal 10 Juni 1976. Penulis menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Kimia, di Institut Teknologi Medan pada tahun 2000. Kemudian tahun 2011 menyelesaikan S2 pada Program studi Teknologi Industri Pertanian di Institut Pertanian Bogor. Penulis juga aktif dalam menulis pada jurnal Nasional serta menulis beberapa buku yang juga diterbitkan oleh PT. Get Press Indonesia, Padang, Sumatera Barat.

BIODATA PENULIS



Dr. Asmeati, ST., MT

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

Penulis lahir di Lampoko pada tanggal 1 Juli 1974, putri kedua dari 4 bersaudara pasangan M.Syabiruddin Abdolo dengan Hj.ST. Marhamah (alm) menempuh pendidikan Diploma 3 Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang tahun 1993-1996. Sarjana Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tahun 1999. Tahun 2010 mengikuti Program Magister Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan lulus pada tahun 2012. Menyelesaikan pendidikan S3 pada Program Pasca Sarjana Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tahun 2021. Sejak tahun 2008 berkarir sebagai dosen tetap dan sekarang aktif menjadi dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.
Email : asmeati.ft@umi.ac.id / 085340629866

BIODATA PENULIS



Rahmaniah, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Fisika
Fakultas Sains Dan Teknologi
UIN Alauddin Makassar

Sebagai seorang pendidik di bidang fisika, penulis memiliki ketertarikan yang mendalam terhadap konsep-konsep dasar fisika yang sangat relevan dalam dunia teknik, terutama dalam analisis gerak. Fisika yang mempelajari sifat dasar materi dan energi, menjadi landasan bagi penulis dalam mengajarkan konsep-konsep fundamental seperti gerak, vektor, dan skalar. Dalam bidang teknik, pemahaman tentang gerak sangat penting untuk merancang dan menganalisis sistem mekanis, di mana gerakan objek harus diperhitungkan dengan tepat. Penulis senantiasa berupaya untuk membekali mahasiswa dengan pengetahuan yang diperlukan untuk merancang solusi teknik yang lebih efisien dan inovatif. Material. Beberapa kali penulis memperoleh bantuan hibah Penelitian, Publikasi, Penulisan Buku serta Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (LITAPDIMAS), baik di Tingkat Pusat (Kementerian Agama) maupun di lingkup kampus UIN Alauddin Makassar. Semoga segala hal yang telah ataupun yang akan dilakukan oleh penulis dapat memberikan sumbangsih dalam dunia pendidikan.

BIODATA PENULIS



Ir. Islamiyati Jahada Haluti, ST.,MT
Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Luwuk

Penulis lahir di Luwuk, 11 Juli 1997. Penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Luwuk. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Kimia pada Universitas Muhammadiyah Luwuk dan melanjutkan studi Magister (S2) pada Jurusan Teknik Kimia di universitas yang sama. Selama menempuh pendidikan, penulis mendalami berbagai disiplin ilmu terkait teknik kimia, termasuk proses industri, reaksi kimia, dan manajemen rekayasa. Penulis memiliki ketertarikan yang besar dalam bidang menulis dan aktif mengembangkan kemampuan tersebut, baik dalam bentuk karya ilmiah, artikel, maupun buku. Selain mengajar di kampus, penulis juga terlibat dalam berbagai penelitian dan pengembangan yang berkaitan dengan penerapan prinsip-prinsip teknik kimia dalam dunia industri. Dalam proses pengajaran, penulis berfokus pada pengembangan kurikulum dan metode pembelajaran yang interaktif, serta berusaha menerapkan konsep-konsep teknik yang dapat membantu mahasiswa memahami teori sekaligus aplikasi nyata di industri.

BIODATA PENULIS



Ir. Edna Maryani, M.T.

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Faletahan

Penulis lahir di Pacitan tanggal 09 April 1968. Aktivitas penulis sebagai dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Faletahan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Arsitektur, di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Magister Teknik Industri di Universitas Mercu Buana Jakarta. Penulis menekuni riset di bidang rekayasa produktivitas dan aktif dalam melakukan penelitian dan pengabdian masyarakat.

BIODATA PENULIS



Ir. Badaruddin Anwar, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Makassar

Penulis lahir di Cikowang Takalar tanggal 15 Agustus 1975. Penulis adalah Dosen tetap pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Negeri Makassar tahun 2000 dan melanjutkan S2 Kependidikan di universitas yang sama pada tahun 2005, melanjutkan pendidikan profesi Insinyur di Universitas Muslim Indonesia, Makassar pada tahun 2017. Kegiatan yang ditekuni saat ini adalah sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar sejak tahun 2007 sampai sekarang. Mata kuliah yang diajarkan antara lain: Pengujian dan Pemeriksaan Bahan, Pengetahuan Bahan Teknik, Kerja Mesin Produksi, serta Pengujian Las.

BIODATA PENULIS



Suarti, S.Si., S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
UIN Alauddin Makassar

Penulis lahir di Gowa, pada 3 Juni 1984. Penulis tercatat sebagai lulusan S-1 di Jurusan Fisika KBK Fisika Bumi Universitas Negeri Makassar Tahun 2006, S-1 Pendidikan Fisika Universitas Negeri Makassar Tahun 2007, kemudian menyelesaikan studi S2 di prodi Pendidikan Fisika Pasca Sarjana Universitas Negeri Makassar Tahun 2016. Pekerjaan yang pernah dilakukan yaitu menjadi guru di beberapa sekolah menengah salah satunya guru fisika di SMAN 2 Tinggimoncong, saat ini menjadi Dosen tetap di Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar Prodi pendidikan Fisika. Memiliki kepakaran di bidang fisika dan pendidikan fisika. Selama mengajar telah mengampuh mata kuliah Fisika Dasar, Fisika Sekolah, Eksperimen Fisika Dasar, Praktikum Fisika Sekolah, Mekanika Lanjut dan Pembelajaran Fisika Berbasis Riset. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen, penulis pun aktif melaksanakan tridarma perguruan tinggi, melalui pengajaran, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Adapun penelitian dan karya ilmiah penulis dapat ditelusuri pada link Google Scholar berikut.

<https://scholar.google.com/citations?user=PVtP7Y0AAAAJ&hl=en>.

Penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara.

BIODATA PENULIS



Fine Eirene Siahaan, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
FKIP, Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar

Penulis lahir di kota Pematangsiantar Kecamatan Siantar Timur, Sumatera Utara. Sebelumnya pernah mengajar di SMP Swasta Bintang Timur Pematangsiantar. Penulis kemudian menjadi dosen Program studi pendidikan fisika di Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar tahun 2019- saat ini. Penulis menekuni bidang pendidikan Fisika mulai tahun 2009 saat menempuh S1 Pendidikan Fisika di Universitas HKBP Nommensen dan melanjutkan S2 Pendidikan Fisika pada tahun 2014 di Universitas Negeri Medan.

BIODATA PENULIS



Nurul Fuadi

Dosen Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, UIN
Alauddin Makassar

Penulis lahir di kota Sengkang Kab. Wajo pada tanggal 30 Oktober 1983. Anak ke 1 dari 2 bersaudara merupakan Lulusan Sarjana Fisika (S1) Fakultas MIPA di Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2007 dan juga telah menyelesaikan pendidikan Magister (S2) pada jurusan Biofisika Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor pada tahun 2010. Saat ini Penulis aktif mengajar di jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar. Mata kuliah yang diajarkan diantaranya Fisika Dasar, Biofisika, Termodinamika, Fisika Statistik, Biomaterial, Biokimia dan Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia. Penulis telah menulis beberapa buku referensi diantaranya Fisika Dasar 2, Fisika Optik, Mekanika Dasar, Anatomi Olahraga, Pengantar Fisika Kedokteran, Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Terpadu, Pengantar Fisika Zat Padat, dan Eksplorasi Fisika Fundamental. Penulis juga aktif menerbitkan beberapa artikel baik jurnal Nasional bersinta maupun prosiding Nasional dan Internasional. Penulis juga sebagai reviewer pada jurnal JFT Jurusan Fisika UINAM dan jurnal JPF Jurusan Pendidikan Fisika UINAM. Serta aktif dalam organisasi bidang kepakaran maupun non kepakaran. Email: nurul.fuadi@uin-alauddin.ac.id.

BIODATA PENULIS



Aji Saputra, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
FKIP Universitas Khairun

Penulis lahir di Trenggalek sebuah kabupaten di pesisir selatan Jawa Timur. Sebelum menjadi dosen program studi Pendidikan Fisika penulis pernah menjadi tentor di bimbel, guru IPA di SMP dan guru fisika di SMA. Penulis menekuni fisika sejak tahun 2012 saat menempuh S1 Pendidikan Fisika di Universitas Jember dan dilanjutkan pada jenjang S2 Pendidikan Fisika di Universitas Negeri Jakarta.

BIODATA PENULIS



Amirin Kusmiran

Dosen Program Studi Fisika

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin
Makassar

Penulis lahir di Tebo tanggal 25 Mei 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Fisika Fakultas sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Fisika, dan Pendidikan S2 pada Program Studi Teknik Geofisika. Selain itu, penulis mengampuh beberapa matakuliah yakni geofisika komputasi, metode komputasi fisika, kecerdasan buatan, dan sistem informasi geografis.