

# **PENGANTAR BIOMEKANIKA OLAHRAGA**

Widiyanto



## **PENGANTAR BIOMEKANIKA OLAHRAGA**

© Widiyanto

---

Cetakan I, November 2020

---

Penulis : Widiyanto  
Penyunting Bahasa : Shendy Amalia  
Tata Letak : Arief Mizuary  
Cover : Ngadimin

---

### **Diterbitkan dan dicetak oleh:**

#### **UNY Press**

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Komplek Fakultas Teknik UNY  
Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Telp : 0274-589346

Mail : unypenerbitan@uny.ac.id

*Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)*

*Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)*

---

ISBN : 978-602-498-208-9

---

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

# DAFTAR ISI

Daftar Isi .....	iii
Prakata .....	v
BAB I Definisi dan Fungsi Biomekanika Olahraga .....	1
A. Definisi .....	1
B. Tujuan Belajar Biomekanika .....	5
C. Manfaat Biomekanika .....	5
D. Asas dan Prinsip Biomekanika .....	8
BAB II Berat, Massa, dan Inersia .....	11
A. Berat .....	11
B. Massa .....	16
C. Inersia .....	20
D. Hubungan Antara Massa dan Inersia .....	21
BAB III Posisi, Kecepatan, dan Percepatan .....	23
A. Posisi .....	23
B. Kecepatan .....	28
C. Percepatan .....	30
BAB IV Titik Berat, Keseimbangan, dan Stabilitas .....	43
A. Titik Berat .....	43
B. Keseimbangan .....	60
C. Stabilitas .....	64
BAB V Hukum-hukum Gerak .....	65
A. Hukum Newton I .....	66
B. Hukum Newton II .....	69

C. Hukum Newton III.....	72
BAB VI Gaya dan Momentum .....	79
A. Gaya.....	79
B. Momentum.....	80
BAB VII ..... Sistem Pengungkit (Tuas) .....	95
BAB VIII ..... Analisis Biomekanika.....	101
Daftar Pustaka.....	111

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas karunia-Nya buku ajar yang berjudul “Pengantar Biomekanika Olahraga” dapat diterbitkan. Buku ini berisi materi tentang semua hal yang berkaitan dengan Biomekanika Olahraga. *Sport science* merupakan area keilmuan yang multidisiplin yang memfokuskan perhatian pada pemahaman dan peningkatan penampilan olahraga. Biomekanika merupakan salah satu area multidisiplin yang dimaksud. Dari segi aplikasi biomekanika olahraga, tidak diragukan lagi sebagai penerapan *sport science*. Tulisan ini mencoba membahas prinsip-prinsip biomekanika sebagai sebuah upaya menjembatani antara teori dan aplikasi dalam *sport science*.

Tujuan penulis menyusun buku ajar ini adalah membekali mahasiswa khususnya mahasiswa di bidang keolahragaan, baik mahasiswa Ilmu Keolahragaan, Pendidikan Jasmani, maupun Kepelatihan Olahraga. Dalam buku ini Bab I berisi materi tentang *Definisi dan Fungsi Biomekanika Olahraga*; Bab II berisi materi tentang *Berat, Massa, dan Inersia*; Bab III berisi materi tentang Posisi, Kecepatan, dan Percepatan; Bab IV berisi materi tentang *Titik Berat, Keseimbangan, dan Stabilitas*; Bab V berisi materi tentang *Hukum-hukum Gerak*; Bab VI berisi materi tentang *Gaya dan Momentum*; BAB VII berisi materi tentang *Pengungkit*, dan Bab VIII berisi materi tentang *Konsep Dasar Analisis Biomekanika*.

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yang terlibat dalam penyusunan buku ajar Biomekanika Olahraga ini, yang tidak bisa penulis sampaikan satu per satu. Penulis menyadari bahwa masih banyak

kekurangan dalam penyusunan Buku Ajar Biomekanika Olahraga ini. Oleh karena itu, besar harapan penulis agar pembaca dapat memberikan masukan atas penulisan dalam buku ini. Semoga penulisan buku ajar ini dapat bermanfaat bagi penulis, berbagai pihak, baik pengambil kebijakan atau para pengguna serta mahasiswa.

Yogyakarta November 2020

**Widiyanto**

# **BAB I**

## **DEFINISI DAN FUNGSI BIOMEKANIKA OLAHRAGA**

### **A. DEFINISI**

Pada zaman yang semakin modern ini, perlu meningkatkan pengetahuan mekanika gerak untuk memahami setiap teknik yang berlaku pada cabang-cabang olahraga yang berkaitan dengan gerak manusia (*human movement*) karena hal ini tidak menjadi asing dalam kehidupan manusia maupun di bidang olahraga. Biomekanika adalah salah satu cabang ilmu dari bidang ilmu fisika yang mempelajari gerakan dan perubahan bentuk suatu materi yang diakibatkan oleh gangguan mekanik yang disebut gaya (Blezevich, Anthony: 2000). Karena Biomekanika olahraga menerapkan prinsip-prinsip mekanika dalam struktur tubuh manusia untuk melakukan aktivitas olahraga atau sebuah gerakan kemudian menimbulkan efeknya pada struktur dan fungsi sistem biologi. Oleh karena itu, para guru pendidikan jasmani, pelatih, memiliki pengetahuan tentang ilmu mekanika gerak sehingga tidak menghadapi kesulitan pada saat memberikan teori-teori dan teknik dalam cabang olahraga yang diajarkan dengan benar. Perlu diketahui bahwa ilmu mekanika merupakan cabang ilmu tertua dari semua cabang ilmu dalam fisika. Biomekanika didefinisikan sebagai studi gerak makhluk hidup yang menggunakan ilmu mekanik. Mekanika sebagai cabang fisika yang berkaitan dengan deskripsi gaya gerak kemudian bagaimana membuat gerak (Wu et al., 2005).

Pada umumnya ilmu mekanika gerak sering dijelaskan menggunakan beberapa disiplin ilmu pengetahuan seperti matematika dan biologi. Namun sering menimbulkan kesulitan bagi mereka yang kurang memahami matematika. Sedangkan dalam bidang biologi definisi biomekanika merupakan sebuah

bidang ilmu terapan mekanika yang bersentuhan langsung dengan sistem biologi. Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika pada penyusunan konsep, analisis, desain, kemudian dikembangkan pada peralatan dan sistem biologi ranah kedokteran. Ilmu ini merupakan sebuah aplikasi dari ilmu mekanika kemudian mendeskripsikan gerak manusia, serta ilmu yang mempelajari gaya yang bekerja dan dihasilkan pada tubuh manusia serta efeknya (V, Elsevier, 1985). Para pengajar mekanika gerak telah berusaha untuk mengatasi kesulitan tersebut dalam menyederhanakan rumus-rumus matematika dan gerak dalam biologi dengan menyajikan konsep-konsep dasar dalam istilah-istilah non-matematika sehingga memudahkan para pembaca memahami mekanika gerak manusia. Oleh karena itu, pembahasan buku ini tidak digunakan rumus-rumus penghitungan matematika dan istilah-istilah kedokteran. Buku ini diperuntukkan bagi para pelatih, guru penjas, atlet, dan penggemar olahraga secara sederhana. Tulisan dalam buku ini mudah untuk dibaca dan memudahkan pembaca untuk memahami mekanika gerak pada manusia.

Biomekanika adalah bidang ilmu terapan mekanika pada sistem biologi. Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika dalam penyusunan konsep, analisis, desain, dan pengembangan peralatan dan sistem biologi dan kedokteran. Ilmu ini merupakan sebuah aplikasi dari ilmu mekanika untuk mendeskripsikan gerak manusia, serta ilmu yang mempelajari gaya yang bekerja dan dihasilkan pada tubuh manusia serta efeknya (Izzo, Guarnieri, Guglielmi, & Muto, 2013).

Biomekanika pada intinya dibagi menjadi tiga bidang utama, yaitu kinerja, cedera, dan rehabilitasi. Kinerja dalam biomekanika mengacu pada sistem kehidupan pada makhluk hidup (manusia) fungsi biomekanika tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia. Dalam kehidupan manusia gerakan rutin yang dilakukan oleh seorang manusia misalnya berjalan, duduk, berdiri, berlari, makan, melempar menendang, memukul, menarik, dan sebagainya. Gerak biomekanika tidak hanya berlaku pada gerak eksternal dalam kehidupan manusia, namun ada gerakan internal misalnya, aliran darah, sirkulasi cairan, kerja jantung dan otot serta kinematika rangka.

Biomekanika dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang gaya internal dan eksternal pada tubuh manusia, dan dapat menimbulkan efek oleh yang dilakukan oleh seorang manusia. Biomekanika secara spesifik merupakan sebuah ilmu yang mengkaji tentang pergerakan manusia dalam melakukan setiap aktivitas. Pentingnya peran biomekanika dalam semua lini



kehidupan manusia adalah seseorang dapat mengatasi cedera yang terjadi pada manusia/atlet dan peningkatan performa (Challis, 1992).

Secara keseluruhan sistem gerak pada manusia sangat berpengaruh dengan ilmu biomekanika. Oleh sebab itu, gerakan-gerakan yang dihasilkan oleh seorang manusia sering terjadi secara terstruktur. Dengan artian bahwa setiap gerakan yang dihasilkan pasti memiliki fungsinya, misalnya seorang atlet ingin membentuk otot dada, maka fokus latihan dan gerakan yang dilakukan tertuju pada otot-otot dada yang akan dibentuk. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa setiap gerakan yang dilakukan oleh seorang manusia tidak bisa dipisahkan dengan ilmu biomekanika dan mekanika.

Semua gerakan dan perubahan dalam gerakan disebabkan oleh aksi kekuatan. Dua jenis kekuatan yang paling umum adalah menarik dan mendorong. Gerakan manusia disebabkan oleh otot rangka kita yang menarik tulang kita untuk mengontrol gerakan sendi kita. Dengan melakukan hal tersebut memungkinkan kita untuk menerapkan kekuatan ke lingkungan eksternal sehingga kita dapat melakukan semua gerakan yang membentuk kehidupan sehari-hari, khususnya, mempertahankan postur tegak, mengangkat tubuh dan memanipulasi objek. Biomekanika adalah studi tentang kekuatan yang bekerja pada dan di dalam organisme hidup dan pengaruh kekuatan pada ukuran, bentuk, struktur dan pergerakan organisme.

Suatu gaya dapat didefinisikan sebagai yang mengubah atau cenderung mengubah keadaan istirahat atau jenis gerakan tubuh. Kekuatan yang bekerja pada tubuh muncul dari interaksi tubuh dengan lingkungannya. Data adalah informasi numerik yang diperoleh dengan mengukur atau menghitung sesuatu. Statistik adalah cabang matematika terapan yang digunakan untuk menganalisis data sehingga makna data dapat ditafsirkan dan dievaluasi. Analisis statistik melibatkan penerapan satu atau lebih prosedur statistik (perhitungan aritmatika khusus) untuk menghasilkan angka-angka spesifik yang menggambarkan berbagai karakteristik data; masing-masing angka spesifik ini disebut statistik. Prosedur statistik mungkin panjang, terutama ketika ada sejumlah besar data. Namun, karena sebagian besar prosedur statistik melibatkan operasi aritmatika yang akan sangat akrab bagi semua siswa sekolah menengah (penambahan, pengurangan, perkalian, pembagian, akar kuadrat), prosedur tidak akan sulit secara matematis.

Pelatih olahraga secara alami menginginkan yang terbaik bagi para atletnya untuk membantu mereka meningkatkan kinerja dan mengurangi risiko cedera oleh karena itu para pelatih harus mengetahui bentuk-bentuk gerak yang terdapat dalam ilmu biomekanika. Biomekanika dalam olahraga pada

umumnya untuk menjembatani kesenjangan dalam memberikan pengetahuan kepada para pelatih. Prinsip dan penelitian biomekanik harus menjadi sumber utama pengetahuan yang digunakan dalam analisis kualitatif olahraga. Analisis kualitatif adalah salah satu kegiatan profesional terpenting dari guru dan pelatih keterampilan motorik (Knudson dan Morrison, 2002). Kualitas gerak motorik pada manusia sangat berguna untuk meningkatkan kinerja.

Beberapa orang akan berpendapat bahwa biomekanika memberikan pengetahuan yang berarti tentang bagaimana manusia bergerak atau bagaimana gerakan itu dapat ditingkatkan. Namun, dalam penerapan pengetahuan biomekanika di lapangan belum maksimal. Bahkan ada kebingungan tentang apa artinya “menerapkan” pengetahuan biomekanika dalam olahraga. Hal ini perlu untuk disepakati bersama antara biomekanik dan komunitas pembina tentang apa yang merupakan penerapan konsep atau prinsip biomekanik. Mari kita ambil salah satu konsep biomekanik paling populer yang diterapkan oleh banyak pelatih sebagai contoh, pusat massa (atau gravitasi) tubuh. Apakah benar-benar merupakan aplikasi biomekanik yang berarti untuk memberi tahu pemain bisbol agar “menjaga pusat massanya tetap rendah”? Hal tersebut menggunakan terminologi biomekanik sebagai isyarat, tetapi ini adalah penerapan yang lemah dari konsep ini pada olahraga (Latash, 2016). Aplikasi yang lebih baik adalah memberi tahu infielder tentang di mana atau seberapa rendah pusat massa harus berada dalam basis penyangga mereka, dan bagaimana ia harus bergerak, dan seberapa cepat, untuk mencapai mobilitas tertentu atau tujuan stabilitas untuk mencegat bola bisbol dengan cepat.

Pusat massa yang sangat rendah lebih menyukai stabilitas daripada mobilitas, jadi mudah untuk membayangkan pemain dengan fleksi di ekstremitas bawah sehingga mereka sebenarnya lebih lambat dalam bereaksi terhadap bola yang dipukul. Bagian ini menjelaskan bahwa penerapan biomekanik yang bermakna oleh banyak pelatih jarang terjadi karena beberapa masalah yang mempersulit penerapan asli pengetahuan biomekanik dalam analisis kualitatif keterampilan olahraga. Salah satu masalah adalah relatif muda dari ilmu biomekanik olahraga.

Struktur untuk mengajar dan menerapkan ilmu biomekanik. Jelas ada lainnya upaya dalam komunitas internasional untuk mengusulkan prinsip biomekanik umum untuk mengaplikasikan pada setiap atlet dari berbagai cabang olahraga. Namun timbul pertanyaannya adalah fungsi dari ilmu biomekanika sudah dijalankan atau diterapkan dengan baik? Ternyata masih banyak para pelatih yang mengabaikan pengetahuan tentang ilmu biomekanika.

Ilmu gerak adalah bidang yang sangat luas dan beragam. Pembahasan kali ini berfokus pada dua komponen ilmu gerakan yang memiliki lebih

banyak persamaan daripada perbedaan. Kedua komponen, biomekanik dan kontrol motorik, secara tradisional dipisahkan dalam program pengajaran dan pertemuan profesional. Ada kursus dalam biomekanik dan kontrol motorik (kadang-kadang juga disebut sebagai kontrol saraf gerakan atau ilmu saraf gerakan). Ilmu biomekanika memberikan gambaran yang jelas bahwa setiap komponen yang dilakukan dengan sadar atau tidak sadar, manusia secara tidak langsung menggunakan biomekanika dalam kehidupannya (Knudson, 2007)

## **B. TUJUAN BELAJAR BIOMEKANIKA**

Tujuan mempelajari biomekanika dalam penerapan ilmu olahraga adalah :

1. Mengetahui konsep ilmiah dasar yang diaplikasikan dalam bentuk gerak manusia.
2. Memahami suatu bentuk/model gerak dasar dalam olahraga sehingga mampu mengembangkannya dengan baik.
3. Mampu memahami perkembangan gerak dasar.
4. Mampu menerapkan suatu bentuk yang sesuai dengan karakteristik fisik seseorang dalam berolahraga dengan baik dan benar

## **C. MANFAAT BIOMEKANIKA**

Manfaat dari ilmu biomekanika adalah mengevaluasi tingkat gerakan yang dihasilkan oleh seorang atlet terhadap kebutuhan fisik, pekerjaan imulasi alternatif metode kerja dan menentukan penurunan kebutuhan fisik pekerjaan terhadap jenis pekerjaan baru yang sedang dianalisis. Sebagai acuan dalam proses seleksi pekerja dan prosedur penempatan sebagai pedoman perancangan: perancangan peralatan, perancangan layout kendali mesin dan stasiun kerja perancangan tempat duduk kerja acuan batas kemampuan pada *material handling* kriteria seleksi pekerja dan pelatihan.

Manfaat biomekanika bukan hanya berada dalam dunia olahraga, namun biomekanika merambat ke seluruh aspek kehidupan manusia. Hal ini terlihat dari segala aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan manusia di dunia ini selalu adanya unsur biomekanika. Rau, Disselhorst-Klug, & Schmidt (2000) mengatakan bahwa biomekanika berperan penuh dalam perputaran aktivitas dalam kehidupan sehari-hari termasuk manusia dalam aktivitas yang bersifat sederhana misalnya, makan minum, dan sebagainya.

Biomekanika erat kaitannya dengan ilmu keolahragaan sehingga, biomekanika memiliki fungsi penting bagi guru pendidikan jasmani dan pelatih

olahraga, dalam hal ini fungsi dan kegunaan biomekanika bagi guru pendidikan jasmani dan pelatih olahraga bahwa; (1) pemahaman biomekanika akan menghasilkan peningkatan pengetahuan tentang kerumitan fungsi anatomis – fisiologi – dan mekanika dari tubuh manusia dan akan membantu meniadakan kesalahan yang dilakukan guru dalam proses belajar mengajar keterampilan, sehingga dapat meningkatkan perkembangan unjuk kerja keterampilan khusus lebih cepat dan sempurna; (2) pengetahuan biomekanika juga penting bagi atlet karena ia akan menyadari kekeliruan untuk mencoba meniru gaya atlet lain karena gaya tersebut memberikan keberhasilan bagi atlet tersebut, sehingga atlet harus mengembangkan gayanya sendiri, sebab pada umumnya tidak ada dua manusia yang sama dalam karakteristik jasmani, seperti kekuatan otot, kelenturan, tipe tubuh dan begitu pula karakteristik psikologis.

Dalam mendukung keberhasilan pada bidang olahraga perlu untuk meningkatkan pemahaman tentang ilmu olahraga, pengetahuan akan prinsip-prinsip biomekanika menjadi hal yang penting bagi para pelatih dan ahli biomekanika olahraga. Penelitian-penelitian tentang biomekanika olahraga di Indonesia terus meningkat di antara fungsi dari mekanika dalam cabang olahraga, kemudian pendekatan mekanika yang dipadukan dengan anatomi (Ardiyanto H., Widiyanto, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa fungsi mekanika sangat erat kaitan dengan kehidupan manusia. Dengan demikian, mendorong para ilmuwan terus menggali tentang mekanika gerak kemudian mempelajari pengaruh dari gaya-gaya (*force*) (seperti gravitasi, gesekan, dan tahanan udara) pada benda hidup dan benda mati. Pengetahuan ini kemudian digunakan untuk para pelatih maupun ahli biomekanika mendesain benda-benda yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti gedung-gedung, jembatan, kendaraan, dan pesawat terbang.

Biomekanika memiliki hubungan yang sangat erat dengan Antropometri, dikarenakan dalam Biomekanika mempelajari bagaimana melakukan suatu pekerjaan dengan menggunakan gaya dengan energi yang kecil. Sedangkan Antropometri merupakan pembelajaran dalam suatu perhitungan kepada alat-alat yang digunakan oleh manusia di dalam kehidupan sehari-hari. Antropometri menganalisis dimensi-dimensi alat tersebut dengan menghubungkan tubuh manusia sebagai acuan, sehingga terciptalah suatu alat atau perkakas yang dapat digunakan dengan gaya yang tidak terlalu besar. Biomekanika tidak saja berhubungan erat dengan Antropometri tetapi juga dengan ilmu fisiologi dan postur kerja karena dengan mempelajari tentang gaya yang bekerja pada tubuh, maka dapat dihitung dan diketahui berapa jumlah energi dan konsumsi oksigen

yang dibutuhkan serta dapat mengevaluasi posisi tubuh yang kurang ergonomis pada saat melakukan suatu pekerjaan.

Hubungan antara biomekanika dengan ergonomi juga dapat dilihat dari definisi ergonomi, yaitu suatu cabang ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi-informasi mengenai sifat, kemampuan, dan keterbatasan manusia untuk merancang suatu sistem kerja sehingga orang dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik, yaitu mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan efektif, aman, sehat, nyaman, dan efisien.

Penerapan ilmu mekanika pada pergerakan manusia sudah ada sejak karya klasik Borelli. Pada masa itu, analisis mekanis tubuh manusia biasanya digabungkan dengan anatomi fungsional dan terbatas pada studi tentang mayat. Munculnya metode baru analisis gerakan pada Abad 19, khususnya pembuatan film orang dan hewan yang bergerak oleh Marey dan Myubridge, menandakan langkah penting untuk analisis mekanis dari gerakan sukarela alami (Knudson, D., and Morrison, 2002). Sejak saat itu, menjadi jelas bahwa perkembangan biomekanik sangat bergantung pada metode pengukuran yang akurat dan definisi yang tepat dari variabel dan parameter yang menonjol. Tantangan-tantangan ini tetap ada di zaman yang semakin modern. Penulis mencoba menyarankan agar pembaca mendefinisikan istilah yang umum digunakan dalam biomekanik seperti “torsi sendi” dan “kerja otot” (definisi harus dapat diterapkan di berbagai kondisi, misalnya, isotonik dan isometrik (Lees, 1999).

Koefisien dalam ilmu biomekanika, terlihat seperti massa, redaman, kekakuan dan panjang istirahat pegas, mereka mungkin menjadi tidak berarti jika persamaan tersebut diterapkan pada sebuah benda, yang tidak berperilaku sebagai sistem linier orde dua. Sebagai contoh, studi tentang sendi manusia yang sama melaporkan koefisien redaman dan kekakuan yang dapat berbeda satu sama lain dengan dua lipat (Nunome, Asai, Ikegma, & Sakurai, 2002). Beberapa penelitian bahkan melaporkan koefisien kekakuan negatif (Kellis, Katis, & Vrabas, 2006), yang jelas tidak ada artinya. Bayangkan Anda sedang meregangkan otot dengan sangat lambat dan pada titik tertentu, kekuatan otot di sepanjang arah peregangan mulai menurun dengan perpanjangan lebih lanjut (CJ, 1997). Secara formal, jika seseorang menghitung turunan parsial gaya berkenaan dengan koordinat, seseorang mendapat nilai negatif dari kekakuan otot. Satu-satunya kesimpulan dari hasil ini, bagaimanapun otot memiliki kekakuan negatif, tetapi bahwa otot bukanlah pegas dan pengertian tentang kekakuan tidak dapat diterapkan (Franco-Mariscal, Oliva-Martínez, Blanco-López, & España-Ramos, 2016).

Dalam ilmu biomekanika kontrol motorik berhubungan dengan hukum fisika yang dikenal dan tidak diketahui. Di satu sisi, sistem kehidupan tidak melanggar hukum alam apapun. Di sisi lain, seperti yang ditekankan di bagian pembukaan, mereka aktif: ini berarti bahwa perilaku suatu benda hidup tidak dapat diprediksi mengingat keadaan awalnya (setidaknya dengan kemampuan kita saat ini untuk menentukan keadaan seperti itu) dan kekuatan eksternal. Memang, benda mati alami tidak berguling ke atas bukit, berenang melawan arus dan terbang melawan angin, sedangkan hewan memiliki sedikit masalah dengan tugas dan perilaku tersebut. Namun tantangan utama pengendalian motorik dalam perumusan hukum alam yang tidak diketahui yang menentukan gerakan aktif yang dilakukan oleh sistem kehidupan. Tentu saja, hukum yang tidak diketahui ini harus didasarkan pada hukum dasar fisika, tetapi kompleksitas struktur dan interaksinya (Sanders, R., and Wilson, 1990).

#### **D. ASAS DAN PRINSIP BIOMEKANIKA**

Vladimir (2000), *biomechanics is the science of sport (athlet) movements*. Biomekanika adalah sebuah cabang ilmu olahraga yang mempelajari gerakan-gerakan tubuh atau atlet.

*Biomechanical analysis of sport performance provides an objective method of determining performance of a particular sporting technique. In particular, it aims to add to the understanding of the mechanisms influencing performance, characterization of athletes, and provide insights into injury predisposition,* (Curran, Sarah A. & Frossard, Laurent, 2012).

Analisis kinerja olahraga secara biomekanika merupakan metode dengan tujuan menentukan kinerja dari teknik olahraga tertentu, yaitu untuk menambah pemahaman tentang mekanisme yang mempengaruhi kinerja, karakterisasi atlet, dan memberikan wawasan ke dalam cedera.

Secara umum manfaat yang didapat dalam mempelajari biomekanika olahraga adalah untuk memperbaiki teknik dengan melakukan analisis yang dilakukan dan mencegah cedera olahraga. *Aplikasi biomekanika olahraga diharapkan dapat meningkatkan kinerja atau performa untuk mencegah cedera.* Jadi manfaat utama mempelajari biomekanika adalah memperbaiki penampilan dan mencegah cedera. Selain itu ada beberapa manfaat lain selain dua manfaat utama yang disebutkan di atas, yaitu: (1) membantu dalam proses mempelajari atau mengajarkan satu teknik tertentu; (2) dapat menciptakan teknik baru dalam upaya memaksimalkan prestasi yang sudah didapat; (3) memahami desain alat-

alat atau perlengkapan olahraga yang dipakai dan disesuaikan dengan kebutuhan dari cabang olahraga yang dimaksud; dan (4) dapat dipakai dalam pemanduan bakat untuk mencari bibit yang potensial untuk dikembangkan prestasinya secara optimal.

Teknik pada setiap cabang olahraga mempunyai karakteristik masing-masing. Pelatih harus memahami karakteristik masing-masing cabang olahraga. Pemakaian peralatan serta fasilitas yang sering digunakan harus ada kesesuaian dengan teknik serta pemakaiannya harus benar dan tepat. Diperlukan analisis biomekanika secara teliti dan tepat untuk mengetahui kesalahan-kesalahan pada saat melakukan gerak teknik. Hal tersebut dapat dilakukan menggunakan analisis video, sehingga pelatih dapat memberikan perbaikan yang tepat.

Fungsi biomekanika sangat penting sebagai modal pengetahuan pelatih dalam membina para anak latihnya mencapai *performance* yang diharapkan secara optimal. Untuk bisa secara efektif menganalisis dan meningkatkan teknik, pelatih di masa kini membutuhkan pemahaman mendalam tentang biomekanika (Hamill, Joseph & Kathleen, Knutzen. M., 2003). Hal ini senada dengan pandangan (Caputo & Collins, 2014) mengatakan bahwa fungsi biomekanika memberikan pengetahuan yang sangat baik bagi para pelatih, akademi, dan para atlet untuk mencapai prestasi yang maksimal, dan juga memberikan gambaran tentang sistem gerak dalam setiap cabang olahraga yang ada.





## **BAB II**

### **BERAT, MASSA, DAN INERSIA**

Pada bagian bab ini akan dikaji tentang konsep-konsep dasar dari mekanika. Pada bagian ini akan dibahas bagaimana kaitan antara massa (*mass*) dan berat (*weight*), dan apa yang dimaksud dengan inersia (*inertia*). Pada bab ini akan mengkaji bahwa hubungan massa tubuh dengan inersia. Seorang atlet yang mempunyai massa tubuhnya besar juga mempunyai inersia yang besar. Seperti gaya gravitasi, inersia dapat membantu dalam berbagai keterampilan cabang olahraga, tetapi dalam keterampilan lainnya akan menyebabkan hambatan bagi atlet itu sendiri.

#### **A. BERAT**

Berat dapat diartikan sebagai besar ukurannya di antara jenisnya atau benda-benda yang serupa. Apa yang dimaksud dengan berat benda? Berat benda adalah massa suatu benda yang dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi. Makin besar massa benda makin besar pula beratnya. Dalam pengertian yang lain, berat adalah gaya vertikal ke bawah dari sebuah benda yang disebabkan oleh gravitasi. Semakin berat gaya gravitasi akan semakin besar pula. Berat timbul akibat adanya tarikan gaya gravitasi, selanjutnya disebut gaya berat. Arah gaya berat selalu menuju pusat, sedangkan besarnya gaya berat bergantung pada percepatan gravitasi. Jadi, berat ditentukan oleh massa benda dan percepatan gravitasi dari tempat benda tersebut berada (Johal, Williams, Wragg, Hunt, & Gedroyc, 2005).

Misalnya di bumi, berat sebuah benda ketika di permukaan bumi dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi. Oleh karena itu, berat tergantung

pada percepatan gravitasi, maka berat sebuah benda selalu berubah-ubah di tempat yang berbeda. Misalnya, berat benda di kutub lebih besar daripada berat suatu benda itu di khatulistiwa karena percepatan gravitasi di kutub lebih besar daripada percepatan gravitasi di khatulistiwa. Berdasarkan pengukuran, berat benda akan berubah (berkurang) sekitar 0,5% ketika kita berpindah dari kutub ke khatulistiwa. Fakta ini menjelaskan bahwa berat sebuah benda bisa berubah-ubah tergantung percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi setiap tempat di bumi tidak sama karena bergantung pada jarak tempat itu ke pusat bumi. Semakin jauh jaraknya dari pusat bumi, maka semakin kecil percepatan gravitasinya.

Itulah sebabnya mengapa sehingga berat benda di ketinggian akan berkurang dibandingkan dengan ketika benda itu berada di permukaan bumi. Misalnya, jika berat suatu benda di permukaan bumi 100 N, pada ketinggian sekitar 7.000 km beratnya tinggal 25 N. Berarti, berat benda itu hanya seperempat dari berat semula. Dalam fisika, berat dari suatu benda adalah gaya yang disebabkan oleh gravitasi berkaitan dengan massa benda tersebut. Massa benda adalah tetap di mana-mana, tetapi berat sebuah benda akan berubah-ubah sesuai dengan besarnya percepatan gravitasi di tempat tersebut.

Berat dihitung dengan mengalikan massa sebuah benda dengan percepatan gravitasi di mana benda tersebut berada. Berat sebuah benda di bumi akan berbeda dengan beratnya di bulan. Sebuah benda bermassa 10 kilogram, akan tetap mempunyai massa 10 kilogram di bumi maupun di bulan, tetapi di bumi, benda tersebut akan mempunyai berat 98 Newton, sedangkan di bulan, benda tersebut akan mempunyai berat 16,3 Newton saja.

Dalam penggunaan istilah secara modern, berat dan massa secara mendasar adalah dua kuantitas yang berbeda: massa adalah suatu sifat intrinsik dari materi, sedangkan berat adalah suatu gaya yang merupakan hasil aksi gravitasi pada materi. Namun, pengenalan perbedaan ini, berdasarkan sejarahnya, adalah sesuatu yang baru-baru saja. Dalam penggunaan bahasa Indonesia sehari-hari, kata “berat” tetap untuk menyebut “massa” suatu objek (terutama manusia), misalnya “Berat saya 70 kilogram”, walaupun diketahui bahwa kilogram adalah suatu satuan massa. Misalnya dalam kehidupan sehari-hari berat gaya pegas pulpen adalah 0,9 N, itu berarti berat pegas pulpen di bulan 0,0015 (Braidot, Brusa, Lestussi, & Parera, 2007).

Berat tubuh menunjukkan besarnya tarikan gaya gravitasi pada tubuh, dan sebaliknya tarikan tubuh terhadap permukaan bumi. Sebagai contoh perbandingan atlet yang memiliki berat badan lebih dan atlet yang memiliki berat badan yang ringan yang terjadi adalah atlet yang mempunyai massa tubuh yang besar akan mampu menekan per/pegas lebih kuat dari pada atlet

yang mempunyai massa tubuh lebih ringan. Akibatnya, jarum timbangan akan bergerak lebih jauh menunjuk pada angka timbangan yang lebih besar (Davis et al., 2012). Berat merupakan suatu gaya yang terjadi akibat dari hasil aksin reaksi dari aksi gravitasi terhadap materi, berat akan selalu berkaitan dengan massa, dan menjadi satu kesatuan yang tidak terpisahkan dalam ilmu biomekanika.

Dalam sebuah cabang olahraga, berat badan merupakan sebuah hal yang sangat dijaga untuk tetap stabil atau tetap normal karena akan mempengaruhi prestasi seorang atlet misalnya atlet beladiri, tinju, sepakbola, dan lain sebagainya. Apabila tidak dijaga dengan baik maka dua hal kemungkinan akan terjadi, *pertama* seorang atlet akan kehilangan kecepatan gerak dan yang *kedua*, atlet akan mengalami kelelahan dini atau cepat mengalami kelelahan karena dengan menjaga kestabilan berat badan makan seorang atlet akan mendapatkan prestasi yang semakin meningkat, kelincahan, kecepatan, dan kekuatan yang prima. Karena titik berat pada gerakan dalam sebuah cabang olahraga harus normal, hal ini dilakukan agar berat badan selaras dengan posisi pada pusat massa, dalam artian saat posisi badan normal dengan tumpuan pada telapak kaki yang baik maka performa atlet semakin baik (Jannah et al., 2012).

## 1. Beberapa faktor yang berpengaruh dalam pemindahan material

Biomekanika pada dasarnya mempelajari kekuatan, ketahanan, kecepatan, ketelitian, dan keterbatasan manusia dalam melakukan kerjanya. Faktor ini sangat berhubungan dengan pekerjaan yang bersifat *material handling*, seperti pengangkatan dan pemindahan secara manual, atau pekerjaan lain yang dominan menggunakan otot tubuh. Meskipun kemajuan teknologi telah banyak membantu aktivitas manusia, namun tetap saja ada beberapa pekerjaan manual yang tidak dapat dihilangkan dengan pertimbangan biaya ataupun kemudahan. Pekerjaan ini membutuhkan usaha fisik sedang hingga besar dalam durasi waktu kerja tertentu, misalnya penanganan atau pemindahan material secara manual. Usaha fisik ini banyak mengakibatkan kecelakaan kerja ataupun *low back pain*, yang menjadi isu besar di negara-negara industri belakangan ini.



**Gambar 2.1.**  
Posisi Mengangkat Benda

- a. Berat beban yang harus diangkat dan perbandingannya terhadap berat badan operator.
- b. Jarak horisontal dari beban relatif terhadap operator.
- c. Ukuran beban yang harus diangkat (beban yang berukuran besar) akan memiliki pusat massa (*centre of gravity*) yang letaknya jauh dari operator, hal tersebut juga akan mempengaruhi pandangan operator.
- d. Ketinggian beban yang harus diangkat dan jarak perpindahan beban (mengangkat beban dari permukaan lantai akan relatif lebih sulit daripada mengangkat beban dari ketinggian pada permukaan pinggang).
- e. Beban puntir (*twisting load*) pada operator selama aktivitas angkat beban.
- f. Prediksi terhadap berat beban yang akan diangkat. Hal ini adalah untuk mengantisipasi beban yang lebih berat dari yang diperkirakan.
- g. Stabilisasi beban yang akan diangkat.
- h. Kemudahan untuk dijangkau oleh pekerja.
- i. Frekuensi angkat, yaitu banyaknya aktivitas angkat.

## 2. Ada 4 batasan yang dalam pengangkatan yaitu :

- a. Batasan angkatan secara legal (*Legal Limitation*)  
 Batasan ini dipakai sebagai batasan angkat secara internasional yaitu :
  - 1) Pria di bawah usia 16 tahun, maksimum angkat 14 kg.
  - 2) Pria usia di antara 16 tahun dan 18 tahun, maksimum angkat 18 kg.
  - 3) Pria usia lebih dari 18 tahun, tidak ada batasan angkat.
  - 4) Wanita usia diantara 16 tahun dan 18 tahun, maksimum angkat 11 kg.
  - 5) Wanita usia lebih dari 18 tahun, maksimum angkat adalah 16 kg.

Batasan ini dapat membantu mengurangi rasa nyeri, ngilu pada tulang belakang bagi para wanita. Batasan angkat ini akan mengurangi ketidaknyamanan kerja pada tulang belakang, terutama bagi operator untuk pekerjaan berat.

- b. Batasan angkat dengan menggunakan biomekanika (*Biomechanical Limitation*)

Nilai dari analisis biomekanika adalah rentang postur atau posisi aktivitas kerja, ukuran beban dan ukuran manusia yang dievaluasi.

c. Batasan angkat secara fisiologis

Metode pendekatan ini dengan mempertimbangkan rata-rata beban metabolisme dari aktivitas angkat yang berulang, sebagaimana dapat juga ditentukan dari jumlah konsumsi oksigen. Hal ini haruslah benar-benar diperhatikan terutama dalam rangka untuk menentukan batasan angkat. Kelelahan kerja yang terjadi akibat dari aktivitas yang berulang-ulang akan meningkatkan risiko nyeri pada tulang belakang.

d. Batasan angkat secara psikofisik

Metode ini didasarkan pada sejumlah eksperimen yang berupaya untuk mendapatkan berat pada berbagai keadaan dan ketinggian beban yang berbeda-beda. Ada tiga macam posisi angkat:

- 1) Dari permukaan lantai ke ketinggian genggam tangan.
- 2) Dari ketinggian genggam tangan dan ke ketinggian bahu.
- 3) Dari ketinggian bahu ke maksimuman jangkauan tangan vertikal.

(Nurmianto, *Ergonomi: Konsep Dasar dan Aplikasinya*, 2003, hal 149-152)

## Lifting Index (LI)

Lifting Index menyatakan nilai estimasi relatif dari tingkat tegangan fisik dalam suatu kegiatan pengangkatan-manual. Nilai estimasi tingkat ketegangan fisik tersebut dinyatakan sebagai hasil bagi antara beban angkatan (*load weight*) dengan nilai RWLH hasil perhitungan. Dinyatakan dengan:

### LI = Berat Benda / RWLH

(Tarwaka, Solichul HA.Bakri, Lilik Sudiajeng, 2004,hal 129)

Interpretasi atas nilai LI:

- 1) LI dapat digunakan untuk memprioritaskan perancangan ulang secara ergonomis dengan cara mengurutkan pekerjaan berdasarkan besaran LI  
LI dapat digunakan untuk mengestimasi besaran relatif dari tekanan fisik suatu tugas.
- 2) Tugas-tugas dengan nilai LI > 1.0 mengakibatkan peningkatan risiko cedera punggung bawah (akibat pengangkatan) pada sebagian pekerja.
- 3) RWL dapat digunakan untuk merekomendasikan berat beban yang akan membuat pekerjaan menjadi lebih aman.

Seiring dengan peningkatan nilai LI, maka tingkat risiko cederapun meningkat, dan semakin besar persentase pekerja yang mungkin berisiko terkena sakit punggung bawah akibat pekerjaan mengangkat. Berdasarkan NIOSH, tugas pengangkatan dengan  $LI > 1.0$  memiliki peningkatan risiko sakit punggung bawah akibat pengangkatan bagi sebagian pekerja. NIOSH menyarankan agar semua pekerjaan mengangkat dirancang agar memiliki LI bernilai 1.0 atau kurang. Para ahli sepakat bahwa hampir semua pekerja akan mengalami peningkatan risiko ketika nilai LI melebihi 3.0.

## **B. MASSA**

Massa berarti substansi atau materi. Apabila suatu benda mempunyai substansi dan mengisi ruang yang ditempatinya, maka benda tersebut mempunyai massa. Apa yang lebih penting, jika benda memiliki massa, maka benda dapat menarik benda lainnya yang sama-sama memiliki massa. Tubuh atlet tersusun dari otot-otot, tulang-tulang, lemak, jaringan, dan cairan, semuanya merupakan substansi atau materi dan memiliki massa. Jadi atlet mempunyai massa, menarik bumi, dan bumi mempunyai massa juga, menarik tubuh atlet.

Massa adalah jumlah unsur yang terdapat pada suatu objek, jika benda mempunyai massa maka dapat menarik benda lain yang memiliki massa. Oleh karena itu, massa selalu menjadi tolok ukur apakah objek satu yang lain harus memilikinya sehingga benda satu dan yang lain saling tarik menarik, tetapi benda-benda tersebut tidak memiliki massa maka usahanya akan menjadi nol, tetapi benda-benda tersebut memiliki massa maka akan menghasilkan gaya tarik menarik. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin besar massa badan maka gaya berat yang ditimbulkan juga akan semakin besar (Barnosky et al., 2011). Seperti ditegaskan pada hukum Newton yang ketiga yang berbunyi, “ketika dua benda berinteraksi, gaya pada kedua benda yang berasal dari satu sama lain selalu sama magnitudonya dan berlawanan arah”. Gaya tarik menarik antara bumi dan pegulat akan lebih besar dari pada gaya tarik menarik antara bumi dengan pesenam (Mouromadhoni & Kuswanto, 2019).

Massa (berasal dari bahasa Yunani;  $\mu\acute{\alpha}\zeta\alpha$ ) adalah suatu sifat fisika dari suatu benda yang digunakan untuk menjelaskan berbagai perilaku objek yang terpantau. Dalam kegunaan sehari-hari, massa biasanya disinonimkan dengan berat (misalnya untuk berat badan, alih-alih massa badan). (Otting, Reson, & Cavanagh, 1992) Namun menurut pemahaman ilmiah modern, berat suatu objek diakibatkan oleh interaksi massa dengan medan gravitasi. Sebagai contoh, seseorang yang mengangkat benda berat di Bumi dapat mengasosiasi berat benda

tersebut dengan massanya. Asosiasi ini dapat diterima untuk benda-benda yang berada di Bumi. Namun apabila benda tersebut berada di Bulan, maka berat benda tersebut akan lebih kecil dan lebih mudah diangkat namun massanya tetaplah sama (Li, Qin, & Shen, 2018).

Tubuh manusia dilengkapi dengan indra-indra perasa yang membuat kita dapat merasakan berbagai fenomena-fenomena yang diasosiasikan dengan massa. Seseorang dapat mengamati suatu objek untuk menentukan ukurannya, mengangkatnya untuk merasakan beratnya, dan mendorongnya untuk merasakan inersia benda tersebut. Penginderaan ini merupakan bagian dari pemahaman kita mengenai massa, tetapi tiada satupun yang secara penuh dapat mewakili konsep abstrak massa. Konsep abstrak bukanlah berasal dari penginderaan, melainkan berasal dari gabungan berbagai pengalaman manusia (Chan & Rudins, 1994).

Konsep modern massa diperkenalkan oleh Sir Isaac Newton (1642-1727) dalam penjelasan gravitasi dan inersia yang dikembangkannya. Sebelumnya, berbagai fenomena gravitasi dan inersia dipandang sebagai dua hal yang berbeda dan tidak berhubungan. Namun, Isaac Newton menggabungkan fenomena-fenomena ini dan berargumen bahwa kesemua fenomena ini disebabkan oleh adanya keberadaan massa.

Alat yang digunakan untuk mengukur massa adalah timbangan. Dalam satuan SI, massa diukur dalam satuan kilogram. Terdapat pula berbagai satuan-satuan massa lainnya, misalnya:

gram:  $1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$  ( $1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$ )

ton:  $1 \text{ ton} = 1000 \text{ kg}$

MeV/c<sup>2</sup> (Umumnya digunakan untuk mengamati massa partikel subatom)

Pada situasi normal, berat suatu objek adalah sebanding dengan massanya. Namun perbedaan antara massa dengan berat diperlukan untuk pengukuran berpresisi tinggi sehingga mendapatkan hasil yang tepat. Oleh karena itu, ketika melakukan timbangan, jika hal ini terjadi maka massa mengalami sebuah ketidakpastian dalam menentukan berat pada sebuah massa (Stewart & Hall, 2006). Karena hubungan relativistik antara massa dengan energi adalah mungkin untuk menggunakan satuan energi untuk mewakili massa. Sebagai contoh, eV normalnya digunakan sebagai satuan massa (kira-kira  $1,783 \times 10^{-36} \text{ kg}$ ).

Secara umum dalam ilmu fisika, konsep massa dapat massa ataupun fenomena fisika yang dapat dijelaskan menggunakan konsep massa. Oleh karena itu, massa dalam ilmu fisika dapat dijadikan patokan untuk semua disiplin ilmu

yang lain. Karena massa pertama kali diciptakan oleh Issac Newton. Sehingga massa tidak dapat terlepas dari ilmu fisika dari segala bentuk disiplin ilmu yang berada di dunia ini. Di bawah ini jenis massa yang berlaku dalam kehidupan manusia.

### **Massa Inersia**

Massa Inersia merupakan ukuran resistansi suatu objek untuk mengubah keadaan geraknya ketika suatu gaya diterapkan. Massa tersebut ditentukan dengan menerapkan gaya ke sebuah objek dan mengukur percepatan yang dihasilkan oleh gaya tersebut. Objek dengan massa inersia yang rendah akan berakselerasi lebih cepat daripada objek dengan massa inersia yang besar. Dapat dikatakan, benda dengan massa yang lebih besar memiliki inersia yang lebih besar (Ross et al., 2017). Jumlah materi pada beberapa jenis sampel dapat ditentukan secara persis melalui elektrodposisi ataupun proses-proses lainnya. Massa persis suatu sampel ditentukan dengan menghitung jumlah dan jenis atom-atom yang terdapat di dalamnya. Selain itu, dihitung pula energi yang terlibat dalam pengikatan atom-atom tersebut (bertanggung jawab terhadap defisit massa ataupun massa yang hilang) (Zhang & Wei, 2016).

### **Massa Gravitasiional Aktif**

Massa gravitasiional aktif merupakan ukuran kekuatan fluks gravitasiional. Medan gravitasi dapat diukur dengan mengizinkan suatu objek jatuh bebas dan mengukur percepatan jatuh bebas benda tersebut. Sebagai contoh, suatu objek yang jatuh bebas di Bulan akan menerima medan gravitasi yang sedikit, sehingga berakselerasi lebih lambat daripada benda tersebut jatuh bebas di bumi. Medan gravitasi bulan lebih lemah karena Bulan memiliki massa gravitasiional aktif yang lebih kecil (Ackermann & Van den Bogert, 2012).

### **Massa Gravitasiional Pasif**

Massa gravitasiional pasif merupakan ukuran kekuatan interaksi suatu objek dengan medan gravitasi. Massa gravitasiional pasif ditentukan dengan membagi berat objek dengan percepatan jatuh bebas objek itu sendiri. Dua objek dalam medan gravitasi yang sama akan mengalami percepatan yang sama. Namun objek dengan massa gravitasiional pasif lebih kecil akan mengalami gaya yang lebih kecil (berat lebih ringan daripada objek dengan massa gravitasiional pasif yang besar. Energi juga bermassa menurut prinsip kesetaraan massa-energi. Kesetaraan ini dapat terlihat pada proses fusi nuklir dan lensa gravitasi (Clarke, Lavallée,



Blewitt, van Dam, & Wahr, 2005). Pada fusi nuklir, sejumlah massa diubah menjadi energi. Pada fenomena pelensaan gravitasi pula, foton yang merupakan energi memperlihatkan perilaku yang mirip dengan massa gravitasional pasif.

### **Pelengkungan ruang waktu**

Pelengkungan ruang waktu adalah manifestasi relativistik akan keberadaan massa. Pelengkungan ini sangatlah lemah dan sulit diukur. Oleh karena itu, fenomena ini barulah ditemukan setelah teori relativitas umum Einstein memprediksinya. Jam atom dengan presisi yang sangat tinggi ditemukan berjalan lebih lambat di bumi dibandingkan dengan jam atom yang berjalan di ruang angkasa. Perbedaan waktu ini dinamakan dilasi waktu gravitasional.

### **Massa kuantum**

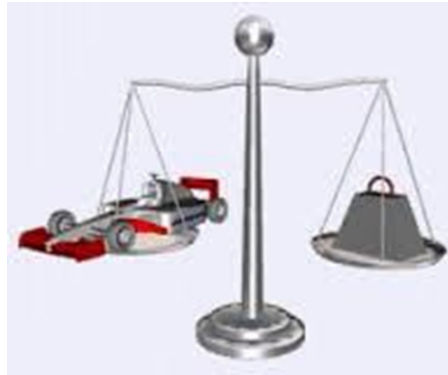
Massa kuantum merupakan perbedaan antara frekuensi kuantum suatu objek dengan bilangan gelombangnya:  $m^2 = \omega^2 - k^2$   $\{\displaystyle m^2 = \omega^2 - k^2\}$ . Massa kuantum sebuah elektron dapat ditentukan menggunakan berbagai macam spektroskopi dan utamanya berkaitan erat dengan tetapan Rydberg, jari-jari Bohr, dan jari-jari elektron klasik. Massa kuantum benda yang lebih besar dapat diukur secara langsung menggunakan timbangan watt.

Secara definisi ilmiah, massa merupakan besaran inersia (resistensi terhadap akselerasi) yang dimiliki oleh suatu benda atau proporsi antara gaya dan percepatan yang disebut dalam Hukum Gerak Newton Kedua (gaya sama dengan percepatan kali massa). Dapat disimpulkan semakin banyak massa suatu benda, semakin besar gaya yang diperlukan untuk membuatnya bergerak. Satuan Massa Kilogram (kg) adalah satuan SI (standar Sistem Satuan Internasional) massa. Di mana satu kilogram adalah 1.000 gram (g), pertama kali digambarkan pada tahun 1795 sebagai satu desimeter kubik air pada titik leleh es (Packiasudha, Suja, & Jerome, 2017).

### **Hubungan Antara Massa dan Berat**

Riakan yang disebabkan oleh lemparan batu pada kolam air itu berlaku ketika gaya gravitasi bumi menyebar dari intinya. Karena semakin dekat posisi kita ke inti bumi, maka akan semakin besar gaya tariknya. Hal ini disebabkan bentuk bulatan bumi tidak sempurna maka seorang atlet akan lebih jauh dari inti bumi bila berdiri di equator dari pada berdiri di kutub utara atau selatan. Akibatnya, seorang atlet atau alat seperti lembing, akan sedikit lebih ringan di

equator dari pada di daerah kutub. Dan massa tubuh tetap konstan atau tidak berubah maka hal ini tidak berlaku dengan berat tubuh karena berat tubuh bisa berubah-ubah.



**Gambar 2.2.** Hubungan Antara Massa dan Berat

### C. INERSIA

Istilah inersia (*inertia*) berarti tahanan yang menghambat atau mengubah gerak (*resistance to action*) suatu benda. Kita menggunakan kata inersia dalam kehidupan sehari-hari untuk menggolongkan orang-orang yang lamban dalam memulai gerakan. Jadi dalam kehidupan sehari-hari, terdapat kaitan antara inersia dengan kemalasan. Inersia menggambarkan kecenderungan suatu benda untuk terus melakukan apa saja yang sedang dilakukan. Oleh karena itu, berlakunya Hukum NEWTON I (inersia: kelembaman) benda bersifat mempertahankan keadaan-semua benda/objek akan bergerak bila ada gaya (*force*) yang mengakibatkan pergerakan.

Hukum Newton yang pertama mengatakan bahwa benda yang bergerak akan cenderung terus bergerak, dan benda yang diam akan cenderung tetap diam. Nah, Inersia adalah kecenderungan suatu benda agar tetap mempertahankan keadaannya (tetap bergerak atau tetap diam) atau biasa dikatakan sebagai kelembaman suatu benda. Oleh karena itu, hukum pertama Newton disebut juga sebagai Hukum Inersia atau Hukum Kelembaman. Contohnya adalah benda yang memiliki inersia yang besar, cenderung untuk susah bergerak, begitu pula sebaliknya.

Besarnya momen inersia ( $I$ ) suatu benda bermassa yang memiliki titik putar pada sumbu yang diketahui dirumuskan sebagai berikut: Dimana,  $m$  adalah massa partikel atau benda (kilogram), dan  $R$  adalah jarak antara partikel atau

elemen massa benda terhadap sumbu putar (meter). Untuk benda pejal (padat) dengan geometri yang tidak sederhana, besarnya momen inersia dihitung sebagai besar distribusi massa benda dikali jarak sumbu putar. Perhatikan gambar dibawah ini untuk mengetahui lebih jelas gambarannya. Dimensinya dalam Standar Internasional (SI) adalah  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ .

Momen inersia merupakan besaran fisis yang penting untuk dipelajari sebelum masuk lebih dalam pada materi dinamika rotasi. Momen inersia atau massa angular atau inersia rotasional merupakan besaran yang menentukan torsi yang dibutuhkan untuk memberikan percepatan angular pada benda. Inersia juga memiliki arti kelembaman sebuah benda, yang dijelaskan oleh Hukum I Newton tetapi kelembaman untuk berotasi. Momen inersia sebuah benda dapat ditentukan oleh massa benda, geometri (bentuk) benda, letak sumbu putar, serta panjang lengan momen (jarak ke sumbu putar benda). Berikut merupakan formula dari momen inersia ( $I$ ) benda titik (Firmansjah, 2018).

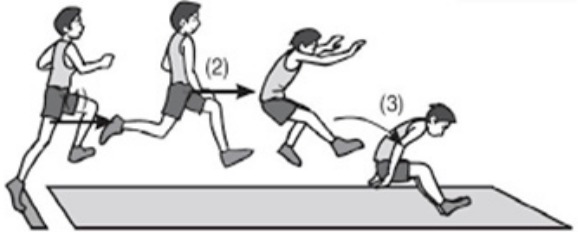
Momen inersia (Satuan SI:  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Besaran ini adalah analog rotasi daripada massa. Momen inersia berperan dalam dinamika rotasi seperti massa dalam dinamika dasar, dan menentukan hubungan antara momentum sudut dan kecepatan sudut, momen gaya dan percepatan sudut, dan beberapa besaran lain. Meskipun pembahasan skalar terhadap momen inersia, pembahasan menggunakan pendekatan tensor memungkinkan analisis sistem yang lebih rumit seperti gerakan giroskopik (Chusni, Rizaldi, Nurlaela, Nursetia, & Susilawati, 2018).

Konsep ini diperkenalkan oleh Euler dalam bukunya *a Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum* pada tahun 1730. Dalam buku tersebut, Euler mengupas momen inersia dan banyak konsep terkait dengan momen inersia oleh karena itu Euler menjadi ilmuwan yang sangat serius melakukan penelitian yang kebanyakan berbasis pada momen inersia. Momen inersia perlu diketahui secara baik, karena memberikan sebuah ketepatan dan kecepatan dalam menentukan titik-titik tumpuh yang tepat oleh seorang atlet. Karena mengambil sebuah momen yang tepat akan memberikan hasil yang maksimal.

#### **D. HUBUNGAN ANTARA MASSA DAN INERSIA**

Semakin besar massa dan berat tubuh atlet semakin besar tahanan yang menghambat gerakannya. Inersia dianggap lawan pada saat mulai bergerak dan menjadi kawan pada saat bergerak. Hal ini terjadi juga pada gerakan rotasi pada sebuah benda ketika diberikan gaya. contoh: golf club ketika diayunkan maka

akan menghasilkan gaya. Inersia kecenderungan tetap diam, tidak bergerak (*motionless*). Akan tetapi jika ada sebuah gaya (kekuatan) yang cukup besar untuk mengubah gerak dalam arah tertentu, maka benda tersebut akan terus bergerak pada arah yang sama dengan kecepatan konstan.



**Gambar 2.4.** Hubungan Massa dan Inersia

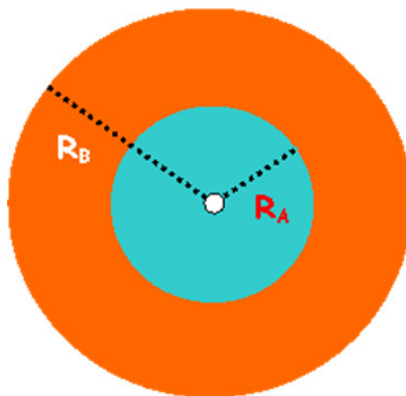
Inersia dianggap lawan ketika seorang atlet akan bergerak, karena inersia yang dimiliki tubuhnya akan menghambat akselerasi. Ketika bergerak, inersia dapat menjadi sahabat atlet, karena inersia cenderung akan tetap mempertahankan atlet untuk tetap terus bergerak. Dua karakteristik inersia, yaitu “menghambat dan mempertahankan” gerak, tidak hanya terjadi dalam gerak linier, yaitu ketika benda dan atlet bergerak dalam garis lurus. Sifat menghambat dan mempertahankan gerak ini juga terjadi dalam gerak rotasi dimana benda seperti bat dan golf club ketika diayunkan, begitu pula ketika atlet loncat indah dan senam melakukan salto di udara.

# BAB III

## POSISI, KECEPATAN, DAN PERCEPATAN

### A. POSISI

Posisi adalah suatu kondisi vektor yang merepresentasikan keberadaan suatu titik terhadap titik lainnya yang bisa dijabarkan dengan menggunakan jarak atau sudut. Bisa juga digambarkan dengan koordinat kartesius, dengan titik (0,0) adalah titik yang selain dua titik tersebut namun masih berkorelasi, atau salah satu dari dua titik tersebut. Posisi adalah kedudukan benda dari suatu acuan tertentu. Posisi dari benda yang bergerak melingkar dapat dinyatakan dengan garis atau sudut. Jarak yang ditempuh benda dinyatakan dengan garis yaitu berupa busur lingkaran ( $s$ ), atau dinyatakan dengan sudut yang ditempuh ( $\omega$ ). Gambar di bawah, menyatakan posisi suatu benda yang dinyatakan dalam posisi linier ( $S$ ) dan posisi sudut ( $\omega$ ).



Hubungan antara  $S$  dengan  $\omega$  ditentukan sebagai berikut. Apabila benda telah sekali berputar maka jarak linier yang ditempuh adalah  $2\pi R$  meter (keliling lingkaran), sedangkan posisi sudut yang ditempuh adalah  $2\pi$  radian. Dalam hal ini berlaku: satu putaran =  $2\pi R$  meter =  $2\pi$  rad.

Perbandingan sudut dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{\theta}{2\pi} = \frac{S}{2\pi \cdot R}$$

Sehingga:

$$S = \omega \cdot R$$

Dalam hal ini  $\omega$  dalam satuan radian, sedangkan  $R$  dalam satuan meter. Kesetaraan antara satuan sudut derajat dengan radian adalah sebagai berikut.

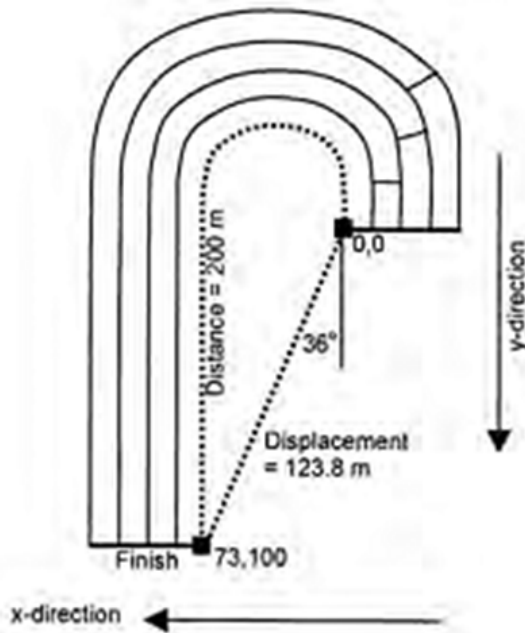
$$\text{satu putaran} = 360^\circ = 2\pi \text{ rad.}$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180}$$

Posisi benda yang bergerak melingkar dinyatakan dengan posisi linier (garis) dan posisi angular (sudut).  $\omega$  adalah lambang dari posisi sudut, sedangkan  $S$  adalah lambang posisi linier. Satuan posisi sudut adalah radian, sedangkan satuan posisi linier adalah meter. Hubungan antara  $S$  dan  $\omega$  dinyatakan sebagai  $S = \omega \cdot R$ . Agar dapat dikalikan dengan  $R$  jari-jari maka sudut theta harus dalam satuan radian.

## 1. Skala dibandingkan Jumlah Vector

Ada dua cara untuk menggambarkan seberapa jauh seseorang telah berlari yaitu dengan jarak dan perpindahan. Salah satunya adalah besaran skalar dan yang lainnya adalah besaran vektor. Sebuah skala pengukuran sederhana besarnya jarak (seberapa besar, cepat, panjang atau lebar sesuatu), sedangkan vektor dengan besar derajat dan arah (utara,  $22^\circ$ , kiri). Ketika menjelaskan gerak, 'jarak' adalah besaran skalar dan mengacu pada jumlah dari semua gerakan dalam arah apapun, sedangkan 'perpindahan' mengacu pada hasil akhir dari gerakan dan digambarkan dengan baik besar dan arah, misalnya 21 m utara atau 3,2 km (lihat Gambar 2.5 di bawah).



**Gambar 3.1** Jarak dan Perpindahan

Seorang pelari berjalan pada jalur dalam sebuah lintasan atletik dapat digantikan (s) 123,8 m pada sudut  $36^\circ$ , sementara meliputi jarak (d) dari 200 m. Jarak, besaran scalar adalah lebih penting daripada perpindahan, besaran vektor, dalam hal ini.

Jika perlombaan lari dimulai pada lintasan lari (seperti itu pada Gambar diatas) pada posisi 0,0 (yaitu, pelari telah bergerak 0 m di kedua maju (y) dan samping (x) arah) dan selesai tepat pada 200 m titik, yang berada pada posisi 73,100 (73 m dalam arah x dan 100 m dalam arah y) sementara berjalan di jalur dalam, maka perpindahan (s) adalah 123,8 m pada sudut  $36^\circ$  relatif terhadap garis lurus tetapi jarak yang sebenarnya (d) adalah 200 m. Jadi, karena perlombaan 200 m mengandung komponen lengkung, kita harus memilih apakah untuk mengukur jarak atau perpindahan. Tidak ada banyak titik mengetahui perpindahan pelari, karena ide dari balap lari 200 m adalah untuk menjalankan 200 m secepat mungkin, jadi kita hanya perlu memperhatikan jarak. Dalam bujursangkar 100m, jarak dan perpindahan yang sama, meskipun kita harus menentukan arah jika kita menggambarkan perpindahan.

## 2. Menghitung Jumlah Vektor

Menghitung perpindahan dari seseorang atau objek relatif mudah jika gerakan terjadi dalam dua arah, seperti pada contoh pada Gambar 2.1. Namun, jika ingin menghitung perpindahan dari sesuatu yang telah melakukan perjalanan beberapa jalur, mungkin mempertimbangkan menggunakan metode ‘ujung-ke-ekor’. Kita dapat mewakili sebuah gerakan individu sebagai panah yang memiliki kedua panjang dan arah (ingat besaran vektor, seperti perpindahan, memiliki besar dan arah). Dengan menempatkan masing-masing ekor panah di sebelah ujung panah sebelumnya, akhirnya dapat menentukan perpindahan akhir (panah putus-putus).

Setiap besaran vektor harus juga memiliki arah, jadi apa arah resultan dari objek kita? Hal ini dapat dihitung dengan mudah menggunakan sin/cos/tan aturan. Kita sekarang tahu panjang setiap sisi dan karena itu adalah segitiga siku-siku kita dapat menggunakan aturan apapun yang kita ingin. Dalam hal ini akan menggunakan aturan tan, karena tidak harus menghitung sisi miring atau jika telah dihitung itu salah maka tidak akan mempengaruhi jawaban yang diperoleh untuk arah:  $\tan\theta = \text{berlawanan/berdekatan}$ .  $\theta = \text{inv.tan}(\text{berlawanan} / \text{berdekatan}) = \text{inv.tan}(3/2) = 56,3^\circ$  (‘inv’ adalah singkatan dari ‘terbalik’ dan merupakan fungsi pada setiap kalkulator ilmiah yang baik. Hal ini juga dikenal sebagai ‘arctan’). Jadi, perpindahan yang dihasilkan adalah 3,6 cm pada sudut  $56,3^\circ$  relatif terhadap arah gerakan pertama. Anda dapat menghitung besarnya resultan dan arah gerakan menggunakan Teorema Pythagoras untuk menghitung besarnya dan aturan tan untuk menghitung arah. Jika ada lebih dari dua gerakan, Anda hanya menghitung resultan untuk dua gerakan pertama, kemudian menggunakannya sebagai gerakan pertama dan menambahkan gerakan berikutnya dan seterusnya.

Jika sudut antara dua gerakan ini bukan sudut siku-siku (seperti yang paling sering terjadi, ara 4) Anda menggunakan aturan cosinus:  $C^2 = A^2 + B^2 - 2(AxB) \times \cos\beta$  dimana  $\beta$  adalah sudut antara dua vektor dan menggunakan  $\theta = \text{inv.tan}(A \sin\beta / (B + A\cos\beta))$  untuk menghitung sudut yang dibentuk antara dua vektor. Persamaan ini mengambil sedikit lebih banyak waktu untuk digunakan, tetapi selama Anda memahami alasan penggunaan rumus tersebut.

Hal ketiga yang perlu kita ketahui adalah bagaimana untuk memberitahu kecepatan seseorang yang pindah. Seberapa cepat pelari menjalankan 200 m? Kita bisa menentukan seberapa cepat seorang pelari telah berjalan (rata-rata di seluruh 200 m) dengan membagi ‘seberapa cepat’ dengan ‘seberapa jauh’ tetapi nilai yang kita dapatkan tergantung kita ingin ‘seberapa cepat’ sebagai skalar atau



besaran vektor. Jika kita ingin mengetahui kecepatan gerak selama total jarak 200 m, kita akan menghitung besaran skalar kecepatan:

kecepatan =  $d \div \Delta t$  atau  $d / \Delta t$  ('perubahan' ' $\Delta$ ' berarti, sehingga 'perubahan waktu' ' $\Delta t$ ' berarti) Jika kita ingin tahu seberapa cepat Andin arah resultan atlet telah pindah, kami akan menghitung besaran vektor kecepatan:

kecepatan ( $v$ ) =  $s \div \Delta t$ ,  $s / \Delta t$ , dalam arah tertentu (yaitu perpindahan perubahan waktu).

Untuk pelari ini, kita ingin tahu kecepatan berjalan lebih dari 200 m, jadi kami menggunakan kecepatan =  $d/\Delta t$ . Jika pelari mengambil 21,2 s untuk menjalankan 200 m, nya kecepatan 200 m/21.2 s, 9,4 m/s. (Dalam notasi ilmiah, ini ditulis sebagai  $9,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  -) Bandingkan ini dengan kecepatan  $5,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  Pada sudut  $36^\circ$  dan anda dapat melihat itu membuat besar.

### 3. Persamaan Angka Ilmiah

Untuk konsistensi, yang terbaik adalah menggunakan notasi ilmiah dalam persamaan. Salah satu cara untuk melakukan ini adalah untuk mengubah tanda-tanda pembagian tanda-tanda perkalian. Misalnya,  $s = d / t$ , kita dapat menulis  $s = d \cdot t^{-1}$ , yang secara harfiah berarti kalikan  $d$  oleh  $t$  pangkat 'minus satu'. 'Minus satu' berarti kita menggunakan inverse atau  $1 / t$ . Membagi dengan nomor sama dengan mengalikan dengan timbal baliknya.

Anda dapat memeriksa ini: dalam kalkulator Anda, masukkan ' $6 / 2 =$ ' yang jawabannya adalah 3, kemudian masukkan ' $6 \times 0,5 =$ ', yang juga akan memberikan 3. Anda sudah dibagi dengan jumlah dalam contoh pertama dan dikalikan dengan timbal balik di kedua.

Notasi ini umumnya digunakan untuk menunjukkan unit pengukuran dalam jawaban untuk masalah matematika. Sebagai contoh, menggunakan  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  (meter per detik) bukan  $\text{m} / \text{s}$  atau  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  bukan  $\text{m} / \text{s} / \text{s}$  untuk percepatan.

Perbedaan apakah kita menghitung kecepatan (skalar) atau kecepatan (vektor). Dalam beberapa kasus, hal ini sangat berguna untuk menghitung kecepatan. Jika triatlon seharusnya berenang 1,5 km melintasi danau, yang penting adalah waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan jarak itu, bahkan jika mereka kehilangan arah mereka dan berenang jarak yang sebenarnya dari 2 km di sana.

## B. KECEPATAN

Kecepatan adalah besaran vektor yang menunjukkan seberapa cepat benda berpindah. Besar dari vektor ini disebut dengan kelajuan dan dinyatakan dalam satuan meter per sekon ( $m/s$  atau  $ms^{-1}$ ). **Kecepatan** adalah jarak yang ditempuh oleh suatu benda dalam suatu waktu.

Rumusnya:

$$V = S / T$$

Dengan:

V = kecepatan

S = Jarak

T = waktu

Artinya : apabila ada seseorang yang menempuh jarak sejauh 100 meter dalam waktu 10 detik, maka kecepatannya adalah 10 m/s. Satuan kecepatan sendiri bermacam-macam, tetapi yang sering digunakan adalah Km/Jam.

Jika ada seorang pelari yang berhasil memecahkan rekor kejuaraan lari 100 meter dengan memakan waktu sebesar 10 detik, maka sebenarnya dia sama saja dengan berlari berkecepatan 36 KM/Jam. Kecepatan rata-rata merupakan panjang lintasan total yang ditempuh per waktu keseluruhan. Kecepatan sesaat, merupakan kecepatan benda pada saat tertentu. Limit kecepatan rata-rata ketika selang waktu mendekati nol. Kecepatan rata-rata yaitu hasil bagi/perbandingan antara jarak total yang ditempuh benda dengan selang waktu untuk menempuh jarak tersebut. Kecepatan rata-rata dirumuskan sebagai berikut ini:

$$V = \text{Jarak Total} / \text{Waktu Total}$$

Beberapa satuan kecepatan lainnya adalah:

1. Meter per detik dengan simbol m/detik.
2. Kilometer per jam dengan simbol km/jam atau kph.
3. Mil per jam dengan simbol mil/jam atau mph.
4. Knot merupakan singkatan dari nautical mile per jam.
5. Mach yang diambil dari kecepatan suara. Mach 1 adalah kecepatan suara.
6. Kecepatan cahaya atau disebut juga sebagai konstanta cahaya dinyatakan dengan simbol.

*Speed* adalah tingkat dimana objek mencakup jarak tertentu. *Speed* merupakan besaran skalar dalam arti arah tidak diperhitungkan untuk menentukan kecepatan. Apabila sebuah benda tidak menempuh jarak sama sekali maka speednya adalah nol. *Speed* rata-rata dapat dihitung dengan membagi jarak yang ditempuh/waktu tempuh. *Speed* rata-rata sering digunakan untuk memperkirakan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suatu jarak antara titik-titik tertentu ketika mengemudi yang dapat dipantau dalam speedometer. Di dalam kinematika, kelajuan (atau laju) suatu objek (simbol:  $v$ ) ialah besarnya (magnitudo) kecepatan objek tersebut; oleh karena itu, kelajuan merupakan besaran skalar. Kelajuan rata-rata dari sebuah objek adalah besarnya jarak yang ditempuh oleh suatu objek dibagi dengan interval waktu yang dibutuhkan. Kelajuan sesaat adalah limit dari kecepatan rata-rata ketika selang waktu mendekati nol. Kecepatan mempunyai arah sedangkan kelajuan tidak memiliki. (Andrews-Speed, 2016)

Kecepatan, atau kelajuan juga memiliki analisis dimensi berupa panjang dibagi waktu, satuan SI dari kelajuan adalah meter per sekon, tetapi satuan yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah kilometer per jam atau mil per jam (di Inggris dan Amerika Serikat). Untuk transportasi laut dan udara, satuan yang biasa digunakan adalah knot. Dalam aspek kehidupan kecepatan sangat diperlukan untuk mengerjakan sebuah aktivitas secara tepat dan efisien. Kelajuan maksimum yang mungkin dicapai oleh suatu energi, menurut relativitas khusus, adalah kecepatan cahaya dalam ruang vakum  $c = 299.792.458$  meter per sekon, atau 1079 juta kilometer per jam (671,000,000 mil per jam). Materi biasa tidak dapat mencapai kecepatan cahaya karena dibutuhkan energi yang tak terbatas jumlahnya (Finkel & Eastwick, 2008).

Fisikawan Italia, Galileo Galilei adalah ilmuwan pertama yang mengukur besarnya kelajuan dengan mengukur jarak yang ditempuh dan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut. Galileo mendefinisikan kelajuan sebagai jarak per satuan waktu. Persamaannya adalah sebagai berikut dengan  $v$  adalah kelajuan,  $d$  adalah jarak, dan  $t$  adalah waktu. Seseorang yang bersepeda menempuh jarak 30 meter dalam 2 detik maka mempunyai kelajuan 15 meter per detik. Dalam analisis matematika, kelajuan  $v$  didefinisikan sebagai besaran dari kecepatan  $v$ , yang merupakan turunan dari posisi  $r$  terhadap waktu: Jika  $s$  adalah panjang lintasan yang ditempuh selama selang waktu  $t$ , maka kelajuan sama dengan turunan  $s$  terhadap waktu: Dalam sebuah kasus dimana kecepatan konstan (kecepatan konstan pada garis lurus), maka rumus di atas bisa disederhanakan menjadi  $v = s/t$ . Kecepatan rata-rata adalah total jarak yang ditempuh dibagi dengan waktu total tempuh.

*Speed* menurut definisi teknisnya adalah jumlah skalar yang menunjukkan tingkat jarak gerak per waktu. Unitnya panjang dan waktu. Dengan kata lain, kecepatan adalah ukuran jarak yang ditempuh selama waktu tertentu. Kecepatan sering digambarkan hanya sebagai jarak yang ditempuh per unit waktu. Hal ini adalah seberapa cepat suatu objek bergerak. *Speed* mengacu pada besaran laju atau tingkatan kecepatan suatu benda bergerak, atau suatu proses yang sedang berlangsung. Selain menjadi kata benda (noun), 'speed' bisa juga digunakan sebagai kata kerja (verb).

### C. PERCEPATAN

Hal yang perlu kita pahami adalah konsep dari percepatan, yaitu laju perubahan kecepatan. Suatu benda akan mengalami percepatan apabila benda tersebut bergerak dengan kecepatan yang tidak konstan dalam selang waktu tertentu. Misalnya, ada sepeda yang bergerak menuruni sebuah bukit memiliki suatu kecepatan yang semakin lama semakin bertambah selama geraknya. Gerak sepeda tersebut dikatakan dipercepat. Jadi percepatan adalah kecepatan tiap satuan waktu. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$A$	: percepatan, satuan $m/s^2$
$\Delta v$	: perubahan kecepatan, satuan $m/s$
$\Delta t$	: perubahan waktu, satuan (s)

Percepatan merupakan besaran vektor. Percepatan dapat bernilai positif ( $+a$ ) dan bernilai negatif ( $-a$ ) bergantung pada arah perpindahan dari gerak tersebut. Percepatan yang bernilai negatif ( $-a$ ) sering disebut dengan perlambatan. Pada kasus perlambatan, kecepatan  $v$  dan percepatan  $a$  mempunyai arah yang berlawanan.

Perbedaan dalam contoh lain percepatan dan kecepatan yang paling mendasar **percepatan** adalah seberapa cepat sebuah mobil dapat menambah kecepatannya, sedangkan **kecepatan** meliputi seberapa cepat sebuah mobil menempuh jarak tertentu.

Percepatan ( $a$ ) =  $\Delta v / \Delta t$  (ini dapat dibaca sebagai 'perubahan kecepatan selama perubahan tertentu dalam waktu') atau  $v \cdot t^{-2}$ . Kecepatan diukur dalam  $m \cdot s^{-1}$  (meter per detik), dan perubahan kecepatan dari waktu ke waktu dalam  $m \cdot s^{-2}$  (meter per detik per detik).

Tingkat aktual percepatan tidak dapat diukur secara langsung dari informasi dalam Gambar 1.1 karena kita hanya tahu bahwa kecepatan rata-rata atlet lebih dari 200 m adalah  $9,4 m \cdot s^{-1}$ , daripada kecepatan sesaat mereka. Jika

kita menentukan kecepatan pelari di 10 m maka sebagai  $5,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  dan itu membawa mereka 1,8 s untuk sampai ke sana, maka akselerasi akan dihitung sebagai  $5.9/1.8 = 3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  (yaitu,  $\Delta v / \Delta t = 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  - ingat untuk membaca ini sebagai 'perubahan kecepatan selama perubahan tertentu dalam waktu'). Dalam banyak olahraga, perhitungan akselerasi sangat penting, misalnya olahraga di mana mengubah arah penting, atlet yang bisa paling cepat mengubah arah dan mempercepat biasanya akan menang. Jika Anda ingin beberapa ide tentang bagaimana cepat atlet ini dipercepat, membandingkan tingkat  $3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  dengan yang ada di bawah ini.

Kadang-kadang, ketika kita melihat angka-angka, sulit untuk membayangkan seberapa besar atau cepat atau kecil mereka. Sebagai perbandingan, tabel di bawah ini menunjukkan kecepatan tertinggi estimasi dan percepatan dari beberapa hewan darat tercepat. Kecepatan Hewan ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Kecepatan ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) Percepatan ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ).

<i>Animal</i>	<i>Speed (<math>\text{m} \cdot \text{s}^{-1}</math>)</i>	<i>Speed (<math>\text{km} \cdot \text{h}^{-1}</math>)</i>	<i>Animal</i>	<i>Acceleration (<math>\text{m} \cdot \text{s}^{-2}</math>)</i>
Human <sup>a</sup>	12.1	43.6	Human <sup>b</sup>	3.5
Cheetah	29	104.5	Lion <sup>c</sup>	9.5
Lion	22	80	Gazelle <sup>c</sup>	4.5
Gazelle	22	80		
Hunting dog	20	72		
Ostrich	18	64		
Domestic cat	13	48		
Elephant	11	40		

Data diolah dari: Natural History magazine, 1974.

- Data Donovan Bailey diukur dengan Radar di Atlanta Olimpiade 100 m, 1996.
- Rata-rata percepatan Maurice Greene 0-10 m 100 m di Athena Grand Prix 1999 (kemudian rekor dunia: 9.79 s).
- Data dari Elliott et al, 1977, In: Alexander, RM Prinsip Animal Locomotion, Princeton University Press.

## Menggambarkan Arah Pergerakan

Hal terakhir yang kita harus tahu adalah bagaimana untuk menggambarkan perubahan dalam perpindahan/jarak, kecepatan dan akselerasi/percepatan. Apabila kita bergerak menjauh dari titik yang ditunjuk, maka kita telah



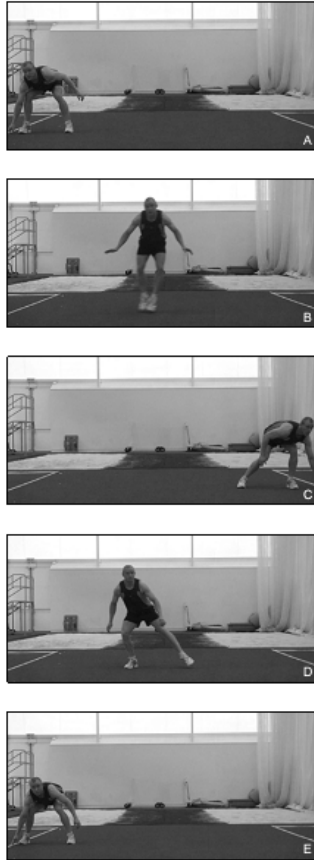
untuk kecepatan: jika kita bergerak pada kecepatan yang ke kanan, kecepatan kita positif tapi kemudian jika kita mengubah arah ke kiri maka kecepatan kami negatif.

Secara umum, jika kita mempercepat kita mengatakan bahwa percepatan positif tetapi jika kita memperlambat kita mengatakan bahwa percepatan negatif. Namun, kita harus lebih spesifik ketika kita termasuk arah positif atau negatif. Jika kita bergerak ke kanan (atau arah positif) dengan laju yang konstan, percepatan adalah nol. Jika kita bisa lebih cepat dalam arah positif maka kita percepatan positif. Jika kita kemudian melambat, kita mempercepat negatif (atau melambat) tapi masih dalam arah positif.

Jika kita kemudian berbalik dan mempercepat kembali ke titik awal kita, yaitu, ke arah negatif, ini adalah percepatan negatif. Percepatan dalam arah negatif (atau percepatan negatif) adalah apa yang akan terjadi jika kita terus menerapkan kekuatan yang menentang arah kami asli gerakan. Pikirkan troli cahaya bergulir ke depan dan kemudian menjadi diperlambat oleh embusan angin yang datang dari arah lain: angin pertama akan memperlambat dan kemudian akhirnya mendorongnya mundur. Percepatan selalu dalam sama, negatif, arah, meskipun kita melihat troli memperlambat dan kemudian mempercepat. Jika angin berhenti dan troli (yang sekarang bergerak mundur) melambat dan terhenti, itu akan mempercepat negatif dalam arah negatif (yaitu, melambat ke arah negatif - yang merupakan percepatan positif - dua negatif membuat positif). Anda dapat melihat atlet *accelerating* positif dan negatif pada gambar diatas.

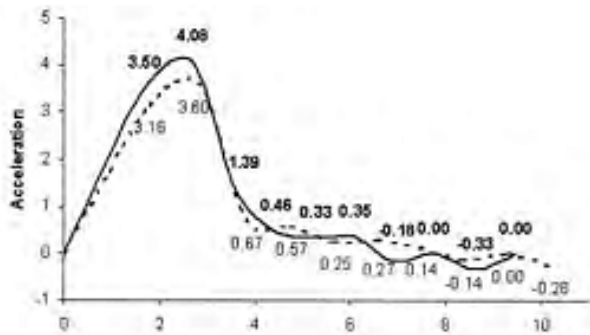
Hal ini mungkin paling mudah (dan memang sangat umum) untuk menggunakan istilah mempercepat dan mengurangi kecepatan untuk menunjukkan mempercepat atau memperlambat, kemudian menjelaskan arah perjalanan sebagai positif dan negatif. Namun, Anda harus memahami persyaratan sehingga anda tidak kebingungan. Jika objek semakin cepat saat bergerak ke arah yang positif atau melambat ke arah negatif itu mempercepat positif tetapi jika melambat sambil bergerak dalam positif arah atau mempercepat dalam arah negatif mengalami percepatan negatif.

Sebuah tes sederhana akan menentukan apakah Anda benar-benar memahami posisi, kecepatan dan akselerasi. Tes ini untuk melihat apakah anda dapat menggambar kurva kecepatan dan perpindahan - agar - dari grafik percepatan. Gambar tersebut merupakan grafik akselerasi dan di bawahnya adalah dua grafik yang harus Anda menutupi dengan selembur kertas. Tanpa mengintip, melihat apakah Anda pertama dapat bekerja apa grafik kecepatan akan terlihat seperti, menggunakan informasi dari grafik percepatan.

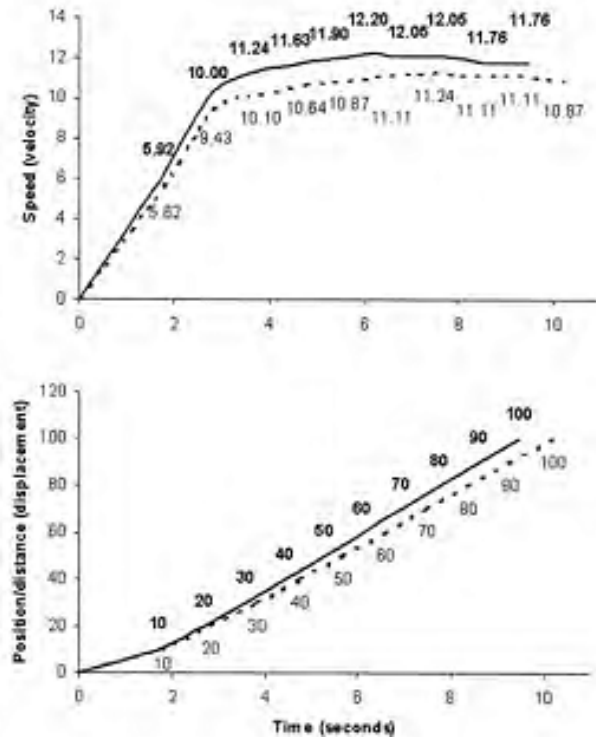


**Gambar 3.2.** Pelaksanaan Tes Kelincahan

Dalam tes kelincahan di atas, atlet mempercepat arah positif ke kiri (kanan kami) dari gambar A ke B kemudian mempercepat negatif dari B ke C dan D. Percepatan positif lagi dari D ke E. Foto B ke C dan D ke E terlihat atlet melambat.







Grafik di atas diambil dari data yang mewakili tercepat 10 m kali split untuk sprinter terbaik dunia pra-2002 (diadaptasi dari [http://rundown.com/statistics/100m\\_top\\_splits.php](http://rundown.com/statistics/100m_top_splits.php)) untuk pria (garis tebal gelap dan angka) dan perempuan (garis putus-putus dan nomor ringan). Para atlet 'waktu reaksi tidak termasuk. Seperti biasa, grafik percepatan bervariasi, dengan variasi yang lebih sedikit untuk kecepatan dan kurang lagi untuk posisi/jarak. Hal ini juga dapat dilihat bahwa perempuan mempercepat mirip dengan laki-laki awal (hingga 10 m atau 20 m), tetapi mencapai kecepatan tertinggi lebih rendah, yang mereka tampaknya terus sama baiknya. Semakin besar kecepatan tertinggi memungkinkan orang-orang untuk mencapai setiap titik 10-m lebih cepat dari perempuan, pada akhirnya menyebabkan mereka menyelesaikan 100 m lebih cepat. Grafik ini menunjukkan bahwa jika Anda mengambil segmen tercepat dijalankan oleh pelari apapun dan menempatkan mereka bersama-sama, 100 m dapat diselesaikan dalam 9,46 s oleh laki-laki dan 10,20 s oleh perempuan. Bahkan dengan waktu reaksi 0,1 s (waktu reaksi tercepat hukum sesuai dengan peraturan IAAF saat ini), tampaknya laki-laki (9,56 s) dan perempuan (10,30 s) saat ini mampu menjalankan 100 m secara signifikan lebih cepat daripada

rekor dunia saat ini 9,78 s dan 10.54 s, untuk pria dan wanita masing-masing. Sebagai isu sampingan, unit untuk posisi/jarak, kecepatan dan percepatan yang tidak termasuk pada grafik apa unit harus digunakan dan apa singkatan yang umum untuk ini.

Ketika memperbincangkan dua orang atlet *bungee jumpers* (pelompat dari ketinggian tertentu dengan tubuhnya diikat tali), maka kita membahas percepatannya ketika mereka jatuh ke tanah. Pada intinya kita perlu pahami bahwa istilah speed dan akselerasi merupakan dua gaya yang memiliki arti dan fungsi yang berbeda, di dalam buku ini terdapat juga istilah velocity yang perlu dipahami dan istilah tersebut akan dijelaskan dalam buku ini. Jika seorang pelari sprint berlari 100 m dalam waktu 10 detik, kita ketahui bahwa pelari berlari pada jarak tertentu (100 m) dengan waktu tertentu (10 det). Dari informasi ini, maka kecepatan (*speed*) rata-rata pelari adalah 35 km/jam atau 22,36 mph (mil/jam = 10,9 yd/sec). Kecepatan merupakan suatu proses berpindah tempat dengan durasi waktu yang sangat singkat. Kecepatan bersifat lokomotor serta gerakan yang bersifat bersifat siklik (satu jenis gerakan yang dilakukan berulang-ulang) (Mouromadhoni & Kuswanto, 2019).

Kecepatan adalah besaran vektor yang menunjukkan seberapa cepat benda berpindah. Besar dari vektor ini disebut dengan kelajuan dan dinyatakan dalam satuan meter per sekon ( $m/s$  atau  $ms^{-1}$ ). **Kecepatan** adalah jarak yang ditempuh oleh suatu benda dalam suatu waktu.

Rumusnya :

$$V = d/t$$

Dengan :

V = kecepatan

d = distance/jarak (m)

t = time/waktu (detik)

Artinya, apabila ada seseorang yang menempuh jarak sejauh 100 meter dalam waktu 10 detik, maka kecepatannya adalah 10 m/s. Satuan kecepatan sendiri bermacam-macam, tetapi yang sering digunakan adalah Km/Jam.

Deselerasi beraturan (*uniform deceleration*) tidak begitu sering terjadi dalam olahraga. Ketika atlet (dan benda seperti bola dan lembing) sedang bergerak, berbagai gaya seperti gesekan dan tahanan udara telah mempengaruhi gerakannya, dan gaya-gaya ini menyebabkan perubahan percepatan (atau deselerasi) (tidak beraturan). Sekalipun demikian, salah satu contoh terbaik tentang percepatan

dan deselerasi beraturan ini terjadi selama melayang dalam waktu yang singkat seperti pada loncat indah dan senam.

Hal yang perlu kita pahami adalah konsep dari percepatan, yaitu laju perubahan kecepatan. Suatu benda akan mengalami percepatan apabila benda tersebut bergerak dengan kecepatan yang tidak konstan dalam selang waktu tertentu. Misalnya, ada sepeda yang bergerak menuruni sebuah bukit memiliki suatu kecepatan yang semakin lama semakin bertambah selama geraknya. Gerak sepeda tersebut dikatakan dipercepat. Jadi percepatan adalah kecepatan tiap satuan waktu. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.:

$A$  : percepatan, satuan  $m/s^2$

$\Delta v$  : perubahan kecepatan, satuan  $m/s$

$\Delta t$  : perubahan waktu, satuan (s)

Percepatan merupakan besaran vektor. Percepatan dapat bernilai positif ( $+a$ ) dan bernilai negatif ( $-a$ ) bergantung pada arah perpindahan dari gerak tersebut. Percepatan yang bernilai negatif ( $-a$ ) sering disebut dengan perlambatan. Pada kasus perlambatan, kecepatan  $v$  dan percepatan  $a$  mempunyai arah yang berlawanan.

Istilah velocity cocok untuk menggambarkan speed, akselerasi, dan deselerasi. Velocity tidak lain adalah deskripsi speed yang lebih tepat. Velocity berarti menggambarkan speed dan arah (*direction*). Contoh: 20 mph secara sederhana menunjukkan speed; 20 mph arah selatan menunjukkan velocity. Speed menggambarkan seberapa cepat. Velocity menggambarkan seberapa cepat dan arahnya.

Gerakan ini dilakukan atlet dengan memutar lutut kanan dan bola kaki ke arah dalam disertai tumit yang diputar keluar, diikuti pula dengan mendaratkan kaki kiri di depan lingkaran sebagai pengereman sepersekian detik dari velocity ke depan dan velocity putar sebagai awal dari peningkatan velocity vertikal. Gerak berikutnya atlet mengekstensi sendi pinggul, lutut dan engkel yang akan mendorong pinggul atlet dan semuanya ke arah depan yaitu dengan memilin tungkai kanan dan diluruskan eksplosif. Hal ini terdapat pada setiap cabang olahraga sehingga velocity merupakan sebuah disiplin ilmu yang berperan dalam meningkatkan prestasi atlet. (Tri Iswoyo, 2015). Massa tubuh dan tinggi badan seseorang sangat memengaruhi panjang langkah dan frekuensi langkah, terlepas dari tingkat kebugaran fisik atlet. Massa otot penting untuk fase akselerasi perlombaan, di mana sangat penting untuk mengatasi inersia dan meningkatkan panjang tubuh. stride. Tinggi badan memiliki dampak yang lebih besar pada mempertahankan kecepatan dan panjang langkah.

## Pengaruh Gravitasi pada Penampilan Atlet

Seperti kita ketahui bahwa tarikan gravitasi bumi bervariasi. Bagaimana pengaruhnya perbedaan ini terhadap penampilan atlet? Atlet mengalami sedikit perubahan gaya ini ketika di Olimpiade Mexico City tahun 1968 yang terletak di dataran lebih tinggi dan lebih dekat ke equator dari pada Olimpiade 1952 di Helsinki atau Olimpiade 1980 di Moscow, kedua tempat ini lokasinya berada di ketinggian laut. Penurunan sedikit tarikan gravitasi dalam lapisan udara yang tipis seperti yang terjadi di dataran yang lebih tinggi, sangat berpengaruh terhadap atlet yang bertanding di Mexico City.

Ketika Bob Beamon memecahkan rekor lompat jauh di Mexico City, keuntungan telah diperoleh dari adanya penurunan gaya gravitasi, tahanan udara yang menurun akibat lapisan udara yang tipis (terutama ketika melakukan lari awalan), dan kenyataannya adalah bahwa larinya adalah sprint dan bukan jarak jauh. Setelah bertahun-tahun, rekor ini berhasil dipecahkan oleh Mike Powell tahun 1991 dalam kejuaraan atletik dunia di Tokyo, yang letaknya lebih rendah dari Mexico City. Peristiwa lainnya terjadi di Italia tahun 1995, ketika pelompat Kuba Ivan Pedrosa memecahkan rekor dengan hanya berbeda beberapa centimeter lebih jauh dari Mike Powel. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa MOI suatu implement memiliki hubungan terbalik dengan kecepatan ayunan, dengan bukti dalam bola baseball.

Ketika seorang pemain ingin melakukan pukulan terhadap bola baseball tidak hanya kesedar mengayunkan bat/pemukul dengan kecepatan saja, namun ketiga unsur dijalankan bersamaan oleh seorang pemain, yaitu kecepatan lemparan akselerasi lemparan yang dilakukan oleh pihak musuh dan adanya gaya gravitasi yang akan mempengaruhi kecepatan bola, sehingga seseorang pemain baseball benar-benar konsentrasi saat melakukan sebuah pukulan. Pengaruh gravitasi terhadap penampilan atlet sangat besar karena pertandingan dalam setiap cabang olahraga 90% dilakukan di luar ruangan (*outdoor*) sehingga sangat besar sekali pengaruh gaya gravitasi terhadap penampilan seorang atlet.

## Percepatan Gravitasi

Pada tahun 1687, Newton mempublikasikan hasil penelitiannya tentang hukum gravitasi pada hasil riset yang berjudul *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Hukum Newton ini menjelaskan bahwa “setiap partikel di alam saling tarik menarik dengan partikel lain yang besarnya sebanding dengan perkalian massa kedua partikel dan berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak kedua partikel”. Dengan demikian, percepatan gravitasi merupakan suatu tetapan

ukuran suatu objek yang ekuivalen dengan 1 g, dengan nilai sebesar nilai sebesar 9,80665 m/s. Sebagai contoh sederhana pada saat kita menggunakan pegas atau bandul yang diketahui konstanta-konstantanya. Dengan melakukan pengukuran dapat ditentukan nilai percepatan gravitasi di suatu tempat, yang umumnya berbeda dengan tempat lain.

Percepatan pelompat galah ke arah bumi, sama seperti yang dialami oleh peloncat indah ketika jatuh ke air. Karena tarikan gravitasi bumi, maka peloncat indah terus bergerak cepat selama jatuh ke air. Percepatan sangat tinggi yang disebabkan tarikan gravitasi menyebabkan olahraga loncat indah menjadi cabang olahraga yang berbahaya. Ketinggian papan loncat 10 m dari permukaan air. Peloncat memerlukan waktu sekitar 1,75 detik untuk sampai ke permukaan air dengan kecepatan mendekati 38 mph. Air akan terasa sangat keras ketika peloncat menyentuhnya dengan kecepatan sebesar itu.



**Gambar 3.3.** Pengaruh Gravitasi pada Penampilan Atlet

Para atlet lompat akan mengalami kecepatan gravitasi yang sangat dirasakan ketika terjun bebas dari ketinggian gala. Setelah melepaskan tongkatnya, hal ini berbanding terbalik ketika seorang atlet gala memulai untuk melakukan awalan sampai pada tumpuhan untuk mendorong seluruh badannya ke atas untuk melewati gala. Pada saat seorang atlet gala melakukan tolakan maka yang terjadi adalah atlet tersebut melawan arah gravitasi tetapi setelah melewati batas yang ditentukan maka atlet tersebut tidak melawan gaya gravitasi namun searah dengan gaya gravitasi menuju ke awal daratan.

Akselerasi adalah istilah lain dari percepatan yang dimana benda akan mengalami penambahan kecepatan dalam jangka waktu tertentu. Satuan dari akselerasi atau percepatan ini adalah  $m/s^2$  atau  $m.s^{-2}$ . Akselerasi tidak akan tercipta jika benda tidak bergerak (tidak memiliki kecepatan) atau benda bergerak dengan kecepatan tetap.

Akselerasi juga dapat definisi sebagai perubahan kecepatan dalam satuan waktu tertentu. Umumnya, percepatan dilihat sebagai gerakan suatu objek yang semakin cepat ataupun lambat. Namun percepatan adalah besaran vector sehingga percepatan memiliki besaran dan arah. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia akselerasi yaitu: Proses mempercepat, Peningkatan kecepatan, Peningkatan kecepatan laju perubahan. (Schmidt et al., 2009)

Percepatan menurut istilah dalam dunia otomotif yaitu penambahan kecepatan melalui pemutaran dengan satuan kecepatan lari awal kendaraan. Akselerasi atau percepatan merupakan istilah yang digunakan untuk peningkatan kecepatan. Percepatan merupakan perubahan kecepatan dalam satu waktu tertentu. Pada umumnya, percepatan dilihat sebagai gerakan suatu objek yang semakin cepat ataupun lambat. Pengambilan tema berdasarkan atas inti kegiatan dari balapan. Percepatan dari sebuah benda ada dua, yakni percepatan positif yaitu penambahan kecepatan sebuah benda (dipercepat), dan percepatan negatif yaitu pengurangan kecepatan sebuah benda (diperlambat) (Chater, 2016).

Sifat akselerasi memiliki karakternya sendiri, berikut adalah abstraksi mengenai dari kesan akselerasi:

1. Kesan bergerak dapat ditangkap pula pada objek yang tidak bergerak dengan cara permainan perulangan pada elemen bangunan, serta permainan lighting bangunan.
2. Kunci dari efek gerakan yang muncul dalam objek tak bergerak adalah dengan cara memainkan asumsi dari otak kita yang menghubungkan sebuah titik hilang yang diakibatkan oleh perulangan elemen bangunan. Permainan cahaya, juga dapat menguatkan kesan gerakan dari benda diam, ketika lighting tersebut dimunculkan dengan perulangan menjauh.

Pada perancangan tema yang digunakan adalah akselerasi pada bentuk. Dalam ilmu fisika akselerasi merupakan istilah yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan (besarnya kecepatan), percepatan dilihat dari pergerakan suatu objek yang semakin cepat ataupun lambat. Akselerasi yang diterapkan dalam sebuah perencanaan akan memberikan dampak yang positif dalam setiap aktivitas.

Akselerasi didefinisikan sebagai kuantitas vektor yang menunjukkan laju perubahan kecepatan. Hal ini memiliki dimensi panjang dan waktu ke waktu. Akselerasi sering disebut sebagai “mempercepat”, tetapi itu benar-benar mengukur perubahan kecepatan. Akselerasi bisa dialami setiap hari di dalam kendaraan. Anda menginjak pedal gas dan mobil mempercepat, meningkatkan kecepatannya.

## VELOCITY

Velocity adalah suatu istilah asing yang memiliki arti yaitu kecepatan. Kecepatan adalah perpindahan suatu benda setiap satu-satuan waktu tertentu. Kecepatan ini memiliki satuan yaitu m/s atau  $m.s^{-1}$  (^ adalah simbol pangkat). Velocity dapat diartikan sebagai tingkat dimana suatu objek mengalami perubahan posisi. Hal ini merupakan besaran vektor. Laju perubahan velocity terhadap waktu disebut dengan percepatan. Untuk memertahankan velocity konstan maka objek melakukan perjalanan dalam kecepatan konstan dalam arah yang konstan pula.

Arah dari velocity adalah arah dimana objek bergerak. Nilai mutlak dari velocity adalah speed. Apabila objek kembali ke titik awal maka velocity adalah nol. didefinisikan sebagai pengukuran vektor laju dan arah gerakan. Sederhananya, kecepatan adalah kecepatan di mana sesuatu bergerak dalam satu arah. Kecepatan mobil yang melaju ke utara di jalan bebas hambatan utama dan kecepatan peluncuran roket ke ruang angkasa keduanya dapat diukur menggunakan kecepatan. Besarnya vektor kecepatan adalah kecepatan gerak. Dalam istilah kalkulus, kecepatan adalah turunan pertama dari posisi sehubungan dengan waktu. Kemudian menghitung kecepatan dengan menggunakan rumus sederhana yang mencakup laju, jarak, dan waktu (Alu, 2011).

Velocity adalah kuantitas vektor yang menunjukkan perpindahan, waktu, dan arah. Tidak seperti kecepatan, kecepatan mengukur perpindahan, kuantitas vektor yang menunjukkan perbedaan antara posisi akhir dan awal objek. Kecepatan mengukur jarak, kuantitas skalar yang mengukur panjang total lintasan objek. Velocity mengukur gerakan yang dimulai di satu tempat dan menuju ke tempat lain. Aplikasi praktis kecepatan tidak terbatas, tetapi salah satu alasan paling umum untuk mengukur kecepatan adalah untuk menentukan seberapa cepat Anda (atau apa pun yang bergerak) akan tiba di tujuan dari lokasi tertentu (Mojahedi, Malloy, Eleftheriades, Woodley, & Chiao, 2003).

Velocity memungkinkan untuk membuat jadwal untuk perjalanan, jenis masalah fisika yang umum diberikan kepada siswa. Misalnya, jika sebuah kereta meninggalkan Stasiun Penn di New York pada pukul 14:00 dan Anda tahu kecepatan kereta itu bergerak ke utara, Anda dapat memperkirakan kapan kereta itu akan tiba di Stasiun Selatan di Boston. Velocity lebih banyak digunakan dalam konteks teknis untuk kecepatan dan terbatas sebagai kata benda (noun) saja. Kata ini mempunyai dua makna secara bersamaan, yaitu seberapa besar laju dan ke mana arah dari proses yang dimaksud. *If an object is moving in one direction without a force acting on it, then it continues to move in that direction*

*with a constant velocity.* (Jika suatu benda bergerak pada satu arah tanpa gaya tertentu bekerja pada benda tersebut, maka benda akan melanjutkan gerakan pada arah yang sama dengan kecepatan tetap) didefinisikan sebagai pengukuran vektor laju dan arah gerakan. Sederhananya, kecepatan adalah kecepatan di mana sesuatu bergerak dalam satu arah. Kecepatan mobil yang melaju ke utara di jalan bebas hambatan utama dan kecepatan peluncuran roket ke ruang angkasa keduanya dapat diukur menggunakan kecepatan. *Speed, Velocity,* dan *Acceleration* semuanya terkait satu sama lain, meskipun mereka mewakili pengukuran yang berbeda. Berhati-hatilah untuk menggunakan nilai-nilai ini satu sama lain.



## **BAB IV**

# **TITIK BERAT, KESEIMBANGAN, DAN STABILITAS**

### **A. TITIK BERAT**

Setiap benda yang menempati ruang pasti memiliki massa dan berat. Massa merupakan unsur intrinsik yang dimiliki oleh setiap benda. Jadi massa itu bagian yang tak terpisahkan dari benda, yang selalu ada bersama dengan benda tersebut. Sedangkan gaya berat (biasa disebut berat saja) atau biasa pula disebut sebagai gaya gravitasi merupakan besar gaya yang timbul akibat adanya interaksi antar benda bermassa. Misalnya berat sebuah batu adalah 10 Newton, maka berat disini merupakan gaya interaksi batu tersebut terhadap bumi. Berat benda di permukaan bumi ini merupakan hasil perkalian massa dengan percepatan gravitasi (Geissler, 2005). Gerakan postur tubuh melibatkan tindakan terkoordinasi dari pergelangan kaki, lutut, sendi pinggul, dan juga leher (Jacobson et al., 2016). *Center of Gravity* (titik berat badan) merupakan sebuah titik di tengah area yang terdapat di dalam batas perimeter goyangan (Jacobson et al., 2016).

Partikel sekecil apapun juga pasti akan memiliki berat. Berat total yang dimiliki oleh suatu benda merupakan jumlah total dari setiap gaya berat (gaya gravitasi) yang dialami oleh setiap partikel-partikel penyusunnya. Jadi berat batu yang tadi 10 Newton merupakan hasil dari penjumlahan berat-berat dari partikel-partikel penyusun buku tersebut. Semua gaya tersebut mengarah ke bawah (pusat bumi), diantara semua gaya-gaya tersebut, terdapat satu titik yang merupakan pusat dari semua gaya-gaya yang dihasilkan dari partikel penyusun. Titik tersebutlah yang kemudian disebut sebagai titik berat. Apabila sebuah benda tegar datar (dua dimensi), misalkan karton berbentuk persegi, ditumpu

pada titik beratnya, maka akan terjadi kesetimbangan. Titik berat karton tersebut berada pada bagian tengah/pusat bangun datar (Iannotti et al., 2017).

Dalam menentukan titik berat benda maka benda tersebut homogen (penyusun zatnya sama) yang memiliki bentuk yang teratur, maka cara menentukannya tidaklah terlalu sulit. Dimana titik berat suatu benda selalu berada di pusat persebaran massa berkonsentrasi. Dengan benda yang homogeny/ bangun yang teratur maka cara menentukan titik berat dengan memperhatikan bentuk bangun dari benda tersebut.

Rumus titik berat benda melibatkan titik berat benda dan luas masing-masing bangun. Untuk keperluan itu, perlu juga menguasai cara mencari luas bangun dan menentukan koordinat titik berat benda. Selain itu juga perlu mengetahui cara menentukan titik berat pada bangun segitiga, jajar genjang, juring lingkaran, atau bangun setengah lingkaran. Titik berat adalah titik tangkap gaya berat. Resultan dari seluruh gaya berat benda yang terdiri atas bagian-bagian kecil benda dinamakan gaya berat (Suárez-Barráz & Smith, 2014). Sebuah benda terdiri atas banyak partikel. Setiap partikel mempunyai massa. Oleh karena itu, tiap partikel mempunyai berat dan titik berat yang berbeda-beda. Partikel-partikel tersebut masing masing mempunyai gaya berat  $w_1, w_2, w_3, w_n$  dengan resultan gaya berat  $w$ .

Ukuran bidang tumpuan merupakan faktor utama dari dalam mencari letak titik berat suatu benda. Hal ini menjadi kesulitan karena setiap manusia memiliki ukuran badan yang berbeda beda dan momen yang berbeda pula. Kemudian masalahnya adalah seseorang harus mempertahankan titik berat badan di atas sebuah bidang tumpuan. Hal yang mempengaruhi mencari titik letak adalah postur tubuh yang tidak ideal, memiliki kelainan pada masa otot, memiliki sebuah keterbatasan pada sebuah fisik. (Arif et al., 2019)

Gaya tarik bumi akan menarik atlet pada titik berat tubuh atlet. Dalam posisi apa saja, berdiri ataupun sedang bergerak, maka gaya gravitasi selalu terpusat pada titik berat atlet. Tubuh atlet berbeda dengan besi tolak peluru (titik beratnya tepat di tengah-tengah besi), karena tubuh tidak terbuat dari bahan yang sama, dan juga massanya tidak terdistribusikan merata dari kepala sampai ujung kaki. Tetapi tubuh atlet tersusun dari bentuk-bentuk dan substansi yang berbeda seperti tulang, otot, lemak, jaringan, yang seluruhnya tidak sama densitasnya. Tulang dan otot lebih padat dari lemak, sehingga lebih besar massanya dan mengisi setiap ruangan yang ditempatinya.

## 1. Memindahkan Letak Titik Berat

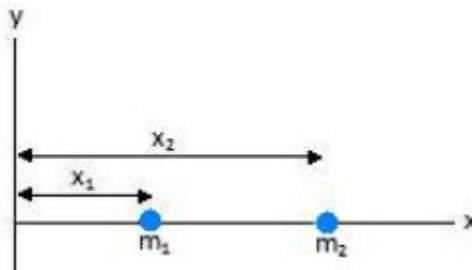
Apabila sebuah gaya diketahui akan mengganggu keseimbangan atlet, dan atlet ingin mempertahankan keseimbangannya, maka titik beratnya harus ditempatkan di sisi bidang tumpuan yang terdekat dengan arah datangnya gaya tersebut. Atlet akan stabil dengan kondisi ini karena titik beratnya akan dipindahkan dengan jarak maksimum sebelum ke luar dari bidang tumpuannya. Efek dari gaya yang datang ini selanjutnya dapat dihilangkan dengan menciptakan momentum (tenaga) yang arahnya berlawanan dengan arah gaya tersebut. Sehingga memindahkan letak titik berat selalu diiringi dengan kestabilan atlet (Yadi Sunaryadi, 2019).

Jarak berpindahnya titik berat tergantung pada seberapa besar dan jauh massa tubuh dipindahkan. Tungkai cukup berat dan memiliki massa yang besar, sehingga menyebabkan pemindahan titik berat yang lebih besar daripada ketika memindahkan salah satu lengan saja. Meletakkan kedua tangan di pinggang memindahkan titik berat badan sama dengan memiringkan kepala. Pemindahan titik berat badan selalu berkaitan dengan jumlah massa yang dipindahkan dan jarak yang ditempuhnya.

Pusat massa adalah lokasi rerata dari semua massa yang ada di dalam suatu sistem. Dalam kasus benda tegar, letak pusat massa adalah tetap dalam hubungannya dengan tubuh benda. Dalam kasus distribusi longgar massa di dalam ruang bebas, seperti misalnya peluru tembakan dari senapan atau planet-planet pada tata surya, letak pusat massa adalah titik dalam ruang di antara mereka yang mungkin tidak berhubungan dengan posisi massa manapun pada benda tersebut. Penggunaan pusat massa sering memungkinkan penggunaan persamaan gerak yang disederhanakan, dan merupakan suatu acuan yang mudah digunakan untuk banyak perhitungan lainnya dalam ilmu fisika, seperti momentum sudut atau momen inersia. Pada berbagai penerapan, misalnya seperti pada mekanika orbital, objek-objek dapat digantikan oleh titik-titik massa yang terletak di pusat massa mereka dengan tujuan mempermudah analisis.

Istilah pusat massa sering dipersamakan dengan istilah pusat gravitasi, namun demikian mereka secara fisika merupakan konsep yang berbeda. Letak keduanya memang bertepatan dalam kasus medan gravitasi yang sama, akan tetapi ketika gravitasinya tidak sama maka pusat gravitasi merujuk pada lokasi rerata dari gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda. Hal ini menghasilkan suatu torsi gravitasi, yang kecil tetapi dapat terukur dan harus diperhitungkan dalam pengoperasian satelit-satelit buatan.

Pusat massa juga dapat diartikan sebagai sebuah titik pada benda di mana massa semua partikel penyusun benda dianggap terpusat pada titik tersebut. Benda tegar dianggap tersusun dari banyak partikel dan massa. Sebuah benda merupakan jumlah massa masing-masing partikel penyusun benda tersebut. Setiap benda tegar dianggap tersusun dari banyak partikel di mana jarak antara setiap partikel sama. Walaupun demikian, untuk mempermudah penurunan rumus menentukan pusat massa, dibuat penyederhanaan dengan menganggap benda tegar hanya terdiri atas dua partikel. Kedua partikel ini dapat disebut sistem benda tegar.



$m_1$  = massa partikel 1,  $m_2$  = massa partikel 2. Kedua partikel berada pada sumbu x. Partikel 1 berjarak  $x_1$  dari sumbu y dan partikel 2 berjarak  $x_2$  dari sumbu y. Pusat massa disingkat PM. Kedua partikel terletak pada sumbu x karenanya pusat massa kedua partikel ditulis x.

## 2. Cara menghitung pusat massa dari seorang atlet atau objek

### a. Konsep Mekanika Gerak

Mekanika gerak sesungguhnya merupakan sebuah studi terhadap pengaruh-pengaruh yang ditimbulkan oleh daya (seperti daya tarik bumi, gesekan, tahanan angin, dsb.) pada benda yang bergerak dan tidak bergerak (Carr, 1997: Bartlett, 1997). Pengetahuan tentang mekanika pada awalnya digunakan untuk merancang benda yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti bangunan, jembatan, kapal, pesawat, dll. Kemudian, ketika kebutuhan akan gerak manusia semakin tinggi, maka mekanika ini pun digunakan untuk mempelajari pengaruh daya di atas pada manusia, dan sebaliknya, pengaruh daya yang dikerahkan manusia ketika bergerak.

Jelas sekali bahwa daya tarik bumi, gesekan, dan tahanan udara berlaku baik pada kegiatan-kegiatan manusia dalam gerak (olahraga) maupun pada kegiatan non-olahraga. Upaya seorang pelompat tinggi yang melawan daya

tarik bumi, misalnya, sama seperti pesawat udara yang sedang tinggal landas. Demikian juga, tahanan udara dan gesekan sama-sama melawan lajunya mobil dan pelari sprint.

b. Prinsip-Prinsip Mekanika

Olahraga dalam prinsip mekanika tidak lain adalah ketentuan mendasar yang mengatur aksi manusia. Misalnya jika seorang pelatih dan atlet mengerti ciri-ciri dan cara kerja daya tarik bumi, mereka akan tahu apa yang harus dilakukan untuk melawan pengaruh daya tadi, dan sekaligus dapat memanfaatkannya. Seorang pelompat indah yang menyadari bahwa daya tarik bumi beraksi secara tegak lurus pada permukaan tanah akan memiliki pengertian yang lebih baik dalam hal tolakan yang bagaimana yang memberikan jalur layangan yang optimal untuk lompatan. Demikian juga seorang pegulat akan mengetahui bahwa daya tarik bumi merupakan sahabatnya ketika lawannya sudah kehilangan keseimbangan.

Terdapat banyak sekali daya di bumi ini di samping daya tarik bumi, tahanan udara dan gesekan. Daya-daya tersebut beraksi dalam cara yang bervariasi. Seorang pelatih atau guru yang mengerti bagaimana semua daya itu bekerja akan mengetahui lebih baik dalam menganalisis teknik gerak anak asuhnya untuk kepentingan peningkatan performanya. Demikian juga jika atlet atau siswa mengetahui prinsip-prinsip mekanika, maka mereka akan lebih mudah mempelajari teknik gerakannya serta mengetahui secara sadar sesuatu yang salah dalam gerakannya. Dalam olahraga, hukum gerak dan mekanika gerak tidak hanya berlaku pada atlet sendiri. Prinsip mekanika pun digunakan untuk memperbaiki efisiensi peralatan olahraga dan fasilitas lainnya. Sepatu atletik, skating, dan ski dirancang berdasarkan pengertian daya-daya eksternal yang terdapat di bumi. Pengetahuan tersebut telah menjadi alat dalam meningkatkan standar performa dalam setiap cabang olahraga.

c. Berat Tubuh

Berat tubuh adalah konsep yang diberikan pada ukuran dari jumlah massa tubuh (misalnya, tulang, otot, lemak, jaringan, dll.) yang dibawa oleh kita kemanapun. Semakin banyak jumlah massa dalam tubuh akan semakin berat. Dalam istilah mekanika, berat tubuh seseorang mewakili daya tarik bumi (gravitasi) yang menarik tubuh, dan sebaliknya, mewakili tarikan tubuh terhadap bumi (Carr, 1997). Apa yang kita baca pada timbangan berupa angka tertentu mewakili seberapa banyak tarikan yang terjadi antara

tubuh dan bumi. Bumi menarik tubuh kita ke bawah, dan kebalikannya, tubuh kita menarik bumi ke atas. Derajat besaran tarikan antara tubuh dan bumi bergantung pada seberapa banyak massa bumi dan seberapa banyak massa tubuh dimiliki. Lebih besar tarikan, semakin besar angka diperlihatkan pada timbangan. Dengan demikian, tubuh yang lebih berat (massa tubuhnya lebih banyak) akan menekan bumi lebih besar daripada tubuh yang lebih ringan.

d. Massa Tubuh

Massa secara sederhana berarti substansi atau zat. Apabila suatu benda memiliki substansi dan berada dalam suatu ruang, maka benda itu memiliki massa. Yang lebih penting, jika benda itu memiliki massa, maka ia akan dapat menarik benda lain yang memiliki massa juga. Atlet, misalnya, terdiri atas otot, tulang, lemak, serat, dan cairan, yang kesemuanya merupakan substansi atau zat yang karenanya memiliki massa. Jadi atlet, karena mempunyai massa, dapat menarik bumi, dan bumi memiliki massa untuk menarik atlet. Seorang pegulat kelas berat memiliki massa lebih besar daripada seorang pesenam. Tarikan antara bumi dengan pegulat kelas berat lebih besar daripada tarikan antara bumi dengan pesenam.

e. Bagaimana Berat dan Massa Berhubungan

Tarikan daya tarik bumi memancar dari intinya benar-benar menyerupai riak-riak dari lemparan batu ke air. Lebih dekat tubuh ke inti bumi, lebih kuat juga tarikannya. Sebab bumi tidak benar-benar bulat sempurna, seorang atlet berada lebih jauh dari inti bumi jika berdiri di sepanjang khatulistiwa daripada berdiri di kutub utara atau kutub selatan. Karenanya, seorang atlet atau benda lain seperti misalnya lembing, akan lebih ringan ketika berada di khatulistiwa daripada kalau berada di kedua kutub tadi. Apabila seorang atlet memanjat ke puncak gunung di daerah khatulistiwa, maka ia akan berada lebih jauh dari inti bumi, dan beratnya akan berkurang lebih banyak lagi. Kemudian kita juga harus mempertimbangkan dua hal lain, yaitu: rotasi bumi di sekitar porosnya dan fakta bahwa putaran bumi menyebabkannya menonjol keluar di daerah khatulistiwa dan mengempes di wilayah kutub. Hal ini berarti bahwa lebih dekat kita ke khatulistiwa, lebih besar jalur putaran yang harus ditempuh ketika bumi berputar pada porosnya. Akibatnya, atlet atau suatu benda di khatulistiwa bergerak lebih dari 1.000 mil per jam lebih cepat dari pada di daerah kutub. Lebih cepat kita bergerak selama putaran bumi harian, lebih besar upaya massa tubuh

kita melayang atau menjauh dari permukaan bumi. Artinya tubuh kita akan terasa lebih ringan daripada kalau kita berada di daerah kutub.

f. Inertia

Kata inertia berarti bertahan terhadap aksi atau terhadap perubahan. Inertia dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk membedakan orang yang lamban untuk melakukan suatu aksi. Jadi dalam kehidupan sehari-hari, istilah inertia bisa juga berarti “malas”. Dalam istilah mekanika gerak, inertia berarti lebih dari sekedar malas karena hal itu juga menggambarkan keinginan dari suatu benda untuk terus melakukan apa yang sedang dilakukannya, bahkan ketika sedang bergerak (Carr, 1997). Seluruh benda cenderung bertahan tidak bergerak. Tetapi jika suatu daya cukup besar untuk membuatnya bergerak dalam arah tertentu, benda itu cenderung ingin mempertahankan gerakannya dalam arah yang sama pada kecepatan yang tetap. Bagaimana massa berhubungan dengan inertia sekali bergerak, lebih banyak massa yang dimiliki suatu benda, lebih besar pula keinginannya bertahan untuk terus bergerak. Namun demikian, dalam pergerakan di bumi, faktor atau daya lain ikut berpengaruh, sehingga kecepatan konstan jarang terjadi dalam waktu lama. Daya-daya tersebut di antaranya adalah hambatan angin, daya tarik bumi, gesekan, serta daya-daya lain yang dikerahkan oleh lawan yang bersifat berlawanan yang memperlambat dan akhirnya menghentikan gerakannya. Lebih besar dan berat massa tubuh seseorang, maka makin besar pula tahanannya terhadap perubahan. Jadi, atlet yang berat tubuhnya besar harus mengerahkan daya otot yang lebih besar pula untuk menyebabkan massa tubuhnya bergerak. Sekali ia bergerak dalam arah tertentu, ia pun harus mengerahkan tenaga yang besar pula untuk menghentikan atau mengubah arah gerak tubuhnya. Sebaliknya, atlet dengan massa tubuh ringan mempunyai inertia yang lebih kecil dan memerlukan tenaga yang lebih kecil pula untuk bergerak atau menghentikan gerakannya. Contoh menarik tentang berlakunya inertia terjadi ketika atlet berada di udara. Anggaplah dua orang *bungee jumper* yang terjun dari sebuah jembatan tinggi. Orang satu ukuran badannya dua kali lebih besar dari yang lain. Mereka terjun pada saat yang 4 bersamaan. Maka siapa yang akan sampai terlebih dahulu? Dari penjelasan tentang massa tubuh dan daya tarik bumi di bagian sebelumnya, barangkali Anda akan berpikir bahwa pelompat yang lebih besar akan sampai lebih dulu, karena bumi akan menarik massa yang lebih besar dua kali lebih kuat. Ternyata, kedua pelompat menyentuh air pada saat yang bersamaan.

Mengapa? Karena dalam hal ini inerti bekerja. Orang yang lebih besar mempunyai inerti dua kali lebih besar sehingga bertahan terhadap daya tarik bumi sebesar dua kali lipat juga. Dalam situasi demikian, tahanan udara memainkan peranan yang tidak dapat diabaikan sehingga kedua pelompat sampai pada saat yang bersamaan.

g. Kecepatan, Akselerasi dan Kelajuan (*Velocity*)

Dalam contoh kedua pelompat *bungee* di atas, dapat dipelajari akselerasi ketika mereka jatuh ke bumi. Pemahaman terhadap perbedaan antara kecepatan dan akselerasi, dan kemudian berkenalan dengan istilah kelajuan suatu istilah akan sering ditemukan dalam pembahasan ini. Guru akan dapat menghitung kecepatan lari seorang sprinter. Contoh: Jika seorang sprinter berlari sepanjang 100 m dalam 10 detik, kita tahu bahwa atlet itu telah berlari menempuh jarak (100 m) dalam waktu tertentu (10 detik). Dari informasi ini Anda dapat menggunakan istilah rata-rata kecepatan, yaitu 35 km/jam atau 10.9 yard per detik. 35 km/jam adalah kecepatan rata-rata lari sepanjang 100 m. Dengan rata-rata ini kita tidak mengetahui kecepatan tertinggi dari pelari itu: tidak juga menerangkan tentang tingkat akselerasinya. Sprinter yang memiliki rata-rata kecepatan 35 km/jam sepanjang 100 m sebenarnya bisa saja berlari lebih cepat atau lebih lambat dari 35 km perjam selama fase lomba yang berbeda. Sesaat setelah start pelari tersebut sedang menambah kecepatan dan untuk sementara berlari jauh lebih pelan dari kecepatan rata-ratanya. Kemudian setelahnya barulah pelari itu bisa berlari lebih cepat dari rata-rata. Penting juga disadari bahwa kecepatan masih bisa ditingkatkan walaupun tingkat akselerasinya mulai berkurang. Selama proses akselerasi masih ada, bahkan dalam batas minimal sekalipun, kecepatan masih bisa meningkat. Ketika deselerasi (kebalikan dari akselerasi) terjadi, barulah kecepatan akan menurun. Seberapa banyak kecepatan meningkat atau menurun bergantung pada tingkat akselerasi atau deselerasi. Akselerasi tetap (*uniform acceleration*) dan deselerasi tetap (*uniform deceleration*) mengandung arti bahwa benda atau pelari meningkatkan atau menurunkan kecepatannya pada tingkat yang teratur. Hal ini dicontohkan oleh laju suatu benda yang berakselerasi ke kecepatan 10 m/detik pada detik pertama, 20 m/detik pada detik kedua, dan 30 m/detik pada detik ketiga. Jadi, untuk setiap detiknya benda itu meningkat kecepatannya pada tingkat yang sama, yaitu 10 m/detik. Jika ditulis, akselerasi tadi adalah 10 m/detik/detik atau 10 m/detik<sup>2</sup>. Perhatikan, bahwa dalam hal ini ada satu unit jarak (yaitu 10 m) dan ada dua unit waktu (yaitu: detik/detik) kapanpun kita menunjuk pada



akselerasi. Deselerasi tetap terjadi dalam cara yang sama, yaitu kecepatan menurun pada tingkat yang sama pada setiap detiknya. Akselerasi dan deselerasi tetap tidak selalu terjadi dalam olahraga. Ketika atlet atau benda seperti bola atau lembing bergerak, daya yang bermacam-macam seperti gesekan dan tahanan udara mempengaruhinya. Daya tersebut menyebabkan akselerasi atau deselerasinya bervariasi sehingga tidak tetap lagi. Contoh yang baik dari akselerasi dan deselerasi tetap terjadi pada layangan sesaat seperti pada loncat indah atau senam. Daya tarik bumi secara tetap memperlambat atau mendeselerasi atlet ketika mereka naik melayang pada kecepatan 9.8 m/detik untuk setiap detik layangannya (disebut 9.8 m/detik<sup>2</sup>) dan mengakselerasi secara tetap pada kecepatan 9.8 m/detik<sup>2</sup> ketika layangan turun. Kadang-kadang juga istilah deselerasi disebut sebagai akselerasi negatif dan akselerasi disebut akselerasi positif. Bagaimana istilah kelajuan (*velocity*) bisa cocok dengan gambaran tentang kecepatan dan akselerasi di atas? Kelajuan sebenarnya hanya merupakan gambaran yang lebih lengkap dari kecepatan. Kalau kecepatan hanya menunjuk pada jarak tempuh waktu, sedangkan kelajuan menggambarkan jarak tempuh waktu sekaligus arahnya. Misalnya, 9.8 m/detik hanya menunjuk pada kecepatan: 9.8 m/detik ke arah selatan menunjuk pada kelajuan. Kecepatan menyatakan tentang seberapa cepat. Kelajuan menyatakan seberapa cepat dan ke arah mananya.

#### h. Bagaimana Daya Tarik Bumi Mempengaruhi Penampilan

Pada bagian awal dari bahasan ini, kita coba mendiskusikan bagaimana daya tarik bumi mempunyai pengaruh yang berbeda-beda. Bagaimana perbedaan daya tarik bumi ini mempengaruhi penampilan olahraga? Atlet yang bertanding di Olimpiade 1968 yang berlangsung di Mexico City, di mana tempatnya merupakan dataran tinggi dan dekat ke khatulistiwa, pasti akan mengalami tarikan bumi yang lebih ringan daripada atlet yang bertanding di Olimpiade 1952 yang berlangsung di Helsinki atau Olimpiade 1980 di Moskow. Dua kota terakhir terletak di garis lintang utara dan dekat ke ketinggian air laut. Tubuh atlet atau benda yang dilempar, pasti akan terasa lebih ringan di tempat tinggi daripada di dataran rendah. Namun demikian, atlet yang bertanding di dataran tinggi sebaliknya akan mengalami perjuangan yang lebih besar dalam hal bernapas karena perbedaan kandungan udara atau oksigen. Kandungan oksigen di dataran tinggi tersedia lebih tipis daripada di dataran rendah. Artinya, atlet yang bertanding di Mexico City harus bernapas lebih sering

untuk memenuhi kebutuhan oksigennya. Karenanya bisa diduga bahwa atlet yang paling menderita adalah para pelari jarak menengah dan jauh. Sedangkan para pelompat akan diuntungkan karena tubuhnya terasa lebih ringan. Bob Beamon, pelompat jauh yang mempertahankan lompatan rekor dunianya karena bertahan selama 23 tahun, dianggap diuntungkan oleh dataran tinggi Mexico City.

Rekor lompatan Beamon dipecahkan oleh pelompat jauh Mike Powell pada tahun 1991 pada lomba yang berlangsung di Tokyo. Tokyo adalah kota yang terletak di dataran yang lebih rendah daripada Mexico City. Kita bisa menduga bahwa jika lompatan Powell di Tokyo tersebut dilakukan di Mexico City pasti hasilnya akan jauh lebih baik. Bukti tambahan dari bantuan yang didapat karena dataran tinggi ini terjadi pada lompatan Ivan Pedrova dari Kuba yang melampaui rekor Mike Powell yang sudah bertahan selama 4 tahun. Hal tersebut terjadi di Italia yang juga merupakan dataran tinggi.

#### i. Titik Berat Tubuh

Tarikan gravitasi bumi merupakan salah satu daya penentang terbesar yang ditemui para atlet. Untuk melayang di udara setinggi mungkin, memelihara keseimbangan tubuh, melempar jauh, semuanya memerlukan pemahaman tentang bagaimana daya tarik ini bekerja. Daya tarik bumi menarik tubuh atlet dengan berfokus pada titik berat tubuhnya. Hal yang sama berlaku juga pada benda apapun yang masih berada di sekitar wilayah kerja gravitasi bumi. Tanpa memperhatikan apakah tubuh dalam keadaan berdiri diam atau bergerak dari satu posisi ke posisi lainnya, daya tarik bumi selalu berkonsentrasi pada titik berat tubuh atlet. Titik berat tubuh adalah titik di mana seluruh massa tubuh berpusat. Jika tubuh berbentuk seperti sebuah peluru (untuk tolak peluru) yang bulat bundar, maka amatlah mudah membayangkan bahwa titik berat tubuh itu pasti ada di tengah-tengah. Demikian juga jika kita membayangkan tubuh kita seperti sebuah penggaris. Kita akan dengan mudah menemukan titik tengahnya, misalnya dengan cara menimbang penggaris tersebut di ujung jari tangan. Tubuh kita jelas berbeda dari peluru dan penggaris karena tidak terbuat dari materi yang sama dan tidak terdistribusi secara merata dari kepala hingga kaki. Akan tetapi tubuh kita dibuat dari berbagai bentuk dan substansi seperti tulang, otot, lemak, dan jaringan, yang kesemuanya berbeda dalam kepadatannya. Tulang dan otot lebih padat daripada lemak dan karenanya memiliki lebih banyak massa yang terhimpun dalam ruang yang dimilikinya. Bumi menarik

lebih kuat pada bagian-bagian tubuh yang lebih padat dan lebih banyak massanya daripada terhadap bagian yang kurang massanya. Hal ini berarti bahwa titik berat tubuh tidak terletak benar-benar di tengah seperti pada peluru atau penggaris. Apabila tubuh kita memiliki massa yang lebih banyak pada bagian atas tubuh, maka titik berat tubuh akan relatif lebih atas atau lebih tinggi. Sebaliknya jika tubuh bagian bawah yang memiliki massa lebih besar, maka titik berat pun akan lebih rendah letaknya. Akan tetapi dilihat dari banyaknya massa, maka titik berat tubuh akan selalu tepat di tengah massa, sehingga ukuran massa bagian atas tubuh akan sama beratnya dengan massa bagian bawah tubuh dilihat dari titik berat itu sendiri.

#### 1) Letak Titik Berat Tubuh

Umumnya orang dewasa yang berdiri dengan kedua lengan di samping badan, maka titik berat tubuh itu terletak di sekitar pinggang atau sekitar satu inchi di atas pusar. Untuk perempuan, titik itu akan terletak lebih rendah. Alasannya, perempuan biasanya memiliki bahu yang lebih kecil dan pinggul yang lebih besar, sehingga massa tubuhnya lebih banyak di bagian bawah. Sebaliknya, pria umumnya mempunyai pinggul lebih kecil dan bahu yang lebih besar.

#### 2) Pergeseran Titik Berat Tubuh

Titik berat tubuh jarang berdiam di tempat yang sama sepanjang waktu. Bahkan ketika tidur, pergeseran sedikit dari posisi tubuh sudah akan membuat titik berat tubuh berpindah posisinya. Artinya, ketika tubuh berpindah posisi, massa tubuhpun berubah distribusinya.

#### j. Bagaimana Daya Tarik Bumi Mempengaruhi Layangan

Seorang atlet yang sedang melayang di udara memiliki titik berat yang sama seperti atlet yang sedang kontak dengan bumi. Gerak tubuh di udara memosisikan kembali titik berat relatif ke gerak tubuh atlet seperti sedang berada di bumi. Di bumi, atlet cenderung melupakan tarikan bumi, sampai ia jatuh kembali ke bumi. Di udara pengaruh tarikan bumi sungguh nyata. Seorang pelompat indah yang menolak ke atas dari papan lompat segera diperlambat oleh tarikan bumi ketika naik dan dipercepat pada saat turun. Seperti dapat diamati, tarikan bumi dalam memperlambat pelompat ketika naik sama besar seperti mempercepat pelompat ketika turun. Ketika seorang atlet di udara, tarikan bumi berkonsentrasi pada titik berat tubuh atlet. Tidak ada bedanya apakah atlet tersebut melakukan atau membuat posisi membulatkan tubuh atau bergerak tak terkontrol dengan gerak lengan

dan kaki ke sana kemari. Menggerakkan lengan dan kaki di udara secara terus menerus memang mengubah letak titik berat tubuh seperti ketika berada di darat, tetapi bumi tetap mengarahkan tarikannya pada titik berat tubuh atlet. Tarikan bumi ini juga berlaku pada benda yang tidak berubah seperti lembing atau bola. Perbedaannya hanya terletak pada bahwa atlet bisa mengubah bentuknya sesuai keinginan di udara, sementara benda lain tetap dalam bentuknya.

k. Bagaimana Perbedaan Kepadatan Tubuh Berpengaruh

Kepadatan menunjuk pada jumlah substansi atau massa yang dipadatkan dalam sebuah ruang. Semakin banyak massa yang dimampatkan semakin padat benda itu. Contoh nyata hal ini adalah perbandingan ukuran massa kapas dan ukuran massa besi yang berbeda, padahal beratnya sama. Di antara benda berbahan metal, besi memiliki kepadatan yang lebih sedikit daripada timah, sehingga 5 kg peluru yang terbuat dari besi bentuknya lebih besar daripada 5 kg peluru dari timah. Dalam tubuh manusia, tulang dan otot bersifat lebih padat daripada lemak. Jadi mungkin saja, seorang atlet berukuran kecil tapi berotot memiliki massa dan berat tubuh yang lebih besar daripada atlet yang nampaknya lebih besar tetapi lebih banyak mengandung lemak. Karena otot lebih padat daripada lemak, seorang binaragawan yang menghabiskan waktu yang tak seimbang dalam mengembangkan bagian atas tubuhnya akan meningkatkan massa ototnya di daerah tersebut. Hal ini berarti bahwa mereka juga akan meninggikan letak titik berat tubuhnya. Atlet yang titik berat tubuhnya lebih tinggi akan sangat dirugikan dalam cabang olahraga yang memerlukan stabilitas tinggi (gulat atau judo).

l. Bagaimana Daya Reaksi Bumi Berlaku pada Atlet

Sebab tarikan massa tubuhnya terhadap benda lain yang memiliki massa, atlet yang berdiri di bumi akan menarik ke atas massa bumi dan pada saat yang sama ditarik oleh daya tarik bumi ke arah intinya. Semakin besar massa tubuh atlet, semakin kuat pulalah tarikannya. Ini berarti bahwa seorang atlet menekan ke bumi dengan daya yang sama yang dikeluarkan bumi untuk menariknya. Atau dengan kata lain, besarnya daya yang dikeluarkan oleh atlet sama besar dengan berat tubuhnya sendiri. Namun begitu, pada saat yang bersamaan, bumi pun memberikan dorongan yang sama besar pula pada tubuh ke arah sebaliknya. Dengan demikian, kita bisa mengatakan bahwa tekanan berat tubuh si atlet disebut aksi, dan dorongan bumi terhadap tubuh atlet disebut reaksi.

m. Daya (*Force*)

Setiap kali seorang atlet menampilkan keterampilan gerak, atlet tersebut akan mengerahkan dan menghasilkan daya internal dalam tubuh dengan mengkontraksikan otot-otot. Otot menarik tendon, dan tendon menarik tulang. Daya yang dikerahkan oleh atlet kemudian berlawanan dengan daya eksternal yang dihasilkan oleh daya tarik bumi, daya reaksi bumi, friksi, tahanan udara, dan dalam banyak cabang olahraga, berlawanan dengan daya yang dikerahkan oleh pemain lawan. Apakah gerangan yang dimaksud dengan daya? Apa artinya, dan menunjuk pada gejala apakah daya itu? Satu hal yang pasti, orang tidak akan pernah bisa melihat suatu daya, tetapi orang hanya bisa melihat dan merasakan pengaruhnya. Daya adalah suatu dorongan atau suatu tarikan yang mengubah atau cenderung mengubah keadaan suatu benda atau tubuh termasuk mengubah keadaan gerak benda itu. Berikut adalah contoh yang akan menjelaskan apa yang dimaksud dengan keadaan cenderung. Bayangkan seorang lifter yang sedang mencoba mengangkat barbel dari lantai. Si atlet berjongkok dan menggapaikan lengannya untuk meraih barbel dan segera mengerahkan tenaga untuk mengangkat barbel tersebut. Ketika atlet itu berusaha cukup keras dan mengerahkan daya yang cukup besar, barbel itu akan terangkat ke atas. Namun bagaimana jika tenaga atlet tersebut ternyata tidak cukup besar untuk mengangkat barbel? Dalam situasi ini kita bisa mengatakan bahwa terdapat kecenderungan bagi si atlet untuk menggerakkan barbel itu. Artinya, kondisi itu lebih dekat (hampir) untuk menggerakkan barbel ketika si atlet mencoba menariknya daripada jika si atlet tidak berusaha sama sekali.

Jika atlet lain segera membantu mengangkat barbel itu dan menambahkan dayanya pada daya yang sudah dikerahkan oleh atlet pertama, daya gabungan itu mungkin akan dianggap cukup untuk mengangkat barbel itu dari permukaan bumi. Kecenderungan ke arah gerak yang disebabkan oleh atlet pertama berubah menjadi suatu aksi dengan bantuan daya dari atlet kedua. Daya yang dikerahkan oleh satu atlet ditambah dengan daya dari atlet lain. Dalam skenario tersebut, kita bisa menganggap bahwa daya yang dikerahkan oleh kedua atlet itu terjadi pada arah yang sama. Kondisi sebaliknya malah akan terjadi jika si atlet kedua malahan mengerahkan daya ke arah yang sebaliknya, sehingga kecenderungan yang disebabkan daya atlet pertama malah akan menghilang oleh daya dari atlet kedua yang melawannya.

## n. Vektor Daya

Kasus angkat besi tadi kita membayangkan bahwa dua atlet menggabungkan daya otot mereka untuk mengangkat barbel dalam arah vertikal. Gabungan dari daya mereka menjadi jumlah total tertentu dan diarahkan pada satu arah tertentu. Ketika arah dan jumlah dari daya yang dikerahkan tadi diketahui, gabungan dari dua daya itu disebut suatu vektor daya. Istilah vektor secara sederhana diartikan sebagai suatu kuantitas yang memiliki arah, dalam kasus angkat berat di atas sejumlah tertentu dari daya divektorkan dalam suatu arah vertikal. Dalam mekanika, vektor daya sering diwakili secara diagram oleh anak panah. Kepala anak panah menunjukkan dalam arah mana daya tersebut beraksi, dan panjang dari anak panah tersebut mewakili skala jumlah daya yang sedang dikerahkan, dalam situasi angkat berat di mana satu atlet mengangkat secara vertikal dan yang satu menarik secara horisontal, hasilnya adalah bahwa mereka menarik barbel sebagian ke atas dan sebagian ke samping. Tergantung pada jumlah daya yang dikerahkan oleh masing-masing atlet, barbel akan bergerak (atau vektor) dalam arah yang disebut *resultan vektor daya*. Resultan vektor daya dalam situasi tersebut adalah ekuivalen dari dua daya yang secara bersamaan menarik barbel dalam arah yang berbeda. Gambaran kasar tentang apa yang terjadi dapat didiagramkan dengan menggunakan sebuah “parallelogram daya”. Satu anak panah (1) ditarik dengan panjang dan arahnya mewakili daya yang dikerahkan oleh atlet yang mengangkat barbel secara vertikal. Anak panah kedua (2) ditarik untuk mewakili daya yang dikerahkan oleh atlet yang menarik barbel secara horisontal. Satu parallelogram (sisi sebaliknya dan sudutnya yang sama) kemudian ditarik. Garis diagonal (3) mewakili resultan vektor daya. Anak panah dan kepanjangannya menunjukkan resultante daya dan arah yang ditarik oleh kedua atlet.

Ketika seorang atlet menampilkan keterampilan gerak, beberapa daya biasanya beraksi pada saat yang bersamaan. Marilah kita lihat daya-daya tersebut pada sebuah penampilan tolak peluru. Bayangkan seorang atlet tolak peluru yang berprestasi sedang menolakkan pelurunya dengan sudut naik sekitar 42 derajat dari garis horisontal. Untuk menolakkan peluru ke atas, si atlet harus mengerahkan daya dalam arah tersebut. Kemudian atlet tersebut mengerahkan beberapa (tapi tidak semuanya) dayanya dalam arah vertikal. Untuk menolakkan peluru secara horisontal, ia pun mengerahkan daya ke arah tersebut. Gabungan daya vertikal dan daya horisontal itu memberikan sudut trajektori sebesar 42 derajat. Tentu saja penolak tersebut

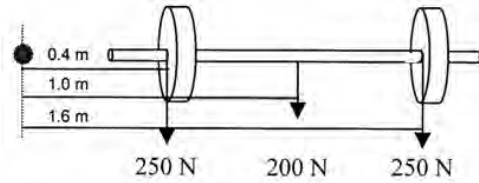
tidak akan menolak dengan mengerahkan seluruh dayanya hanya ke arah vertikal saja atau horisontal saja. Apabila atlet berbuat demikian, misalnya ke arah vertikal saja, maka peluru itu akan tertolak ke atas dan segera kembali lagi ke bawah di tempat yang sama. Sebaliknya, jika peluru diarahkan benar-benar hanya horisontal, maka peluru itu akan segera jatuh dalam jarak yang dekat. Jadi sebuah sudut naik akan tergambar, merupakan bagian dari arah vertikal dan arah horisontal. Untuk atlet yang melepaskan peluru sekitar 2.3 meter (7 feet) atau lebih di atas garis horisontal, sudut naiknya berkisar antara 35 hingga 42 derajat.

Selama peluru itu melayang, daya tarik bumi menarik peluru secara langsung ke bawah. Jadi tarikan bumi melawan vektor daya vertikal yang dikerahkan atlet pada peluru. Di samping tarikan bumi, tahanan udara juga memberikan perlawanannya pada peluru walaupun sangat kecil. Hasil dari perlawanan tersebut menentukan jarak yang ditempuh.

Terdapat banyak contoh dalam olahraga di mana atlet menggabungkan daya-dayanya untuk menghasilkan jarak yang dikehendaknya. Pemain bertahan sepak bola yang berpengalaman mengetahui benar, seberapa lama sebuah bola akan melayang dalam jarak tertentu. Para pemain itu akan menaksir kelajuan (*velocity*) dari para pemain depan ketika berlari ke posisi yang terbuka. Ketika pemain bertahan membuat passing ke lapangan depan, mereka mempertimbangkan beberapa hal: (a) kelajuan (kecepatan dan arah) yang harus diberikan pada bola yang ditendang, dan (b) kelajuan pemain depan dalam berlari untuk menerima passing tersebut. Jika pemain bertahan menendang bola dengan jumlah daya yang benar dan memberinya trajektory (sudut naik) yang benar, bola tersebut akan jatuh tepat di kaki pemain yang berlari lurus. Prinsip yang sama berlaku pada pengumpan (*quarterback*) pada *American Football* yang ingin mengumpan penerima yang berlari memotong lapangan, atau pemain basket yang mencoba mengoper seorang temannya yang berhasil mematahkan penjagaan lawan. Dalam semua kasus tersebut, pengumpan melakukan suatu analisis vektor secara mental untuk memastikan bahwa bola tiba pada titik tertentu bersamaan dengan pemain penerimanya.

Bagi pelatih, penting untuk dapat menentukan di mana letak pusat massa dari seorang atlet. Bagi fisioterapis atau spesialis rehabilitasi, mungkin penting untuk menentukan hal itu untuk membantu pasien merehabilitasi menjaga keseimbangan saat melakukan tugas sehari-hari. Menggunakan pemahaman kita tentang torsi, kita dapat menentukan ini relatif sederhana. Pada gambar terdiri atas dua bobot 250 N dan bar dengan berat 200 N.

Karena barbel simetris, Anda dapat melihat bahwa pusat massanya akan berada di titik tengah dari bar (pada panah menunjukkan berat bar - 200 N).



Dari sudut pandang eksternal, dapat dihitung untuk menunjukkan hal yang sama. Lihatlah Gambar, di mana telah ditempatkan titik eksternal dan menunjukkan jarak dari titik ini untuk masing-masing massa.

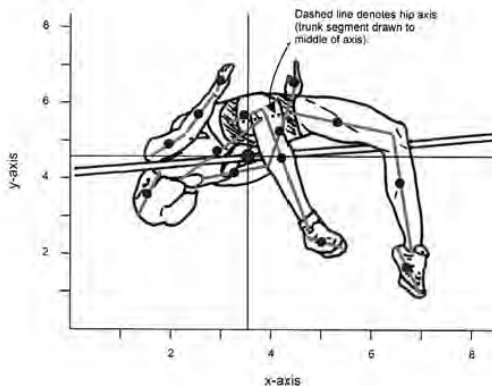
Mari kita menghitung jumlah torsi ini:

$$250 \text{ N} \times 0,4 \text{ m} = 100 \text{ Nm}$$

$$200 \text{ N} \times 1,0 \text{ m} = 200 \text{ Nm}$$

$$250 \text{ N} \times 1,6 \text{ m} = 400 \text{ Nm}$$

Jumlah torsi 700 Nm = Kami berasumsi bahwa pusat massa terletak di tengah bar. Jika jumlah semua massa dikalikan dengan jarak ini, kita mendapatkan:  $700 \text{ N} \times 1,0 \text{ m} = 700 \text{ Nm}$ . Jawaban yang sama. Jika kita tidak tahu lokasi pusat massa tapi tahu bahwa total torsi adalah 700 Nm dan massa total adalah 700 N, kita bisa membagi 700 Nm dengan 700 N untuk mendapatkan jarak satu meter (torsi/tenaga = jarak). Metode ini menemukan pusat massa disebut metode segmentasi, karena kita menghitung pengaruh setiap segmen untuk menemukan pusat massa dari objek keseluruhan. Kita bisa menggunakan ide ini untuk menemukan pusat massa dari pelompat tinggi (misalnya) dengan mengikuti langkah-langkah di bawah ini:



**Gambar 4.1.** Penentuan Titik Berat Badan



**Langkah 1** : Mendapatkan gambar diam dari atlet dengan semua bagian tubuh yang terlihat. Ini bisa menjadi tugas yang sulit kadang-kadang untuk jumper tinggi.

**Langkah 2** : Menggambar garis referensi untuk kedua x dan y arah seperti yang ditunjukkan (Catatan: dalam barbel sebagai contoh, kita hanya menghitung lokasi pusat massa di x atau horisontal arah).

**Langkah 3** : Gunakan data yang dipublikasikan oleh peneliti lain untuk memperkirakan pusat massa lokasi dari masing-masing segmen tubuh.

**Langkah 4** : Pada diagram, menggambar lokasi titik-titik ini, dengan menggunakan penggaris untuk mengukur panjang dari masing-masing segmen.

**Langkah 5** : Untuk setiap segmen, mengukur jarak dari kedua x-dan y-sumbu ke pusat lokasi massa pada setiap segmen. Perhitungan untuk jumper tinggi sangat sulit.

**Langkah 6** : Mendapatkan data yang dipublikasikan oleh peneliti lain untuk memperkirakan massa setiap bagian tubuh relatif terhadap massa atlet. Perhatikan Anda sekarang memiliki kedua massa dan jarak, baik di x dan y-arah.

**Langkah 7** : Kalikan setiap massa dengan jarak dari x-dan y-sumbu dan kemudian menemukan jumlah tersebut.

**Langkah 8** : Untuk menemukan jarak, kita biasanya akan membagi total torsi oleh massa total (yaitu, jumlah dari semua segmen atau massa subjek), Total massa dengan mengalikan massa proporsional dengan massa tubuh atlet, jadi ini tidak diperlukan. Jarak yang diperoleh dapat diukur dari x-dan y- sumbu ke pusat massa atlet.

**Langkah 9** : Mark ini pada diagram Anda.

**Langkah 10** : Apakah ini bercerita tentang teknik jumper tinggi? Bagaimana kita bisa menggunakan informasi ini untuk meningkatkan teknik jumping? (Catatan: jika Anda telah belajar bagaimana menulis formula dalam spreadsheet, Anda bisa membuat spreadsheet ini untuk mempercepat perhitungan Anda dari atlet di posisi lain, atau untuk atlet lainnya). Dengan analisis ini, jumper akan mengetuk bar. Sebaliknya, dia telah membersihkan bar dengan mudah dengan memanipulasi segmen tubuhnya pada waktu

yang tepat. Contoh ini menyoroti pentingnya analisis ini untuk optimalisasi teknik olahraga. Analisis tersebut dapat digunakan untuk mengoptimalkan banyak olahraga lain seperti diving, senam, olahraga penghindaran, dll. Manipulasi segmen tubuh tentang pusat massa adalah penting.

## B. KESEIMBANGAN

Keseimbangan dan stabilitas merupakan dua istilah yang hampir sama tetapi mempunyai arti yang berlainan. Keseimbangan berkaitan dengan koordinasi dan kontrol. Seorang atlet yang mempunyai keseimbangan yang baik, dapat mempertahankan keadaan equilibriumnya dan menetralkan gaya-gaya yang akan mengganggu penampilannya. Seorang atlet harus mempertahankan keseimbangannya dalam keterampilan yang dinamis (seperti keseimbangan pada palang sejajar). Lawan yang dihadapi atlet ketika mencoba mempertahankan keseimbangannya adalah gaya eksternal. Gravitasi, gesekan, tahanan udara, atau gaya yang diberikan lawan untuk mengganggu penampilannya.

Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan tubuh ketika ditempatkan di berbagai posisi keseimbangan (O’Sullivan, 2012). Oleh karena itu, atlet harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan pusat gravitasi pada bidang tumpu terutama ketika saat posisi tegak. Keseimbangan tubuh merupakan fungsi yang amat vital bagi manusia. Keseimbangan adalah proses mempertahankan posisi pusat gravitasi tubuh secara vertikal di atas dasar penyangga dan bergantung pada umpan balik yang cepat dan terus menerus dari struktur visual, vestibular, dan somatosensori dan melaksanakan tindakan neuromuskuler yang halus dan terkoordinasi (Con Hrysomallis, 2011).

Keseimbangan adalah proses kompleks yang melibatkan koordinasi aktivitas berbagai komponen sensorik, motor, dan biomekanik. Gerakan keseimbangan melibatkan gerakan dari pergelangan kaki, lutut, dan sendi pinggul yang dikendalikan oleh koordinasi pergerakan pergelangan kaki, paha, dan otot bagian bawah (Jacobson et al., 2016).

**Tabel 4.1.** Anatomi Fungsional dari otot yang terlibat dalam gerakan Keseimbangan (Jacobson et al., 2016)

Joint	Extension		Flexion	
	Anatomic	Functional	Anatomic	Functional
Hip	Paraspinals	Paraspinals	Abdominal	Abdominals

Joint	Extension		Flexion	
	Anatomic	Functional	Anatomic	Functional
Knee	Hamstrings	Hamstrings Tibialis	Quadriceps	Quadriceps Gastrocnemius
	Quadriceps	Paraspinals Quadriceps Gastrocnemius	Hamstrings Gastrocnemius	Abdominals Hamstrings Tibialis
Ankle	Gastrocnemius	Abdominals Quadriceps Gastrocnemius	Tibialis	Paraspinals Hamstrings Tibialis

Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan kesetimbangan tubuh ketika ditempatkan di berbagai posisi. Definisi menurut O’Sullivan, keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan pusat gravitasi pada bidang tumpu terutama ketika saat posisi tegak. Selain itu menurut Ann Thomson, keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan tubuh dalam posisi kesetimbangan maupun dalam keadaan statik atau dinamik, serta menggunakan aktivitas otot yang minimal. Keseimbangan juga bisa diartikan sebagai kemampuan relatif untuk mengontrol pusat massa tubuh (*center of mass*) atau pusat gravitasi (*center of gravity*) terhadap bidang tumpu (*base of support*). Keseimbangan melibatkan berbagai gerakan di setiap segmen tubuh dengan di dukung oleh sistem muskuloskeletal dan bidang tumpu. Kemampuan untuk menyeimbangkan massa tubuh dengan bidang tumpu akan membuat manusia mampu untuk beraktivitas secara efektif dan efisien (Pieters, 2008).

Keseimbangan terbagi atas dua kelompok, yaitu keseimbangan statis: kemampuan tubuh untuk menjaga kesetimbangan pada posisi tetap (sewaktu berdiri dengan satu kaki, berdiri di atas papan keseimbangan); keseimbangan dinamis adalah kemampuan untuk mempertahankan kesetimbangan ketika bergerak. Keseimbangan merupakan interaksi yang kompleks dari integrasi/interaksi sistem sensorik (vestibular, visual, dan somatosensorik termasuk proprioceptor) dan muskuloskeletal (otot, sendi, dan jar lunak lain) yang dimodifikasi/diatur dalam otak (kontrol motorik, sensorik, basal ganglia, cerebellum, area asosiasi) sebagai respon terhadap perubahan kondisi internal dan eksternal. Dipengaruhi juga oleh faktor lain seperti, usia, motivasi, kognisi, lingkungan, kelelahan, pengaruh obat dan pengalaman terdahulu (L. Sturnieks, St George, & R. Lord, 2008).

Keseimbangan merupakan salah satu faktor yang dibutuhkan individu dalam melakukan gerak yang efektif dan efisiensi selain fleksibilitas (fleksibility), koordinasi (*coordination*), kekuatan (*power*) dan daya tahan (*endurance*). Keseimbangan yang baik akan memungkinkan seseorang melakukan aktivitas atau gerak yang efektif dan efisien dengan risiko jatuh yang minimal. Dimana tubuh mampu mempertahankan posisinya dalam melawan gravitasi dan faktor eksternal lain, untuk mempertahankan pusat massa tubuh agar seimbang dengan bidang tumpu serta menstabilisasi bagian tubuh ketika bagian tubuh lain bergerak (L. Sturnieks et al., 2008).

Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan equilibrium baik statis maupun dinamis ketika tubuh ditempatkan pada berbagai posisi (Delitto, 2003). Equilibrium adalah sebuah bagian penting dari pergerakan tubuh dalam menjaga tubuh tetap stabil sehingga manusia tidak jatuh walaupun tubuh berubah posisi. Statis equilibrium yaitu kemampuan tubuh untuk menjaga keseimbangan pada posisi diam seperti pada waktu berdiri dengan satu kaki atau berdiri di atas *balance board*. Dinamik equilibrium adalah kemampuan tubuh untuk mempertahankan posisi pada waktu bergerak. Keseimbangan bukanlah kualitas (Patwardhan, Brown, & Shanks, 2011).

Yang terbatas, namun mendasari kapasitas kita untuk melakukan berbagai kegiatan yang merupakan bagian kehidupan sehari-hari (Huxham dkk, 2001). Keseimbangan merupakan integrasi yang kompleks dari sistem somatosensorik (visual, vestibular, proprioceptive) dan motorik (musculoskeletal, otot, sendi jaringan lunak) yang keseluruhan kerjanya diatur oleh otak terhadap respon atau pengaruh internal dan eksternal tubuh. Bagian otak yang mengatur meliputi basal ganglia, cerebellum, dan area asosiasi. Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan pusat gravitasi atas dasar dukungan, biasanya ketika dalam posisi tegak.

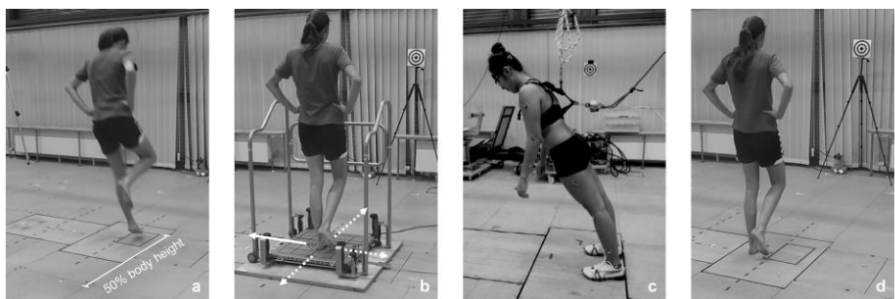
Keseimbangan Dinamis Keseimbangan terbagi atas dua kelompok, yaitu: 1) Keseimbangan statis yang merupakan kemampuan untuk mempertahankan posisi tubuh dimana *Center of Gravity* (COG) tidak berubah atau menjaga kesetimbangan pada posisi tetap. Contoh keseimbangan statis saat berdiri dengan satu kaki menggunakan papan keseimbangan, dan 2) Keseimbangan dinamis adalah kemampuan untuk mempertahankan posisi tubuh dimana COG selalu berubah atau kemampuan untuk mempertahankan kesetimbangan ketika bergerak pada landasan yang bergerak (*dynamic standing*) yang akan menempatkan tubuh ke dalam kondisi yang tidak stabil, contoh keseimbangan dinamis yaitu saat berjalan atau bergerak dari satu tempat ke tempat lain (Delitto, 2003). Tubuh manusia memiliki semua komponen yang bisa membuatnya

bergerak bebas dan berfungsi baik salah satunya komponen keseimbangan dan stabilisasi dalam gerak dan fungsi (Pollock, Durward, Rowe, & Paul, 2000).

Namun saat ini banyak masyarakat yang sehat maupun yang sakit sering mengalami gangguan gerak dan fungsi. Keseimbangan dan stabilisasi dinamis sangat berhubungan dalam setiap gerakan salah satunya gerakan melompat, dimana dalam melompat ada beberapa unsur yang diperlukan yaitu kecepatan, kekuatan otot tungkai (power otot), keseimbangan dan stabilisasi dinamis. Manusia dan gerak yang tak terpisahkan menunjukkan betapa pentingnya peran keseimbangan dinamis pada tubuh manusia untuk mendukung aktivitas hariannya (Bohlen, A., Boll, M., Schwarzer, M., 2015).

Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan sistem neuromuscular tersebut dalam suatu posisi atau sikap yang efisien selagi kita bergerak. Sementara itu, keseimbangan (*balance*) adalah kemampuan untuk mempertahankan sistem saraf otot tersebut dalam suatu posisi atau sikap yang efisien selagi kita bergerak. Keseimbangan melibatkan berbagai gerakan di setiap segmen tubuh dengan didukung oleh sistem muskuloskeletal dan bidang tumpu. Kemampuan untuk menyeimbangkan masa tubuh dengan bidang tumpu akan membuat manusia mampu untuk beraktivitas secara efektif dan efisien (Karnath & Broetz, 2003).

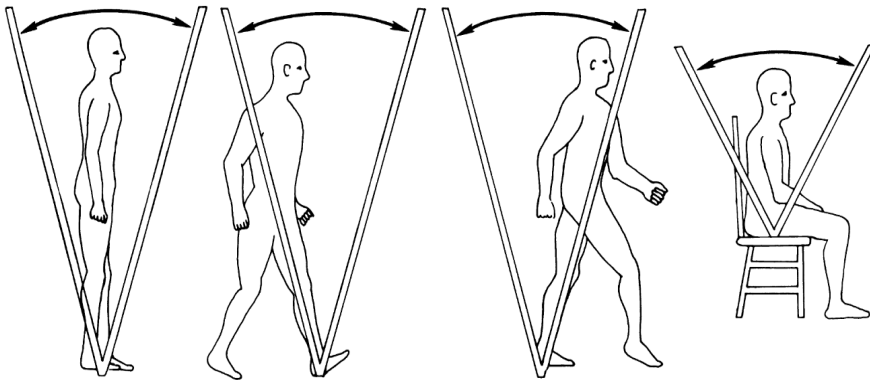
Keseimbangan merupakan interaksi yang kompleks dan integrasi/interaksi sistem sensorik (vestibular, visual, dan somatosensorik termasuk propioceptor) dan muskuloskeletal (otot, sendi dan jaringan lunak lain) yang dimodifikasi/diatur dalam otak (kontrol motorik, sensorik, basal ganglia, cerebellum, dan area asosiasi) sebagai respon terhadap perubahan kondisi eksternal dan internal. Serta dipengaruhi oleh faktor lain seperti, usia, motivasi, kognisi, lingkungan, kelelahan, pengaruh obat dan pengalaman terdahulu.



**Gambar 4.2.** Dynamic and static balance test: (a) single leg jump landing, (b) Posturomed perturbation, (c) Stimulated forward fall, and (d) single leg stance (Steffen Ringhof and Thorsten Stein, 2018)

### C STABILITAS

Stabilitas postur tubuh adalah hal dasar tidak hanya dalam situasi kehidupan/aktivitas sehari-hari tetapi juga hampir di semua aktivitas olahraga. Keseimbangan statis sangat penting dalam menembak dan memanah. Sebaliknya, keseimbangan dinamis memainkan peran penting pertunjukan olahraga gaya bebas seperti snowboarding, skateboard, selancar angin, atau akrobatik sepeda. Dalam kegiatan olahraga seperti karate-kata, tai-chi, yoga, balet atau senam, tujuannya adalah untuk mengontrol keseimbangan, dalam olahraga tertentu posisi kesimbangan dapat bervariasi tingkat kesulitannya tergantung pada jenis spesialisasinya. (Pérez et al., 2017)



**Gambar 4.3.** Batasan stabilitas selama berdiri, berjalan, dan duduk (Jacobson et al., 2016)

## **BAB V**

# **HUKUM-HUKUM GERAK**

Dalam olahraga, atlet dituntut untuk menampilkan penampilan terbaiknya. Nampaknya ini bukanlah hal yang mudah bagi atlet yang tidak terlatih, bahkan atlet yang terlatih juga seringkali mengalami kesulitan. Banyaknya faktor internal dan eksternal yang ada membuat seorang atlet seringkali gagal mengatasi permasalahan yang mengganggu untuk berprestasi. Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu dengan memahami mekanika.

Mekanika adalah ilmu yang mempelajari tentang gerakan. Secara sadar maupun tak sadar sebenarnya semua gerakan manusia itu dilakukan dengan suatu cara yang diatur oleh prinsip-prinsip fisika, sehingga penting bagi pelatih untuk mengenal faktor-faktor mekanika yang mempengaruhi penampilan olahragawan. Seseorang yang sudah menyandang predikat atlet, guru dan pelatih olahraga dengan sendirinya harus melakukan pendekatan ilmiah terhadap gerakan tubuh manusia. Melalui mekanika atlet, guru dan pelatih akan mengubah cara berpikir dogmatis. Masalah utama bagi dunia olahraga ialah mengakui prinsip-prinsip mekanika dari gerakan manusia. Semua gerakan pada manusia, terjadi atas dasar atau prinsip mekanika.

Pada olahraga juga sudah sangat dikenal suatu disiplin ilmu yang secara khusus mempelajari gerakan. Ilmu tersebut dikenal dengan nama biomekanika. Biomekanika didefinisikan sebagai bidang ilmu aplikasi mekanika pada sistem biologi. Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan dan ilmu-ilmu biologi dan fisiologi. Biomekanika menyangkut tubuh manusia dan hampir semua tubuh makhluk hidup. Biomekanika adalah ilmu pengetahuan yang menerapkan hukum-hukum mekanika terhadap struktur

hidup, terutama sistem lokomotor dari tubuh. Biomekanika mempelajari bentuk dan macam-macam gerakan atas dasar prinsip-prinsip mekanika dan menganalisis gerakan untuk dimengerti. Salah satu kajian yang dipelajari dalam biomekanika adalah hukum Newton. Hukum Newton memberikan penjelasan mendasar tentang gerak-gerak pada aktivitas olahraga dikaitkan dengan prinsip-prinsip mekanika.

Dalam kehidupan di dunia ini, manusia selalu diperhadapan dengan hukum-hukum yang berlaku disetiap gerakan atau aktivitas yang dilakukan, dan hukum-hukum biomekanika tidak hanya berlaku hanya pada cabang olahraga semata, karena pada dasarnya olahraga merupakan sebuah keilmuan yang didukung beberapa ilmu seperti psikologi, sosial, fisiologi, anatomi, ilmu gizi, motorik, dan biomekanik (D. A. S. Santoso & Irwanto, 2018) karena olahraga adalah suatu bentuk pendidikan dalam rangka melatih individu maupun kelompok yang memanfaatkan gerakan anggota badan yang dilakukan secara sadar (Pranata et al., n.d.). Namun hukum-hukum gerak dalam biomekanika berlaku juga dalam pekerjaan rumah sehari-hari misalnya, menarik air, mendorong kursi/meja, menyapu, dan lain sebagainya. Biomekanika merupakan ilmu yang membahas aspek-aspek mekanika gerakan-gerakan tubuh (Alfandianto & Putri, 2017). Hukum-hukum yang terjadi dalam setiap aktivitas manusia akan selalu melibatkan beberapa unsur yaitu gaya, usaha, dan energi. Ketiga unsur tersebut selalu berkaitan dengan hukum Newton. Sir Isaac Newton (1642–1727) menemukan banyak hal mendasar hubungan yang membentuk fondasi bidang mekanika modern. Prinsip-prinsip ini menyoroti keterkaitan antara kinetika dasar (Susan J. Hall, 2015). Hukum Newton merupakan sebuah hukum yang menggambarkan tentang hubungan antara gaya yang bekerja pada suatu benda dan kemudian menghasilkan gerak yang disebabkan oleh gaya yang diberikan oleh seseorang terhadap sebuah benda. Hukum-hukum gerak merupakan dasar mekanika klasik yang kemudian dijabarkan dalam tiga Hukum Fisika, yaitu hukum Newton I, II, dan III. Hukum Newton I, II, dan III memiliki peran penting dalam dunia olahraga dan setiap aktivitas manusia.

## **A. HUKUM NEWTON I**

Suatu benda dikatakan bergerak kalau benda itu berpindah dari tempat semula ke tempat yang lain. Untuk menggerakkan suatu benda diperlukan suatu kerja, misalnya kerja otot tangan. Semakin besar bendanya semakin besar pula kerja otot diperlukan. Kerja yang diperlukan untuk menggerakkan benda kita namakan gaya. Gaya adalah tarikan atau dorongan pada benda. Dengan tiada



gaya yang bekerja pada suatu benda, maka benda itu akan tetap diam jika tadinya diam dan akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap jika tadinya demikian. Hal ini berarti bahwa jika tidak ada gaya yang bekerja padanya maka kecepatannya tak berubah atau dengan kata lain benda tidak akan mengalami percepatan. Hal ini disebut dengan hukum Newton I.

Hukum Newton I berbunyi “Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda yang mula-mula diam akan terus diam. Sedangkan benda yang mula-mula bergerak, akan terus bergerak dengan kecepatan tetap.” Hukum Newton I menurut Blasevich (2007: 42) *An object will remain at rest or continue to move with constant velocity as long as the net force equals zero.* Apabila gaya resultan pada benda adalah nol, maka vektor kecepatan benda tidak berubah. Benda hanya akan mengalami suatu percepatan jika padanya bekerja suatu gaya resultan yang bukan nol. Hukum pertama Newton juga sering disebut hukum kelembaman (*Inertia Law*). Hukum Kelembaman (*law of inertia*): “Suatu benda akan tetap diam atau dalam keadaan gerak kecuali karena pengaruh gaya yang mengubah keadaannya”. Pernyataan Hukum Newton I ini secara matematis dapat dituliskan sebagai:  $F = 0$  (Jumlah dari semua gaya yang bekerja sama dengan nol).

Hukum Newton I “Sebuah benda terus berada pada keadaan awalnya yang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan kecuali benda itu dipengaruhi oleh gaya yang tak seimbang, atau gaya luar neto”. Secara sederhana Hukum Newton I mengatakan bahwa percepatan benda nol jika gaya total (gaya resultan) yang bekerja pada benda sama dengan nol. Secara matematis dapat ditulis:

$$F_{\text{neto}} = 0$$

Tubuh yang diam akan tetap diam, dan tubuh yang bergerak akan tetap bergerak dalam kecepatan yang konstan, kecuali dipengaruhi oleh gaya yang tidak seimbang.

Sebagai contoh, apabila seseorang berada dalam bus yang berjalan dan tiba-tiba mengerem, mungkin orang tersebut bisa terpelanting, padahal itu adalah inersia yang menyebabkan ke depan berlanjut walau bus telah berhenti. Cedera benturan disebabkan kecenderungan kepala manusia untuk mematuhi hukum tersebut. Apabila ada gaya sentakan dari belakang maka badan akan tersentak keras ke depan karena ia berkontak dengan tempat duduknya. Namun kepala cenderung tidak bergerak dan tersentak dalam posisi yang menjulur (ekstensi). Karena kepala melekat pada badan, maka kepala akan terbentur dengan keras ke depan menyebabkan kerusakan pada vertebra serviks.

Suatu benda dikatakan bergerak kalau benda itu berpindah dari tempat semula ke tempat yang lain. Untuk menggerakkan suatu benda diperlukan suatu kerja, misalnya kerja otot tangan. Semakin besar bendanya semakin besar pula kerja otot diperlukan. Kerja yang diperlukan untuk menggerakkan benda kita namakan gaya. Gaya adalah tarikan atau dorongan pada benda. Dengan tiada gaya yang bekerja pada suatu benda, maka benda itu akan tetap diam. Apabila tadinya diam dan akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap jika tadinya demikian. Hal ini berarti bahwa jika tidak ada gaya yang bekerja padanya maka kecepatannya tak berubah atau dengan kata lain benda tidak akan mengalami percepatan. Hal ini disebut dengan hukum Newton I.

Hukum Newton I berbunyi “Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda yang mula-mula diam akan terus diam. Sedangkan, benda yang mula-mula bergerak, akan terus bergerak dengan kecepatan tetap.” Hukum Newton I menurut Blasevich (2007: 42) *An object will remain at rest or continue to move with constant velocity as long as the net force equals zero.* Apabila gaya resultan pada benda adalah nol, maka vektor kecepatan benda tidak berubah. Benda hanya akan mengalami suatu percepatan jika padanya bekerja suatu gaya resultan yang bukan nol. Hukum pertama Newton juga sering disebut hukum kelembaman (*Inertia Law*). Hukum Kelembaman (*law of inertia*): “Suatu benda akan tetap diam atau dalam keadaan gerak kecuali karena pengaruh gaya yang mengubah keadaannya”. Pernyataan Hukum Newton I ini secara matematis dapat dituliskan sebagai:  $F = 0$  (Jumlah dari semua gaya yang bekerja sama dengan nol).

Hukum gerak pertama Newton dikenal sebagai hukum kelembaman. Hukum ini menyatakan pengikut: Sebuah benda akan mempertahankan keadaan istirahat atau kecepatan konstan kecuali jika ditindaki oleh kekuatan eksternal yang mengubah keadaan. Dengan kata lain, benda yang tidak bergerak akan tetap tidak bergerak kecuali jika ada gaya total (gaya yang tidak dilawan oleh gaya lain) yang bekerja padanya. Demikian pula, sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan konstan di sepanjang jalur yang lurus akan melanjutkan gerakannya kecuali ditindaklanjuti oleh gaya total yang mengubah salah satu dari keduanya kecepatan atau arah gerak. Tampaknya secara naluriah jelas bahwa sebuah objek dalam situasi statis (tidak bergerak) akan tetap tidak bergerak kecuali ada aksi gaya eksternal. ( Susan J. Hall et al., 2008)

Suatu benda dikatakan bergerak kalau benda itu berpindah dari tempat semula ke tempat yang lain. Untuk menggerakkan suatu benda diperlukan suatu kerja, misalnya kerja otot tangan. Semakin besar bendanya semakin besar pula kerja otot diperlukan. Kerja yang diperlukan untuk menggerakkan benda kita

namakan gaya. Gaya adalah tarikan atau dorongan pada benda. Dengan tiada gaya yang bekerja pada suatu benda, maka benda itu akan tetap diam jika tadinya diam dan akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap jika tadinya demikian. Hal ini berarti bahwa jika tidak ada gaya yang bekerja padanya maka kecepatannya tak berubah atau dengan kata lain benda tidak akan mengalami percepatan. Hal ini disebut dengan hukum Newton I.

Analisis kasus pada olahraga jika kita menggulirkan sekeping bola hoki di atas lantai kayu, pasti kepingan itu akan melambat, dan kemudian berhenti. Apabila kita ingin kepingan itu bergerak dengan kecepatan konstan maka kita harus menarik atau mendorongnya terus menerus. Namun kemudian, jika kita menggulirkan kepingan bola hoki di atas arena *ice skating*, bola hoki tersebut akan meluncur lebih jauh. Kita dapat membayangkan permukaan yang lebih panjang licin, bola hoki akan meluncur lebih jauh lagi di atasnya. Kita dapat membayangkan permukaan yang sangat panjang dan licin (katakanlah permukaan tersebut tanpa gesekan), di mana kepingan bola hoki yang bergerak akan sulit untuk melambat.

Dalam olahraga sepakbola, sebuah bola tidak akan pernah bergerak tanpa adanya tendangan dari pemainnya. Bola tolak peluru akan diam jika tidak diberikan gaya dari luar. Dalam tolak peluru, sifat kekekalan sebuah benda terdapat pada peluru itu sendiri. Pada saat peluru dilempar, peluru akan terus bergerak secara beraturan setelah itu akan jatuh dan berhenti pada tanda panah dalam gambar, titik dimana peluru itu akan berhenti, dan akan terus diam jika tidak digerakan. Disini dibuktikan, bahwa setiap benda yang tidak bergerak, akan tetap diam, terkecuali ada gaya dari luar yang menggerakkan. Pada cabang olahraga Tenis, Ketika melakukan gerakan pukulan forehand bola akan bergerak karsna ada gaya yang bekerja pada bola tersebut (*pukulan lengan*), makin besar gaya tersebut diberikan pada bola, maka jalannya bola semakin cepat (Abdurrtamat, 2011).

## **B. HUKUM NEWTON II**

Percepatan (*acceleration*) adalah perubahan dari kecepatan dalam kesatuan waktu tertentu. Hukum percepatan disebut juga hukum Newton II. Hukum Newton II berbunyi, percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja pada benda itu dan berbanding terbalik dengan massanya. Hukum kedua Newton menjelaskan bahwa gaya neto pada benda sebanding dengan hasil kali massa benda dan percepatannya. Percepatan dihasilkan dalam arah yang sama dengan gaya. Jadi semakin besar gaya yang diberikan

maka kecepatan akan semakin besar, dan semakin kecil massa tubuh maka percepatannya semakin besar, sedangkan jika semakin besar massa tubuh maka percepatannya semakin kecil. Blasevich (2007: 43) mengemukakan “*The acceleration of an object is proportional to the net force acting on it and inversely proportional to the mass of the object:  $F = ma$* ”. Dengan **F** dalam newton, **m** dalam kilogram, dan **a** dalam m/detik<sup>2</sup> perbandingan ini dapat ditulis sebagai suatu persamaan:

$$F = m \cdot a \text{ atau } a = F/m$$

Hukum Newton II “Apabila ada gaya yang bekerja pada suatu benda maka benda akan mengatur percepatan yang arahnya sama dengan arah gaya”. Newton II digunakan untuk mengukur suatu pengamatan. Percepatan sebuah benda (a) berbanding terbalik dengan massanya (m) dan sebanding dengan gaya neto (F) yang bekerja padanya. Maka hubungan gaya (F) dan percepatan oleh Newton dirumuskan :  $F = m \cdot a$  Ket : m : massa benda atau massa inisial (m : 1 kg massa) a : percepatan 1 mS<sup>-2</sup> F : 1 kg mS<sup>-2</sup> = 1 N.

Suatu gaya yang diterapkan pada suatu benda menyebabkan percepatan benda tersebut sebesar sebanding dengan gaya, searah gaya, dan berbanding terbalik sebanding dengan massa tubuh (Susan J. Hall, 2015) selaras dengan pendapat tersebut (D. A. Santoso & Qiram, 2018) mengemukakan bahwa Hukum Newton II menyatakan bahwa gaya yang bekerja di suatu benda berbanding lurus dengan massa dan percepatan benda tersebut. Hukum kedua Newton menjelaskan bahwa gaya neto pada benda sebanding dengan hasil kali massa benda dan percepatannya. Hukum kedua Newton menyatakan bahwa gaya bersih yang bekerja pada suatu benda sama dengan kecepatan pada saat momentumnya berubah terhadap waktu (Hidayat & Rusdiana, 2018).

Percobaan I: Bayangkan anda mendorong sebuah benda yang gaya F dilantai yang licin sekali sehingga benda itu bergerak dengan percepatan a. Menurut hasil percobaan, jika gayanya diperbesar 2 kali ternyata percepatannya menjadi 2 kali lebih besar. Demikian juga jika gaya diperbesar 3 kali percepatannya menjadi 3 kali lebih besar. Kesimpulannya bahwa percepatan sebanding dengan resultan gaya yang bekerja.

Percobaan II: Kali ini massa bendanya divariasikan tetapi gayanya dipertahankan tetap sama. Jika massa benda diperbesar 2 kali, ternyata percepatannya menjadi ½ kali. Kita bisa simpulkan bahwa percepatan suatu benda berbanding terbalik dengan massa benda itu. Massa adalah sifat intrinsik dari sebuah benda yang

menyatakan resistensinya terhadap percepatan. Massa sebuah benda dapat dibandingkan dengan massa benda lain dengan menggunakan gaya yang sama pada masing-masing benda dan dengan mengukur percepatannya. Dengan demikian, rasio massa benda-benda itu sama dengan kebalikan rasio percepatan benda-benda itu yang dihasilkan oleh gaya yang sama:

$$m = F/a$$

Massa sebuah benda tidak tergantung pada lokasi benda.

Contoh: Seorang tenaga medis yang kesulitan memindahkan troli yang berat, mungkin akan meminta bantuan teman sejawatnya, untuk menghasilkan gaya yang lebih besar, sehingga pergerakan troli dari keadaan diam menjadi bergerak (percepatan) yang dihasilkannya lebih besar atau troli lebih mudah dipindahkan.

Walker (2005: 101) hukum kedua Newton menjelaskan bahwa gaya neto pada benda sebanding dengan hasil kali massa benda dan percepatannya. Percepatan dihasilkan dalam arah yang sama dengan gaya. Jadi, semakin besar gaya yang diberikan maka kecepatan akan semakin besar, dan semakin kecil massa tubuh maka percepatannya semakin besar, sedangkan jika semakin besar massa tubuh maka percepatannya semakin kecil. Blasevich (2007: 43) mengemukakan "*The acceleration of an object is proportional to the net force acting on it and inversely proportional to the mass of the object:  $F = ma$* ". Dengan **F** dalam newton, **m** dalam kilogram, dan **a** dalam m/detik<sup>2</sup> perbandingan ini dapat ditulis sebagai suatu persamaan:

$F = m \cdot a \text{ atau } a = F/m$
---------------------------------------

Persamaan ini sangat sederhana, tetapi kita harus menggunakannya dengan hati-hati. Pertama, kita harus pastikan kepada benda yang mana hukum kedua Newton tersebut akan kita terapkan. Kemudian  $F_{net}$  haruslah jumlah vektor dari semua gaya yang berlaku pada benda. Hanya gaya yang berlaku pada benda saja yang dimasukkan dalam penjumlahan vektor, bukan gaya yang berlaku pada benda lain yang mungkin terlibat dalam situasi yang diberikan. Contohnya, jika kita berada dalam permainan rugby, gaya neto terhadap kita adalah jumlah vektor semua dorongan dan tarikan pada tubuh kita. Tidak termasuk dorongan dan tarikan kita pada pemain lain.

Contoh penerapan pada olahraga perubahan gerak terjadi dipengaruhi oleh besar gaya bola yang datang, pemain tenis akan secepat mungkin mengambil posisi apa yang akan dilakukan. Apabila pemain tersebut menginginkan suatu pukulan *forehand* yang keras maka yang harus dilakukan adalah memperbesar gaya sehingga dapat menimbulkan percepatan yang lebih cepat. Seorang pemain harus dapat memprediksi saat *impact* bola terhadap raket.

### C. HUKUM NEWTON III

Dua benda dikatakan berinteraksi bila mereka mendorong atau menarik satu sama lain yaitu ketika gaya bekerja pada tiap benda karena benda yang lain. Hukum ke-3 Newton mengatakan bahwa jika sebuah benda mengadakan pengaruh (gaya) pada sebuah benda lain maka benda yang lain itupun sebaliknya mengadakan pengaruh juga kepada benda pertama tadi. Kedua pengaruh sama besar berlawanan arah dan bekerja pada satu garis lurus. Hukum Newton ke-3 menjelaskan bahwa setiap ada gaya aksi yang dikenai pada suatu benda maka akan timbul gaya reaksi yang sama besar namun berlawanan arah. Bartlett (2007: 184) mengatakan *for every action, or force, exerted by one object on a second, there is an aqual and opposite force, or reaction, exerted by the second object on the first.*

Berdasarkan hukum gerak Newton ketiga (ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama), gaya gesek inilah yang juga mendorong perenang untuk terus bergerak maju. Jika tidak ada gaya gesek sama sekali, maka tidak akan ada gaya dorong yang menyebabkan perenang terus bergerak. Mark Spitz perenang legendaris dari Amerika tahu menggunakan hukum Newton. Ketika Mark menggerakkan tangan mendorong air ke belakang, menurut hukum Newton III air akan bereaksi mendorong Mark ke depan. Hal yang sama terjadi ketika Mark menendang air, air akan mendorong Mark melaju ke depan. Kombinasi yang baik antara gerakan tangan dan kaki (seperti lumba-lumba menggerakkan ekor dan tubuhnya) dapat memberikan gaya dorong yang besar sehingga Mark Spitz dapat melaju merebut 7 medali emas olimpiade di Munich tahun 1972.

Contoh dapat kita lihat pada cabang olahraga anggar, ketika pemain memposisikan gerakan untuk maju atau mundur dapat dilihat dari Hukum 3 Newton dimana Aksi=Reaksi, dimana saat lawan maju sebaiknya mundur untuk menjaga jarak dan sebaliknya (Jannah et al., 2014). Berikut ilustrasi lain dari hukum ketiga Newton. Contoh lain dari penerapan hukum newton 3 yaitu pada cabang olahraga panahan dimana pada saat proses release, aksi yang

diberikan ialah pada saat otot-otot scapula bekerja menarik tali ke belakang yang menghasilkan suatu reaksi yang disebut proses klicking, sehingga membuat anak panah terlepas dari busur (Nawir, 2011).



**Gambar 5.1.** Penerapan Hukum Newton III (Susan J. Hall: 2015)

Hal lain yang berkenaan dengan Hukum Newton dilakukan oleh perenang hebat Australia Ian Thorpe yang dijuluki “the Australian superfish”. Saat hendak berbalik arah, perenang muda yang masih berumur 20 tahun ini, akan menendang dinding kolam sekeras mungkin. Ian yang meraih 6 medali emas dalam kejuaraan negara persemakmuran di Manchester 2002, tahu bahwa kalau ia menendang keras maka menurut hukum Newton III, dinding akan memberikan reaksi dan mendorong ia keras ke depan. Semakin keras ia menendang, semakin keras pula dorongan dari dinding itu. Ian diharapkan mampu memecahkan berbagai rekor renang dalam olimpiade 2004 nanti di Athena. Kenapa dinding tidak ikut bergerak ketika Ian menendang? Karena massa (berat) dinding kolam jauh lebih besar dari massa air.

Hukum Newton III Gaya-gaya selalu terjadi berpasangan. Jika benda A, mengerjakan sebuah gaya pada benda B, gaya yang sama besar dan berlawanan arah dikerjakan oleh benda B pada benda A.

$$F \text{ aksi} = F \text{ reaksi}$$

$F \text{ aksi}$  = gaya yang bekerja pada benda

$F \text{ reaksi}$  = gaya reaksi benda akibat gaya aksi

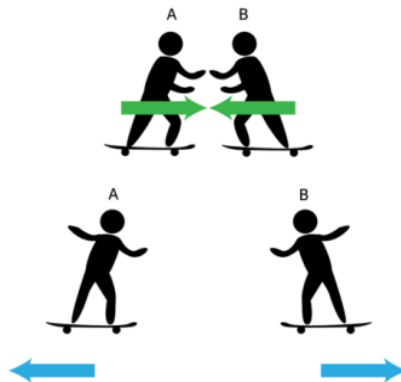
Hukum ketiga menyatakan bahwa “tidak ada gaya timbul di alam semesta ini, tanpa keberadaan gaya lain yang sama dan berlawanan dengan gaya itu”. Apabila sebuah gaya bekerja pada sebuah benda (aksi) maka benda itu akan

mengerjakan gaya yang sama besar namun berlawanan arah (reaksi). Dengan kata lain gaya selalu muncul berpasangan. Tidak pernah ada gaya yang muncul sendirian. Contoh: Saat berjalan, hentakan kaki atau sepatu ke permukaan lantai biasanya mengartikan bahwa orang tersebut menekan kakinya ke permukaan lantai dengan gaya reaksi bumi yang sama melalui lantai pada kaki tersebut.

Dua benda dikatakan berinteraksi bila mereka mendorong atau menarik satu sama lain yaitu ketika gaya bekerja pada tiap benda karena benda yang lain. Hukum ke-3 Newton mengatakan bahwa jika sebuah benda mengadakan pengaruh (gaya) pada sebuah benda lain maka benda yang lain itupun sebaliknya mengadakan pengaruh juga kepada benda pertama tadi. Kedua pengaruh sama besar berlawanan arah dan bekerja pada satu garis lurus. Hukum Newton ke-3 menjelaskan bahwa setiap ada gaya aksi yang dikenai pada suatu benda maka akan timbul gaya reaksi yang sama besar namun berlawanan arah. Bartlett (2007: 184) mengatakan *for every action, or force, exerted by one object on a second, there is an equal and opposite force, or reaction, exerted by the second object on the first.*

Ketika bermain skateboard anak menekan tanah dengan kakinya kebelakang sebagai gaya aksi, kemudian skateboard terdorong bergerak maju sebagai reaksi. Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa, Gaya Aksi dan Reaksi bermakna:

- a. Gaya aksi dan gaya reaksi besarnya sama.
- b. Memiliki arah berlawanan (ditunjukkan dengan tanda minus pada rumusnya).
- c. Terjadi pada objek/benda yang berbeda, seperti “kaki anak menekan tanah dan tanah memberikan reaksi pada *skateboard* dan anak tersebut atau seperti ilustrasi di bawah ini:



**Gambar 5.2.** Contoh Penerapan Hukum Newton III



Kejadian di atas menunjukkan bahwa saat dua anak dengan *skateboard* nya saling mendorong satu sama lain, maka yang akan terjadi kedua anak tersebut adalah terdorong ke belakang dengan arah yang berlawanan dengan sama besar. Berdasarkan penjelasan di atas maka dirumuskan rumus aksi reaksi sebagai:

$$\mathbf{F \ aksi = - F \ reaksi}$$

Contoh penerapan hukum Newton III pada olahraga diantaranya pantulan bola basket saat *dribbling*. Saat bola di-*dribbling*, pasti memanfaatkan lantai sebagai tempat untuk memantulkan bola tersebut ke atas. Lantai akan memberikan reaksi pada saat bola tersebut jatuh ke bawah, dan memantulkannya kembali ke atas. Pada saat melakukan tolakan pada balok start gaya yang dilakukan akan menghasilkan gaya terbalik pada balok start. Pada saat kaki melakukan tolakan di balok start, maka balok start akan memberikan reaksi sebaliknya dengan menahan agar atlet dapat bertolak dengan baik. Reaksi akan semakin besar jika kaki memberikan tolakan yang kuat pula.

Berdasarkan hukum gerak Newton ketiga (ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama), gaya gesek inilah yang juga mendorong perenang untuk terus bergerak maju. Jika tidak ada gaya gesek sama sekali, maka tidak akan ada gaya dorong yang menyebabkan perenang terus bergerak. Mark Spitz perenang legendaris dari Amerika tahu menggunakan hukum Newton. Ketika Mark menggerakkan tangan mendorong air ke belakang, menurut hukum Newton III air akan bereaksi mendorong Mark ke depan. Hal yang sama terjadi ketika Mark menendang air, air akan mendorong Mark melaju ke depan. Kombinasi yang baik antara gerakan tangan dan kaki (seperti lumbalumba menggerakkan ekor dan tubuhnya) dapat memberikan gaya dorong yang besar sehingga Mark Spitz dapat melaju merebut 7 medali emas olimpiade di Munich tahun 1972.

Hal lain yang berkenaan dengan Hukum Newton dilakukan oleh perenang hebat Australia Ian Thorpe yang dijuluki “the Australian superfish”. Saat hendak berbalik arah, perenang muda yang masih berumur 20 tahun ini, akan menendang dinding kolam sekeras mungkin. Ian yang meraih 6 medali emas dalam kejuaraan negara persemakmuran di Manchester 2002, tahu bahwa kalau ia menendang keras maka menurut hukum Newton III, dinding akan memberikan reaksi dan mendorong ia keras ke depan. Semakin keras ia menendang, semakin

keras pula dorongan dari dinding itu. Ian diharapkan mampu memecahkan berbagai rekor renang dalam olimpiade 2004 nanti di Athena. Kenapa dinding tidak ikut bergerak ketika Ian menendang? Karena massa (berat) dinding kolam jauh lebih besar dari massa Ian.

Pada olahraga dayung berbagai perkembangan dalam teknik mendayung ternyata didasari oleh berbagai konsep yang diaplikasikan dalam olahraga ini. Faktor utama yang paling mempengaruhi kecepatan perahu adalah daya dorong perahu (*propulsion*). Mekanisme pergerakan perahu dalam air mengikuti Hukum III Newton tentang aksi dan reaksi. Menurut hukum ini, setiap gaya aksi selalu mendapatkan gaya reaksi yang besarnya sama tetapi pada arah yang berlawanan. Dalam proses mendayung, pedayung memindahkan sejumlah massa air ke belakang (gaya aksinya) sebagai reaksinya air akan mendorong perahu maju. Untuk menggerakkan perahu dengan massa total (termasuk massa pedayung) 100 kg, dengan kecepatan 1 m/s, kecepatan dayung (kecepatan air yang dilontarkan) yang dibutuhkan 10 m/s jika massa air tersebut sebesar 10 kg. Atau kecepatan dayungnya 5 m/s jika massa air tersebut 20 kg. Disini kita mempunyai kebebasan menentukan kecepatan dayung kita untuk mencapai kecepatan optimum.

Dalam menentukan kecepatan dayung yang optimum konsep lain yang perlu diperhatikan adalah konsep energi kinetik. Pada kasus 1, besarnya energi yang dibutuhkan adalah 550 Joule, sedangkan energi yang dibutuhkan untuk kasus 2 adalah 300 Joule. Besarnya energi kinetik yang terlibat pada kasus 1 hampir dua kali lipat energi yang terlibat di kasus 2. Hal ini menunjukkan bahwa teknik yang lebih efisien adalah dengan mendayung perlahan tetapi jumlah massa air yang dipindahkan diperbesar. Hal ini merupakan dasar yang menjadi alasan dipilihnya ukuran ujung dayung yang lebih besar (*Hatchet Blade*) supaya dapat memindahkan air dalam jumlah yang lebih banyak.

Pada suatu pertandingan dayung, kecepatan mendayung dapat bertambah maupun berkurang (semakin cepat atau semakin lambat) selama pertandingan berlangsung. Analisis menggunakan konsep fisika menunjukkan bahwa perubahan kecepatan sangat tidak efektif dalam hal penggunaan energi. Ada persepsi yang menganggap bahwa untuk dapat memenangkan pertandingan, kecepatan mendayung harus ditingkatkan saat garis *finish* semakin dekat. Misalnya pada menit pertama kecepatan mendayung adalah 4 m/s. Kecepatan ini kemudian ditingkatkan menjadi 6 m/s pada menit yang kedua. Selama dua menit tersebut jarak yang ditempuh adalah 600 m. Total kerja yang dilakukan adalah 16.800 Joule. Jarak yang sama sebenarnya dapat pula ditempuh oleh perahu yang sama tanpa perubahan kecepatan selama dua menit tersebut (misalnya kecepatan konstan pada 5 m/s selama dua menit). Kerja yang harus dilakukan pada sistem

yang bergerak dengan kecepatan konstan ini adalah 15.000 Joule. Ilustrasi ini menunjukkan bahwa penggunaan kecepatan yang konstan sepanjang lintasan merupakan teknik yang lebih efektif karena membutuhkan kerja (dan daya) yang lebih sedikit untuk menempuh jarak yang sama. Pertambahan kecepatan di saat-saat akhir menjelang *finish* hanya menghasilkan kelelahan yang lebih bagi para pedayang karena kerja yang harus dilakukan lebih besar.



## BAB VI

# GAYA DAN MOMENTUM

### A. GAYA

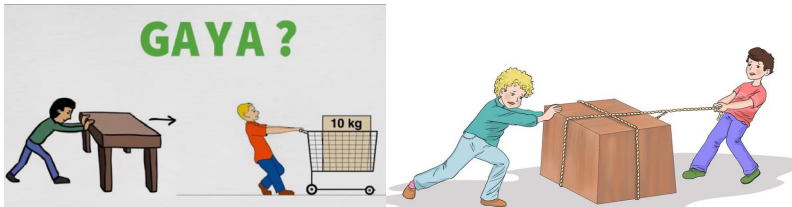
Dalam olahraga *weight-lifting*, kita contohkan dua lifter yang sedang mengerahkan kekuatan ototnya untuk mengangkat sebuah barbel dengan arah vertikal. Kombinasi kedua gaya menunjukkan jumlah dan diangkat pada arah tertentu. Ketika arah dan jumlah gaya yang diterapkan diketahui, maka kombinasi keduanya disebut vektor gaya. Istilah vektor menunjukkan kuantitas yang mempunyai arah. Dalam kasus ini, jumlah gaya tertentu divektorkan dengan arah vertikal. (Giancoli, Douglas, 2016).

Gaya di dalam ilmu fisika, adalah interaksi apapun yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami perubahan gerak, baik dalam bentuk arah, maupun konstruksi geometris. (Glossary Earth Observatory, NASA: 2008). Dengan kata lain, sebuah gaya dapat menyebabkan sebuah objek dengan massa tertentu untuk mengubah kecepatannya (termasuk untuk bergerak dari keadaan diam), atau berakselerasi, atau untuk terdeformasi. Gaya memiliki besaran (magnitudo) dan arah, sehingga merupakan kuantitas vektor. Satuan SI yang digunakan untuk mengukur gaya adalah Newton (dilambangkan dengan N). Gaya sendiri dilambangkan dengan simbol  $F$ , khusus untuk gaya gesek, dilambangkan dengan  $f_s$  atau  $f_k$  tergantung kondisinya. (Giancoli, Douglas, 2016)

Secara sederhana gaya dapat diartikan sebagai apabila sebuah benda diberikan gaya, kemudian benda yang diberikan akan mengalami perpindahan tempat atau mengalami perubahan dengan mendorong atau menarik. Gaya yang diberikan atau diperlakukan terhadap benda tersebut maka akan mengakibatkan

sebuah penerapan gaya menghasilkan sebuah perubahan gerak pada benda tersebut. Sebuah contoh perubahan gerak ialah ketika benda yang tidak bergerak kemudian menjadi bergerak atau sebaliknya, contoh lain lagi ketika sebuah benda melaju dengan kecepatan tinggi kemudian benda tersebut lambat dalam bergerak atau sebaliknya. Oleh karena itu, dengan adanya gaya, gaya berperan dalam mengubah gerak sebuah benda sesuai dengan besar gaya yang diberikan oleh manusia.

Gaya memiliki arah dan besaran yang selalu berubah sesuai dengan kemampuan manusia. Misalnya, gaya gravitasi bumi pada dasarnya gaya gravitasi akan selalu berlaku sebuah benda yang dilempar atau dibuang ke atas akan jatuh ke permukaan bumi. Contoh lain adalah sebuah gaya yang digunakan seseorang untuk memindahkan meja dengan cara menggeserkan meja secara mendatar. Dengan demikian, sebuah gaya berlaku ketika gaya dapat menghasilkan sebuah perubahan pada benda.



**Gambar 6.1.** Gaya Tarik dan Dorong

## **B. MOMENTUM**

Biomekanika mempunyai fungsi dan peranan yang besar dalam bidang olahraga, melalui biomekanika seorang pelatih dapat menyusun program-program latihan sesuai dengan mekanika gerak yang benar (efektif, efisien), bagi seorang atlet akan menemukan berbagai informasi pengetahuan dalam memperbaiki penampilannya (performa), bahkan bagi seorang pengamat pertandingan dengan memahami ilmu ini akan menjadikan seorang pengamat tersebut menjadi pengamat yang jauh lebih kritis dan ilmiah saat mengamati jalannya suatu pertandingan. Dengan demikian, biomekanika sangat bermanfaat dalam bidang olahraga dari berbagai sisi. Salah satu yang menjadi analisis bidang biomekanika dalam bidang keolahragaan adalah konservasi momentum sudut.

Momentum menunjukkan kuantitas gerak yang terjadi. Berapa besar momentum yang dimiliki seorang atlet tergantung seberapa berat atlet dan seberapa cepat atlet bergerak. Peningkatan pada massa dan kecepatan atlet,

atau keduanya, maka momentumnya meningkat. Momentum terjadi kapan saja seorang atlet atau sebuah benda bergerak, dan momentum ini memainkan peran yang sangat penting dalam cabang olahraga yang mengandung unsur kontak tubuh (contact sport) atau impact. Cara termudah untuk mengetahui momentum adalah mengamatinya sebagai senjata yang dapat digunakan atlet untuk menghasilkan efek terhadap benda lain atau lawannya. Cabang olahraga memerlukan momentum yang maksimum.

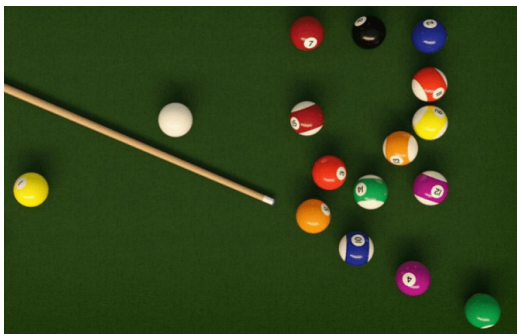
Momentum merupakan sebuah istilah di bidang fisika yang berlandaskan pada kuantitas gerak dan massa yang dimiliki oleh sebuah objek. Momentum dapat diartikan sebagai sebuah besaran yang dihasilkan dari perkalian antara besaran skala dan besaran skala massa benda dengan vektor kecepatan gerak sebuah benda. Sehingga momentum termasuk dalam besaran vektor (sebuah besaran yang dapat dipengaruhi oleh arah). Oleh karena setiap arah momentum selalu searah dengan kecepatan, dan momentum dapat diartikan sebagai sebuah kecepatan yang berlangsung searah dengan benda. Karena semakin besar momentum, maka semakin besar kekuatan yang dimiliki oleh sebuah benda. Tetapi hal ini tidak berlaku jika sebuah benda dalam keadaan diam maka momentumnya sama dengan nol. Namun sebaliknya jika semakin cepat pergerakan sebuah benda maka semakin besar pula momentum yang didapatkan.

Kemudian definisi momentum adalah besaran suatu gerak yang bertambah atau berkurang dengan cara menambah atau mengurangi massa atau kecepatannya (Soedarminto, 1992: 248). Momentum dapat diartikan dengan sebutan kuantitas gerak yang besarnya berbanding lurus dengan massa dan kecepatan. Sehingga menghasilkan rumus momentum  $\mathbf{M} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{v}$  di bawah ini keterangan rumus momentum secara lengkap:

**M = Momentum kg. m/detik**

**m = massa dalam kg**

**v = kecepatan dalam m/detik**



**Gambar 6.2.** Momentum

Sebelum membahas momentum sudut, terlebih dahulu harus dipahami konsep momentum (momentum = momentum linear). Momentum sama dengan momentum linear adalah momentum yang dimiliki oleh benda-benda yang bergerak pada lintasan lurus. Dalam kehidupan sehari-hari, tidak semua benda selalu bergerak sepanjang lintasan lurus. Lintasan lurus itu hanya model yang dipakai untuk membantu menganalisis gerakan benda. Jadi dengan menganggap setiap benda seolah-olah selalu bergerak sepanjang lintasan atau jalan yang lurus. Momentum sebuah benda merupakan hasil kali antara massa ( $m$ ) benda dan kecepatan ( $v$ ) geraknya.

Persamaannya:

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v}$$

**Keterangan :**

$\mathbf{p}$  = momentum

$m$  = massa

$\mathbf{v}$  = kecepatan

Momentum merupakan besaran vektor, jadi selain mempunyai besar atau nilai, momentum juga mempunyai arah. Besar momentum  $p = mv$ , dan arah momentum sama dengan arah kecepatan. Misalnya jika seseorang kebut-kebutan dengan sepeda ontel ke arah timur, maka arah momentum adalah timur, tapi kalau seseorang dan sepeda ontel bergerak ke utara maka arah momentum adalah utara. Bagaimana dengan satuan momentum? karena  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ , di mana satuan  $m = \text{kg}$  dan satuan  $v = \text{m/s}$ , maka satuan momentum adalah  $\text{kg m/s}$ .

Dari persamaan di atas, tampak bahwa momentum ( $\mathbf{p}$ ) berbanding lurus dengan massa ( $m$ ) dan kecepatan ( $\mathbf{v}$ ). Semakin besar kecepatan benda, semakin besar momentum benda tersebut. Demikian juga, semakin besar massa sebuah benda, momentum benda tersebut juga semakin besar. Perlu diingat bahwa momentum merupakan hasil kali antara massa ( $m$ ) dan kecepatan ( $v$ ). Jadi jika sebuah benda sedang diam (kecepatannya = 0), maka momentum benda itu = 0, meskipun massa benda itu berton-ton.

## 1. Pengertian Konservasi Momentum Sudut

Apabila momentum linear adalah momentum yang dimiliki oleh benda-benda yang bergerak pada lintasan lurus, maka momentum sudut merupakan momentum yang dimiliki oleh benda-benda yang melakukan gerak rotasi. Dikatakan sudut, karena ketika melakukan gerak rotasi, setiap benda mengitari



sudut tertentu. Dalam hal ini, benda berputar terhadap poros atau sumbu rotasi. Persamaan momentum sudut itu mirip dengan persamaan momentum linear. Hanya tinggal menggantikan besaran-besaran linear (*besaran gerak lurus*) pada persamaan momentum dengan besaran-besaran sudut (*besaran gerak rotasi*).

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v}$$

Persamaan tersebut adalah persamaan momentum untuk benda-benda yang bergerak pada lintasan lurus. Jika dalam gerak lurus setiap benda (*benda dianggap sebagai partikel tunggal*) mempunyai massa ( $m$ ), maka di dalam gerak rotasi, setiap benda tegar (*benda dianggap tersusun dari banyak partikel*) mempunyai momen Inersia ( $I$ ). Temannya massa adalah momen inersia. Jadi untuk menurunkan persamaan momentum sudut, bisa menggantikan massa ( $m$ ), dengan momen inersia ( $I$ ).

Ketika sebuah benda melakukan gerak lurus, benda tersebut bergerak dengan kecepatan ( $v$ ) tertentu. Dalam hal ini, setiap bagian benda itu mempunyai kecepatan yang sama. Misalnya ketika seseorang kebut-kebutan di jalan dengan motor, bagian depan motor, bagian bawah, samping kiri, samping kanan, atas dan bawah selalu bergerak dengan kecepatan yang sama, bahwa *kecepatan = kecepatan linear*.

Ketika sebuah benda melakukan gerak rotasi, setiap bagian benda itu juga punya kecepatan linear, tapi kecepatan linearnya berbeda-beda. Misalnya jika seseorang mendorong pintu rumah, bagian tepi pintu bergerak lebih cepat ( $v$  besar), sedangkan bagian pintu yang ada di dekat engsel, bergerak lebih pelan ( $v$  kecil). Walaupun **kecepatan linear** setiap bagian benda berbeda-beda, **kecepatan sudut** semua bagian benda itu selalu sama. Silakan mendorong pintu rumah lagi. Ketika mendorong pintu, semua bagian pintu itu, baik tepi pintu maupun bagian pintu yang ada di dekat engsel, berputar menempuh sudut yang sama, selama selang waktu yang sama. Jika pintu berhenti berputar, semua bagian pintu itu ikut-ikutan berhenti berputar ( $\text{kecepatan sudut} = 0$ ). Mirip seperti jika dirimu menghentikan sepeda motor, maka semua bagian sepeda motormu itu ikut-ikutan berhenti bergerak ( $\text{kecepatan} = 0$ ).

Jadi, jika dalam gerak lurus terdapat besaran kecepatan, maka dalam gerak rotasi terdapat besaran kecepatan sudut. Untuk menurunkan persamaan momentum sudut, kita bisa menggantikan kecepatan ( $v$ ), dengan kecepatan sudut ( $\omega$ ). Persamaan rumus momentum sudut:

$$L = I\omega$$

Keterangan:

L= Momentum sudut

I= Momen inersia

$\omega$ = Kecepatan sudut

Satuan momentum sudut adalah  $\text{kg m}^2/\text{s}$ .

## 2. Hukum Newton II versi Momentum untuk Gerak Rotasi

Secara matematis, Hukum II Newton versi momentum untuk gerak lurus dinyatakan dengan persamaan:

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

**Keterangan :**

$\sum F$  = gaya total yang bekerja pada benda

$\Delta p$  = perubahan momentum

$\Delta t$  = selang waktu perubahan momentum

Persamaan Hukum II Newton versi momentum untuk gerak rotasi cuma beda tipis dengan persamaan di atas. Kita tinggal menggantikan besaran-besaran gerak lurus dengan besaran-besaran gerak rotasi. Gaya (F) bisa digantikan dengan Torsi, Momentum (p) diganti dengan momentum sudut (L). Besaran waktu (t) tetap. Persamaan Hukum II Newton versi momentum untuk gerak rotasi dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\sum \tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

**Keterangan :**

$\sum \tau$  = Torsi total yang bekerja pada benda tegar

$\Delta L$  = perubahan momentum sudut

$\Delta t$  = selang waktu perubahan momentum sudut

Persamaan ini menyatakan bahwa laju perubahan momentum sudut sama dengan torsi total yang bekerja pada benda tegar. Laju perubahan momentum sudut = perubahan momentum sudut yang terjadi selama selang waktu tertentu. Misalnya mula-mula sebuah benda tegar diam (momentum sudutnya = 0). Setelah dikerjakan Torsi, benda tegar tersebut berotasi dengan kecepatan sudut tertentu. Ketika berotasi, benda tegar itu mempunyai momentum sudut. Jadi selama selang waktu tertentu, benda mengalami perubahan momentum sudut dari nol menjadi ada. Dalam hal ini terjadi penambahan momentum sudut.

Torsi total mirip dengan gaya total. Misalnya mula-mula sebuah pintu diam. Jika kita mendorong pintu (kita mengerjakan torsi pada pintu), pintu itu berputar. Perlu diketahui bahwa tidak semua torsi yang dikerjakan terpakai untuk menggerakkan pintu. Sebagian torsi lenyap karena pada pintu juga bekerja torsi akibat adanya gaya gesekan (gesekan antara pintu dengan udara atau gesekan antara pintu dengan engsel). Selisih antara torsi yang kita berikan dan torsi yang timbul akibat adanya gaya gesekan disebut torsi total. Torsi total ini yang membuat pintu berputar alias berotasi.

Persamaan Hukum II Newton versi momentum di atas lebih bersifat umum. Maksudnya persamaan itu berlaku baik momen inersia benda tegar konstan maupun tidak konstan.

Dari persamaan Hukum II Newton versi momentum di atas, kita juga bisa menurunkan persamaan Hukum II Newton untuk gerak rotasi. Persamaan hukum II Newton untuk gerak rotasi ini berlaku untuk kasus khusus saja, yakni ketika momen inersia benda tegar tetap.

$$\begin{aligned}\omega_o &= \text{Kecepatan sudut awal} \\ \omega_t &= \text{Kecepatan sudut akhir} \\ I &= \text{Momen Inersia benda tegar}\end{aligned}$$

Maka persamaan *Hukum II Newton versi momentum untuk gerak rotasi* di atas bisa menjadi seperti ini:

$$\sum \tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

$$\sum \tau = \frac{I\omega_t - I\omega_o}{\Delta t}$$

$$\sum \tau = \frac{I(\omega_t - \omega_o)}{\Delta t}$$

$$\sum \tau = I \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$$\sum \tau = I\alpha$$

#### Keterangan :

$\sum \tau$  = Torsi total yang bekerja pada benda tegar

$I$  = Momen Inersia

$\alpha$  = Percepatan sudut

Persamaan di atas adalah persamaan Hukum II Newton untuk gerak rotasi.

### 3. Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Momentum sudut yang telah kita pelajari sebelumnya merupakan konsep yang penting dalam fisika. Momentum sudut merupakan dasar dari hukum kekekalan momentum sudut. Hukum berbeda dengan prinsip. Dalam fluida, kita mengenal prinsip Archimedes, prinsip Pascal dkk. Prinsip itu hanya berlaku untuk kondisi tertentu saja. Sementara hukum itu berlaku universal alias umum.

Hukum Kekekalan Momentum Sudut menyatakan bahwa:

*Jika Torsi total yang bekerja pada sebuah benda tegar = 0, maka momentum sudut benda tegar yang berotasi bernilai konstan.*

Hukum kekekalan momentum sudut ini merupakan salah satu hukum kekekalan yang penting dalam fisika. Secara matematis, pernyataan Hukum Kekekalan momentum Sudut di atas bisa dibuktikan dengan persamaan Hukum II Newton untuk gerak rotasi versi momentum.

$$\Sigma \tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

$$\Sigma \tau = \frac{I_t \omega_t - I_0 \omega_0}{\Delta t} \rightarrow \Sigma \tau = 0$$

$$0 = I_t \omega_t - I_0 \omega_0$$

$$I_t \omega_t = I_0 \omega_0 = \text{konstan}$$

**Keterangan :**

$I_0 \omega_0 = \text{Momentum Sudut Awal}$

$I_t \omega_t = \text{Momentum Sudut Pada Saat Tertentu}$

$I_0 = \text{Momen Inertia Awal}$

$\omega_0 = \text{Kecepatan Sudut Awal}$

$I_t = \text{Momen Inertia Pada Saat Tertentu}$

$\omega_t = \text{Kecepatan Sudut Pada Saat Tertentu}$

Hukum Konservasi Momentum menyatakan:

“Total (angular) momentum dari suatu sistem tetap konstan kecuali kekuatan eksternal mempengaruhi sistem”.

### 4. Aplikasi Momentum Sudut dalam Olahraga

Sebagian besar gerakan manusia ditandai dengan sejumlah besar segmen tubuh secara bersamaan bergerak dalam lingkaran. Ketika berlari, siklus kaki yaitu gerakan tangan melalui busur dari depan ke belakang tubuh dan kembali lagi. Dalam hukum Newton dijelaskan, setiap tindakan memiliki reaksi yang sama dan berlawanan, sehingga ketika memilih untuk menggerakkan anggota melalui gerakan siklus, sebuah ‘reaksi’ rotasi yang berlawanan harus dibuat semudah mungkin. Hal ini bisa dilihat dengan jelas ketika seorang pemain

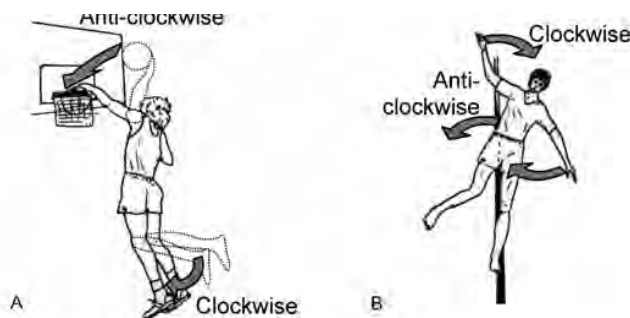
basket 'slam dunks' bola melalui lingkaran, seperti pada Gambar 8.1 (A). Rotasi ke depan dan ke bawah lengan selama *dunk* menciptakan sebuah rotasi reaksi yang sama dan berlawanan di kaki. Karena kaki memiliki inersia yang lebih besar, ada gerakan kurang terlihat di dalamnya. Hal ini juga dapat dilihat dari efek ketika seseorang kehilangan keseimbangan. Dengan melingkarkan lengan di satu arah, tubuh berputar ke arah lain, seperti pada Gambar 1 (B). Seseorang ingin mencoba strategi ini di waktu berikutnya, seorang teman mencoba untuk mendorong teman yang lain ke dalam genangan air. Ini adalah prinsip Hukum Ketiga Newton: *Untuk setiap aksi sudut ada reaksi sudut yang sama dan berlawanan*

Juga bisa dikatakan bahwa ketika orang pada Gambar 1 (B) mulai jatuh, orang tersebut memiliki sedikit momentum sudut. Energi tidak dapat diciptakan maupun dihancurkan, tetapi tetap konstan, misalnya, energi listrik masuk ke filamen bola lampu berubah menjadi sama persis pada jumlah panas dan cahaya. Energi bergerak dalam sistem tetap konstan. Apapun momentum di sana untuk memulai dengan keharusan tetap berada dalam sistem kecuali kekuatan eksternal bertindak untuk mengubahnya seperti bus yang bergerak hanya bisa berhenti jika hambatan udara, gesekan atau rem bertindak untuk memperlambatnya.

Hukum Konservasi Momentum menyatakan:

“Total (angular) momentum dari suatu sistem tetap konstan kecuali kekuatan eksternal mempengaruhi sistem”.

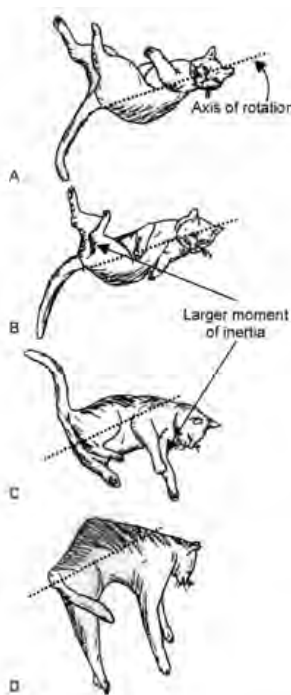
Momentum sudut meningkat ketika mengayunkan tangan dengan penuh semangat, sehingga bagian dari tubuh yang lain akan cenderung untuk memutar dalam arah yang berlawanan untuk mengurangi total momentum sudut, momentum keseluruhan tetap konstan.



**Gambar 6.3.** Rotasi segmen

Rotasi dari satu segmen tubuh menyebabkan rotasi reaksi dalam segmen tubuh lainnya, menurut Hukum Ketiga Newton. A: seorang pemain basket 'slam dunk' bola. B: seorang atlet *balancing* di dalam area bermain.

Konsep kekekalan momentum menurut Blazeovich (2007: 90) dapat digunakan untuk menjelaskan sejumlah fenomena ini. Seorang penyelam menenggalkan batu loncatan dengan jumlah tertentu dari sudut momentum, yang diciptakan dari gaya reaksi loncatan pada penyelam. Setelah di udara, ia mengubah rotasinya dengan memanipulasi tentang pusat massa tubuhnya tetapi momentum sudut total yang tetap konstan. Jadi, bagaimana penyelam berputar cepat saat melakukan jungkir balik? Penyelam membawa anggota tubuhnya dekat dengan pusat massa tubuh sehingga jari-jari rotasi lebih kecil (jari-jari rotasi, adalah jarak dari massa dari pusat rotasi). Hal ini akan mengurangi momen inersia ( $I$ ) dari tubuh dan karena momentum ( $I\omega$ ) adalah kekal, kecepatan ( $\omega$ ) meningkat. Ketika penyelam akan memasuki air, penyelam akan membuka tubuhnya untuk meningkatkan inersianya, mengurangi kecepatan sudut sehingga tujuan untuk masuk ke dalam air lebih efisien.

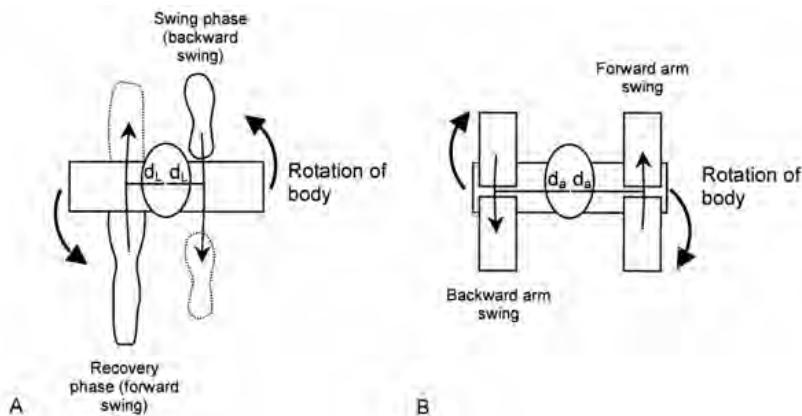


**Gambar 6.4.** Perubahan Rotasi

Seekor kucing menggunakan prinsip ini untuk mendarat dengan kakinya ketika turun terbalik dari ketinggian (Gambar 16). Pertama, kucing memperpanjang anggota badan yang lebih rendah untuk meningkatkan momen inersia dan menarik tungkai atas untuk mengurangnya (Blazevich, 2007: 91). Ketika berputar hanya tubuh bagian atas, tubuh bagian bawah hanya berputar sedikit dalam arah yang berlawanan. Hal ini kemudian membawa anggota badan yang lebih rendah dan memperpanjang tungkai atas untuk membawa tubuh di sekitar bagian bawah. Selama urutan ini juga menggusur lebih rendah, maka bagian atas, tubuhnya jauh dari sumbu rotasi untuk lebih mengubah momen inersia dari bagian-bagian. Dengan tidak berubah dalam total momentum sudut, kucing mampu memperbaiki diri sendiri. Hewan lain, termasuk manusia, juga mampu bertindak seperti ini.

Pada Gambar 6.4. Kucing mampu mendarat di kakinya dengan memulai putaran pertama dengan tubuh bagian atas, yang memiliki momen inersia yang relatif lebih rendah terhadap tubuh bagian bawah dan berputar pada sumbu rotasi, maka dengan menggunakan tubuh bagian bawah.

Apa yang harus dilakukan dengan mengayunnya lengan saat berlari? Jawabannya adalah kebutuhan untuk menghemat momentum sudut. Mulailah dengan apa yang terjadi pada kaki seorang pelari. Seseorang dapat mengambil titik saat kaki kanan di depan tubuh dan kaki kiri di belakang, di ujung mutlak dari satu langkah kaki dasarnya memiliki kecepatan nol sehingga momentum mereka adalah nol. Kaki kanan akan dipercepat ke belakang dan ke bawah menuju tanah, seperti pada Gambar 6.5. Kaki bergerak ke sisi garis tengah (atau pusat massa) dan sebagainya dalam arti sebenarnya berputar ke seluruh tubuh (jika kita sedang melihat ke bawah pada pelari, kaki akan bergerak searah jarum jam). Massa itu adalah sebuah jarak dari pinggul dan karena itu bergerak dengan kecepatan tinggi (ingat untuk diberikan kecepatan sudut, kecepatan linier dari massa lebih besar jika lebih dari pusat rotasi:  $v = r$ , momentum kaki akan besar. Hal ini harus ditentang oleh momentum sudut lain untuk mempertahankan total nol. Dalam hal ini misalnya, tubuh bagian atas akan diputar jauh dari kaki kanan (berlawanan dengan arah jarum jam jika dilihat dari atas).



**Gambar 6.5.** Perputaran tubuh

Pada saat yang sama, kaki kiri akan dipercepat ke depan, sekali lagi ke sisi garis tengah atau pusat massa dan itu berputar di sekitar tubuh. Ketika kaki tertekuk (kaki kiri, kaki pemulihan, tertekuk untuk mengurangi momen inersia dan membuatnya lebih mudah untuk mempercepat maju) masih memiliki momentum sudut, yang harus dilawan. Karena kaki kiri secara efektif bergerak searah jarum jam jika dilihat dari atas, tubuh bagian atas harus memutar anti-searah jarum jam untuk menghemat momentum (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.5).

Dalam diagram A, kaki kanan diayunkan ke belakang (kaki gelap = mulai, berlari kaki = finish) sementara kaki kiri kembali ke depan tubuh. Kedua gerakan dilakukan pada jarak ( $d$ ; jarak kaki) dari pusat tubuh rotasi dan menyebabkan rotasi berlawanan arah jarum jam tubuh sebagai dilihat dari atas. Dalam diagram B, lengan yang relatif lebih ringan ditunjukkan untuk ayunan ke arah lain jarak sedikit lebih besar ( $d$ , jarak lengan) dari pusat rotasi tubuh menyebabkan sebaliknya, searah jarum jam, rotasi tubuh dapat dilihat dari gambar di atas.

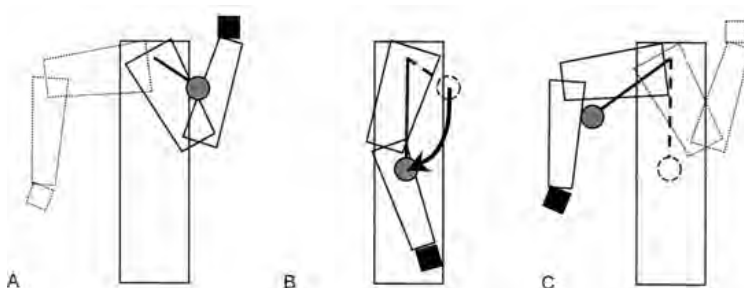
Pada titik tertentu, kaki kanan akan berakselerasi dengan tanah, ketika memberikan gaya reaksi yang sama dan berlawanan. Sayangnya, kaki tidak selalu mendarat di bawah pusat massa. Semakin lambat seseorang berlari, semakin besar kemungkinan untuk menempatkan kaki di bawah pusat massa tetapi pada berlari cepat kecepatan kaki terhadap tanah lebih ke sisi garis tengah. Jadi, gaya reaksi ini tidak hanya mempercepat seseorang ke atas dan ke depan tetapi juga berputar di sekitar tubuh. (menciptakan torsi atau momen gaya). Arah torsi ini adalah ke arah kiri (berlawanan jarum jam jika dilihat dari atas), sehingga tubuh berputar sebagian karena kaki kanan bergerak mundur, sebagian karena dari kaki



kiri bergerak ke depan dan sebagian karena gaya reaksi tanah berputar di sekitar tubuh seseorang. Tubuh bagian atas akan dilemparkan ke kiri lalu ke kanan sebagai siklus kaki selama berlari. Hal tersebut bukan cara yang sangat baik untuk berlari ke depan dengan kecepatan dan juga akan terlihat sangat buruk.

Di sinilah lengan masuk jika mengayunkan lengan kiri dari depan ke belakang tubuh di sagittal (yaitu, dari depan melewati pinggul tubuh), itu pada dasarnya berputar berlawanan arah jarum jam ke seluruh tubuh jika dilihat dari atas. Hal ini menyebabkan rotasi tubuh ke arah jarum jam, berlawanan dengan yang disebabkan oleh kaki. Semakin cepat ayunan lengan, lebih cepat proses momentum sudut itu dimiliki, sehingga momentum berlawanan diinduksi dalam tubuh. Pada waktu yang sama, lengan ayunan yang tepat dari depan ke belakang tubuh, yang juga menyebabkan tubuh untuk memutar anti-searah jarum jam. Jadi, lengan ayun memainkan peranan besar dalam menghemat momentum sudut pada pelari. Hampir semua momentum rotasi yang dihasilkan oleh kaki dinetralkan oleh ayunan lengan dan rotasi tubuh bagian atas selama kecepatan berlari berlangsung, ( $3,8-5,4 \text{ ms}^{-1}$ ) dan kontribusi dari lengan yang meningkat sehingga meningkatkan kecepatan berlari. Dalam berlari, ada sedikit rotasi tubuh bagian atas, sehingga lengan memainkan peran yang jauh lebih penting.

Cerita ini tidak berakhir disini, momentum sudut kaki bervariasi melalui langkah tersebut. Misalnya, kaki kanan mulainya ke bawah dan ke belakang. Gerakan sementara masih tertekuk, karena massa tidak bergerak secepat tubuh sehingga itu membutuhkan waktu untuk mempercepat kaki. Jadi, kecepatan kaki paling besar hanya terjadi sebelum waktu kontak antara kaki dan tanah. Momentum sudut kaki tertinggi pada saat itu juga. Torsi yang diciptakan oleh gaya reaksi tanah dimulai pertengahan gerakan, sehingga sudut momentum tubuh secara signifikan berubah pada saat ini. Secara efektif, sudut momentum kaki meningkat melalui gerakan dan puncak selama kontak kaki dan tanah. Lengan harus tepat menghitung sehingga memproduksi momentum sudut yang tepat, ini merupakan bagian terbesar selama kontak kaki dan tanah.



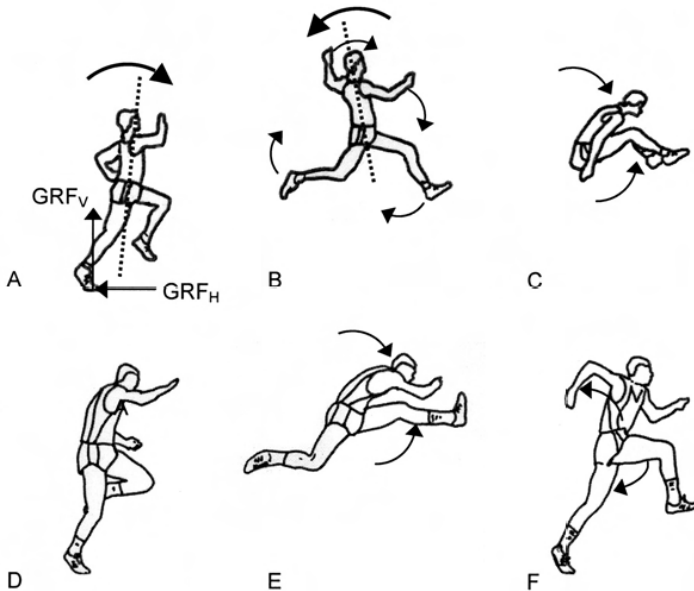
**Gambar 6.6.**  
Swing Arm

Pada Gambar 6.6 swing arm (tebal) dimulai di depan tubuh dalam posisi dipersingkat (A). Sebagai kaki mempercepat, dan terutama sekali kaki, ayunan kaki telah membuat kontak dengan tanah, lengan diperpanjang dengan cepat (B). Peningkatan kecepatan sudut lengan serta gerakan massa lebih jauh dari bahu, yang menyebabkan peningkatan lebih lanjut dalam kecepatan pusat massa lengan, meningkatkan momentum sudut itu ( $H = mk^2 \dot{\theta}$ ). Kaki sampai ujung ayunan, lengan pendek lagi dan kecepatan sudut yang memperlambat (C). Dengan cara ini, momentum sudut yang berlawanan dengan lengan cocok pada kaki.

Seorang pelari memulai dengan ayun lengan (lengan yang bergerak mundur) dalam posisi dipersingkat, seperti pada Gambar 6.6, massa yang lebih besar dari lengan terletak dekat dengan bahu dan kecepatannya rendah. Oleh karena itu, momentum sudut lengan kecil. Sebagai momentum sudut kaki yang meningkat, lengan dipercepat dan siku diperpanjang, sehingga massa lengan lebih jauh dari bahu dan karena itu bergerak lebih cepat. Pada saat kontak kaki dan tanah, lengan cepat diperpanjang untuk melawan rotasi besar tubuh bagian atas, karena kecepatan sudut lengan lebih besar dan massa tersebut akan dipindahkan jauh dari bahu. Kaki yang melewati bawah tubuh, kekuatan berkurang diterapkan ke tanah dan akhirnya kaki memperlambat dalam kesiapan untuk pemulihan tubuh (dan pemulihan kaki memperlambat dalam kesiapan untuk ayunan ke tanah). Oleh karena lengan memperlambat dan mundur (memendek) sehingga momentumnya berkurang. Menggunakan lengan langsung melawan rotasi disebabkan oleh kaki. Seringkali, kesalahan dalam teknik kaki dapat dilihat sebagai variasi dalam optimal lengan ayun. Pelatih dan atlet harus melihat lengan untuk memahami apa yang terjadi dengan kaki.

Lengan ayun optimum adalah salah satu di mana lengan diputar ke belakang sepanjang *plane sagittal* bertentangan dengan kaki. Karena sudut (rotasi) momentum kaki dan torsi yang diciptakan oleh gaya reaksi tanah bervariasi melalui langkah, panjang lengan juga harus bervariasi. Ketika di depan tubuh, sudut siku harus akut, sehingga lengan pendek. Pada kaki yang lurus lengan harus diperpanjang secara dramatis, dengan memperluas siku untuk meningkatkan momentum sudutnya sebagai momentum sudut bawah tubuh meningkat. Kaki bergerak lebih ke belakang tubuh, lengan harus diperpendek untuk mengurangi momentum sudut, hasil dari memendeknya kaki, sedangkan gerakan alami di sendi siku biasanya menyelesaikan ini. Dengan menggunakan teknik ini, momentum sudut dari tubuh bagian atas dan bawah tetap sama dan berlawanan dan pelari terus berjalan ke arah depan.

Melihat penggunaan teknik ini dalam banyak olahraga lainnya. Dalam lompat jauh, teknik *hitch* menggunakan rotasi maju pada lengan dan kaki, sementara tubuh adalah di udara untuk melawan rotasi depan tubuh yang disebabkan oleh gaya pengereman horisontal (yaitu, kekuatan maju) di take-off, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.7 (A sampai C). Demikian pula, optimum rintangan sprint lari gawang membutuhkan rotasi menonjol dan cepat tubuh bagian atas untuk melestarikan momentum sudut, kaki memutar ke atas rintangan kemudian kembali ke tanah Gambar 5 (D ke F)). Ketika melompat untuk menangkap bola rugby dan Australian Rules pemain sepak bola melompat satu kaki, yang ayunan ke bawah, sambil berayun kaki yang lain ke atas untuk menjaga keseimbangan. Dalam bowling cepat, dalam kriket dan tahap pengiriman lempar lembing, eksponen menggunakan lari dan langkah pengiriman (di mana kaki dihentikan) untuk membuat besar momentum sudut tubuh, yang memungkinkan tubuh bagian atas untuk memutar ke depan untuk memproyeksikan bola atau lembing tetap menjaga perubahan momentum mendekati nol. Efektivitas run-up dan pengiriman langkah merupakan faktor penting yang mempengaruhi kecepatan dari melempar.



**Gambar 6.7.** Torsi

Torsi diciptakan oleh gaya reaksi tanah horisontal (GRF h) menyebabkan rotasi ke depan tubuh (panah tebal) selama lompat jauh take-off (A). Lingkaran ke depan dari lengan dan kaki menggunakan hasil teknik halangan hentakan kaki di rotasi mundur dari tubuh yang memungkinkan kaki untuk persiapan mendarat (B). Akhirnya, kaki berayun ke depan tubuh menyebabkan rotasi maju reaktif dari tubuh bagian atas untuk melestarikan momentum sudut (C). lingkaran kaki optimum penting untuk memaksimalkan jarak pendaratan. Dalam rintangan lari, atlet lepas landas dengan relatif sedikit momentum sudut maju-mundur (D). Untuk cepat mengangkat kaki timbal balik (kaki kiri dalam diagram E), diperlukan sebuah rotasi berlawanan ke depan dari tubuh bagian atas. Sebuah kekuatan rotasi mundur dari atas tubuh juga penting untuk melawan rotasi kaki kembali ke tanah setelah melewati rintangan (F). Rotasi tubuh bagian atas menonjol dan cepat adalah penting dalam rangka kaki untuk menghapus rintangan dengan cepat.

## **BAB VII**

# **SISTEM PENGUNGKIT (TUAS)**

### **PENGUNGKIT**

Saat otot mengalami ketegangan, menarik tulang untuk menopang atau menggerakkan resistensi yang diciptakan oleh berat segmen tubuh dan kemungkinan berat beban tambahan, otot dan tulang berfungsi mekanis sebagai tuas. Tuas adalah batang kaku yang berputar pada sumbu, atau titik tumpu (Susan J. Hall, 2015). Pengungkit adalah suatu batang yang kaku bergerak dalam suatu busur lingkaran mengitari sumbunya maka gerakannya disebut gerak rotasi atau angular (Rudiyanto et al., 2012). Pada manusia tubuh, tulang bertindak sebagai palang kaku; sendi adalah poros, atau titik tumpu; dan otot menerapkan kekuatan.

Pengungkit sering disebut dengan tuas. Pengungkit merupakan pesawat sedetrhana yang paling tua dan menjadi pesawat sederhana yang digunakan oleh manusia, dan pengungkit merupakan pesawat sederhana yang paling tua dibandingkan dengan pesawat sederhana yang lain (Willcocks, Lacity, & Craig, 2017). Pengungkit memudahkan manusia untuk melakukan segala aktivitas dalam kehidupan sehari-hari misalnya katrol membantu seseorang untuk mengangkat balok dengan sendirian, jika tanpa pengungkit balok tersebut harus diangkat lebih dari satu orang, dengan demikian pengungkit menghadirkan keefektifan dan keefisien dalam menggunakan tenaga manusia (Zang et al., 2018). Pengungkit atau tuas sudah berlaku di zaman peradaban/zaman kuno hal ini dibuktikan dengan pembangunan piramida, pada zaman tersebut teknologi masih sangat sederhana/terbatas namun dengan adanya pengungkit mereka

mampu membangun piramida yang sangat megah dari batu-batu besar dengan alat-alat sederhana (Hill, 1954; Stannish, 2007).

Pengungkit atau tuas memiliki fungsi di setiap aktivitas tidak hanya pada mendorong namun mencabut, mengangkat, menarik dan sebagainya. Sehingga peran pengungkit mempermudah manusia dalam mengerjakan pekerjaan. Pengungkit termasuk dalam jenis-jenis pesawat sederhana. Pesawat sederhana dapat dikelompokkan menjadi empat jenis yaitu, tuas/pengungkit, bidang miring, katrol, dan roda berporos (Becker & Nunes, 2015). Dari ke empat pengelompokan tersebut masing-masing pesawat sederhana tersebut dapat dibagi lagi sesuai dengan bentuk dan fungsi kerja yang digunakan oleh seorang manusia. Di bawah ini merupakan jenis-jenis pesawat sederhana yang dapat digunakan oleh manusia dalam aktivitas sehari-hari.

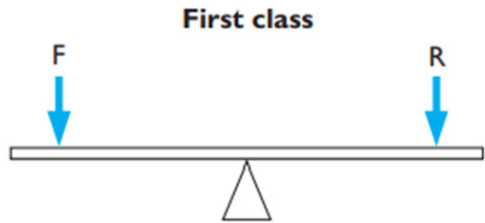
Tuas yang kemudian disebut dengan pengungkit merupakan batang besi atau batang kayu panjang yang digunakan seseorang untuk memindahkan atau mengungkit sebuah benda. Tuas dapat juga digunakan dalam mengangkat benda lebih dari satu jenis benda. Misalnya seorang menggunakan kayu yang panjang untuk mengangkat dua karung pasir dengan menggunakan kayu panjang dengan cara memikul lebih dari satu orang.

Tuas lebih dikenal dengan nama pengungkit. Pada umumnya, tuas atau pengungkit menggunakan batang besi atau kayu yang digunakan untuk mengungkit suatu benda. Terdapat tiga titik yang menggunakan gaya ketika kita mengungkit suatu benda, yaitu beban (B), titik tumpu (TT), dan kuasa (K). beban merupakan berat benda, sedangkan titik tumpu merupakan tempat bertumpunya suatu gaya. Gaya yang bekerja pada tuas disebut kuasa. Tuas/linggis dapat digambarkan secara sederhana (Robertson, 2013).

Di dalam pengungkit terdapat tiga unsur yaitu titik tumpu (*fulcrum*), titik gaya (*force*), dan titik beban (*load*). Dan semua unsur tersebut terletak di bermacam-macam bentuk, dalam masa yang modern ini tuas atau pengungkit telah dikembangkan sesuai dengan perkembangan zaman serta kebutuhan manusia.

Berdasarkan posisi atau kedudukan beban, titik tumpu, dan kuasa, tuas digolongkan menjadi tiga, yaitu tuas golongan pertama, tuas golongan kedua, dan tuas golongan ketiga.

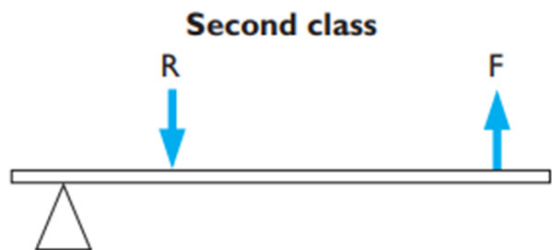
## PENGUNGKIT TIPE I



**Gambar 7.1.** Tuas Kelas 1 (Susan J. Hall: 2015)

Pada tuas golongan pertama, kedudukan titik tumpu terletak di antara beban dan kuasa. Dengan tuas kelas satu, gaya dan tahanan yang diterapkan mungkin pada jarak yang sama dari sumbu, atau satu mungkin lebih jauh dari sumbu dari pada yang lain. Pada cabang olahraga renang ketika posisi badan tengkurap ke dalam air dengan posisi mengapung dan badan sejajar dengan permukaan air merupakan penerapan Tuas kelas 1 (Kuntjoro, 2018). Oleh karena itu, seorang perenang dituntut untuk memaksimalkan seluruh gaya dan daya yang digunakan untuk menghasilkan kecepatan yang maksimal. Namun seorang perenang perlu juga untuk memaksimalkan ayunan tangan sehingga mengurangi hambatan dan menambah kecepatan (Gazi, 2013; McMaster & Troup, 2001).

## PENGUNGKIT TIPE II

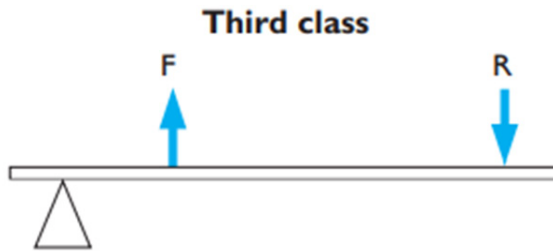


**Gambar 7.2.** Tuas Kelas 1 (Susan J. Hall: 2015)

Pada tuas golongan kedua, kedudukan beban terletak diantara titik tumpu dan kuasa. Pada tuas kelas dua, gaya yang diterapkan dan resistansi berada pada sisi yang sama dari sumbu, dengan resistansi lebih dekat ke sumbu. Sebuah gerobak dorong, kunci pas, dan pemecah buah keras adalah contoh pengungkit kelas dua, meskipun tidak ada contoh yang sepenuhnya analog dalam tubuh

manusia. Pada tuas kelas dua, gaya yang diterapkan dan resistansi berada pada sisi yang sama dari sumbu, dengan resistansi lebih dekat ke sumbu. Sebuah gerobak dorong, kunci pas, dan pemecah buah keras adalah contoh pengungkit kelas dua, meskipun tidak ada contoh yang sepenuhnya analog dalam tubuh manusia (Hum. Body Dyn, 2000; Lu & Chang, 2012). Contoh penerapan prinsip tuas kelas 2 pada gerakan aktivitas fisik adalah ketika sedang melaksanakan push up (Mouromadhoni & Kuswanto, 2019). Gerakan push up yang dilakukan oleh seorang atlet/manusia tidak selalu menggunakan satu gaya/bentuk push-up namun atlet tersebut melakukan dengan bentuk variasi (Wang, Liu, Qi, Woo, & Cheng, 2020).

### PENGUNGKIT TIPE III



**Gambar 7.3. Tuas Kelas 1 (Susan J. Hall: 2015)**

Pada tuas golongan ketiga, kedudukan kuasa terletak di antara titik tumpu dan beban. Dengan tuas kelas tiga, gaya dan tahanan berada pada sisi yang sama dari sumbu, tetapi gaya yang diterapkan lebih dekat ke sumbu. Dayung kano dan sekop dapat berfungsi sebagai pengungkit kelas tiga). Kebanyakan otot-tulang sistem pengungkit tubuh manusia juga dari kelas ketiga untuk konsentris kontraksi, dengan otot memasok kekuatan yang diterapkan dan melekat padanya tulang pada jarak pendek dari pusat sendi dibandingkan dengan jarak di mana hambatan disuplai oleh berat segmen tubuh atau itu dari tindakan segmen tubuh yang lebih distal.

Kebanyakan otot-tulang sistem pengungkit tubuh manusia juga dari kelas ketiga untuk konsentris kontraksi, dengan otot memasukkan kekuatan yang diterapkan dan melekat pada tulang mulai dari jarak pendek ke pusat sendi dibandingkan dengan jarak di mana hambatan disuplai oleh berat segmen tubuh atau itu dari tindakan segmen tubuh yang lebih distal (Hum. Body Dyn, 2000; Winter, 2009). Pada intinya cara kerja pada tuas kelas tiga bertumpu pada jarak



dimana seseorang melakukan aktivitas baik dalam cabang olahraga maupun aktivitas sehari-hari.

Roda berporos merupakan roda yang dihubungkan dengan sebuah poros yang dapat berputar bersama-sama (Kelly & Seegmiller, 2010). Roda berporos merupakan salah satu jenis pesawat sederhana yang banyak ditemukan pada alat-alat seperti setir mobil, setir kapal, roda sepeda, roda kendaraan bermotor, dan tombol kunci pintu (Chen, Xie, Gao, Liu, & Li, 2019). Aktivitas tersebut selalu dilakukan atau di sekitar manusia dalam kehidupannya. Oleh karena itu, roda berporos menjadi satu landasan bagi masyarakat sehingga memudahkan atau meringankan setiap aktivitas.

Saat otot mengalami ketegangan, menarik tulang untuk menopang atau menggerakkan resistensi yang diciptakan oleh berat segmen tubuh dan kemungkinan berat beban tambahan, otot dan tulang berfungsi mekanis sebagai tuas. Tuas adalah batang kaku yang berputar pada sumbu, atau titik tumpu (Susan J. Hall, 2015). Pengungkit adalah suatu batang yang kaku bergerak dalam suatu busur lingkaran mengitari sumbunya maka gerakannya disebut gerak rotasi atau angular (Rudiyanto et al., 2012). Pada tubuh manusia, tulang bertindak sebagai palang kaku; sendi adalah poros, atau titik tumpu; dan otot menerapkan kekuatan (Ihlow et al., 2011).



## **BAB VIII**

# **ANALISIS BIOMEKANIKA**

Secara mendasar pengertian biomekanika dapat diperoleh dari kata-kata pembentuknya, yaitu *bio* dan *mekanika*. Kata *bio* berkaitan dengan kehidupan atau sistem biologi, sedangkan *mekanika* berhubungan dengan analisis gaya (*force*) dan dampaknya. Biomekanika dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari gaya dan efeknya pada sistem hidup atau ilmu tentang struktur dan fungsi sistem biologi dalam sudut pandang metode mekanika (McGinnis, 2013:3). Mekanika sendiri merupakan cabang dari fisika yang memfokuskan perhatian pada gerak dan bagaimana gaya menyebabkan gerak. Tidak mengherankan jika prinsip mekanika juga berlaku pada makhluk hidup di mana gerak merupakan ciri-ciri utamanya. Biomekanika dengan demikian menyediakan kerangka konseptual dan matematis yang dibutuhkan dalam memahami bagaimana suatu sistem biologi bergerak (Knudson, 2007a:3). Penekanan pada kata *mekanika* juga mengandung konsekuensi analisis biomekanika berhubungan erat dengan konsep dasar dan standar pengukuran dalam mekanika seperti panjang (dalam satuan meter), waktu (detik), dan massa (kilogram) (McGinnis, 2013:15).

Analisis biomekanika yang berorientasi pada hukum-hukum mekanika akan bertemu dengan istilah-istilah dalam gerak seperti kinematik dan kinetik. Subdivisi mekanika yang berkaitan dengan perpindahan (*displacement*), kecepatan dengan arah (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*) disebut kinematik, sedangkan kinetik berkaitan dengan gaya yang menyebabkan gerak. Dalam konsep gerak yang disertai perpindahan terdapat dua jenis, yaitu *gerak linear* dan *gerak angular*. Gerak linear merupakan gerak pada lintasan baik lurus maupun melengkung tanpa disertai putaran (badan) dan seluruh badan

bergerak dalam arah dan kecepatan yang sama. Sementara itu pada gerakan angular terdapat putaran pada salah satu sumbu imajeri (sagittal, frontal atau horisontal) ataupun sumbu nyata. Berjalan, berlari dan loncat jauh adalah contoh gerak linear, sedangkan contoh untuk gerak angular misalnya meroda.

Jika dilihat dari pengertian di atas, biomekanika sangat bernuansa kuantitatif dengan penekanan pada hukum-hukum mekanika. Pada awal perkembangannya, kajian biomekanika olahraga berasal dari peneliti/penulis berlatar belakang matematika, teknik atau fisika. Buku-buku teks biomekanika olahraga terdahulu menekankan pada aspek mekanika dan penekanan yang kuat pada analisis kuantitatif.

Interaksi antara biomekanika dengan olahraga, dalam perkembangannya, mengalami perubahan. Kebutuhan praktis di lapangan telah mengubah cara pandang terhadap biomekanika olahraga. Para sarjana yang lulus dengan kompetensi biomekanika akan lebih memilih bekerja sebagai *movement analyst* atau *performance analyst* di organisasi olahraga dibandingkan melanjutkan di bidang penelitian. Mereka lebih banyak mengerjakan analisis kualitatif gerak, dibandingkan kuantitatif. Inilah yang membuat Bartlett (2007:xvii) mengajukan definisi yang “tidak konsisten” terhadap biomekanika olahraga. Dari pernyataan sebelumnya, “*sports biomechanic uses the scientific methods of mechanics to study the effect of various forces on the sports performer*” ia kemudian mengajukan definisi dalam kalimat yang lebih sederhana, “*the study and analysis of human movement patterns in sport*”. Perubahan ini merupakan refleksi dari pengalamannya sebagai pengajar, peneliti dan konsultan di bidang biomekanika olahraga selama lebih dari 30 tahun.

Perubahan dalam penggunaan istilah untuk menyebut ahli biomekanika dari *sports biomechanist* menjadi *movement analyst* yang diajukan oleh Bartlett merupakan suatu gagasan yang menarik. Untuk padanan dalam Bahasa Indonesia, dengan keterbatasannya, mungkin dapat digunakan istilah analisis gerak (olahraga). Analisis pola gerak tubuh manusia dalam aktivitas olahraga inilah yang kemudian dapat dianggap sebagai esensi biomekanika olahraga.

Esensi biomekanika ini dapat diterapkan, sesuai dengan fungsi dasarnya, dalam rangka meningkatkan performa dan mengurangi risiko cedera atlet. Meningkatkan performa artinya meningkatkan efektivitas gerak. Gerak yang efektif melibatkan faktor anatomi, kapasitas fisiologi, keterampilan *neuromuscular* dan kemampuan psikologis/kognitif. Perlu menjadi catatan, analisis biomekanika lebih berpengaruh pada jenis olahraga yang didominasi kemampuan teknik, dibandingkan olahraga yang mengandalkan keunggulan struktur fisik atau kapasitas fisiologi. Lari maraton adalah contoh yang bagus

dalam hal ini. Faktor kemampuan fisiologis dan psikologis dalam lari maraton lebih dominan jika dibandingkan keterampilan teknik gerak, sehingga perbaikan teknik atau peningkatan efektivitas gerak hanya menyumbangkan sedikit perbaikan performa (Knudson, 2007a:5-7). Berbeda dengan lari *sprint* 100 meter, di mana analisis biomekanika olahraga memiliki porsi yang lebih besar terhadap efektivitas gerak pelari.

Dalam hal pencegahan cedera dan keamanan dalam bergerak, para peneliti di bidang olahraga kesehatan telah membangun tradisi yang kuat dalam mempelajari data cedera dan berusaha menjelaskan potensi penyebab cedera. Riset biomekanika olahraga membantu dalam pencegahan cedera dengan menyediakan informasi yang berhubungan dengan prinsip mekanika seperti besar tekanan, nilai gaya yang berpotensi menyebabkan cedera (Knudson, 2007a:9). Cabang olahraga senam merupakan contoh yang baik bagaimana biomekanika olahraga diterapkan. Pada gerakan-gerakan senam, berlaku hukum mekanika yang kompleks. Efek dari gaya yang terus-menerus merupakan penyebab *overuse injury* yang sering dialami para atlet. Teknik gerak, loncat atau mendarat yang tepat, dengan analisis biomekanika olahraga, membantu mengurangi risiko cedera tersebut (McGinnis, 2013).

Analisis biomekanika yang berorientasi pada hukum-hukum mekanika akan bertemu dengan istilah-istilah dalam gerak seperti kinematik dan kinetik. Subdivisi mekanika yang berkaitan dengan perpindahan (*displacement*), kecepatan dengan arah (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*) disebut kinematik, sedangkan kinetik berkaitan dengan gaya yang menyebabkan gerak. Dalam konsep gerak yang disertai perpindahan terdapat dua jenis yaitu gerak linear dan gerak angular. Gerak linear merupakan gerak pada lintasan baik lurus maupun melengkung tanpa disertai putaran (badan) dan seluruh badan bergerak dalam arah dan kecepatan yang sama. Sementara itu pada gerakan angular terdapat putaran pada salah satu sumbu imajeri (sagittal, frontal atau horisontal) ataupun sumbu nyata (Grimshaw, Lees, Fowler, & Burden, 2007:11-12). Berjalan, berlari dan loncat jauh adalah contoh gerak linear, sedangkan contoh untuk gerak angular misalnya meroda.

Jika dilihat dari pengertian di atas, biomekanika sangat bernuansa kuantitatif dengan penekanan pada hukum-hukum mekanika. Pada awal perkembangannya, kajian biomekanika olahraga memang berasal dari peneliti/penulis berlatar belakang matematika, teknik atau fisika. Buku-buku teks biomekanika olahraga terdahulu menekankan pada aspek mekanika dan penekanan yang kuat pada analisis kuantitatif.

Interaksi antara biomekanika dengan olahraga, dalam perkembangannya, mengalami perubahan. Kebutuhan praktis di lapangan telah mengubah cara pandang terhadap biomekanika olahraga. Para sarjana yang lulus dengan kompetensi biomekanika akan lebih memilih bekerja sebagai *movement analyst* atau *performance analyst* di organisasi olahraga dibandingkan melanjutkan di bidang penelitian. Mereka lebih banyak mengerjakan analisis kualitatif gerak, dibandingkan kuantitatif. Inilah yang membuat Bartlett (2007: xvii) mengajukan definisi yang “tidak konsisten” terhadap biomekanika olahraga. Dari pernyataan sebelumnya, “*sports biomechanic uses the scientific methods of mechanics to study the effect of various forces on the sports performer*” ia kemudian mengajukan definisi dalam kalimat yang lebih sederhana, “*the study and analysis of human movement patterns in sport*”. Perubahan ini merupakan refleksi dari pengalamannya sebagai pengajar, peneliti dan konsultan di bidang biomekanika olahraga selama lebih dari 30 tahun.

Perubahan dalam penggunaan istilah untuk menyebut ahli biomekanika dari *sports biomechanist* menjadi *movement analyst* yang diajukan oleh Bartlett merupakan suatu gagasan yang menarik. Untuk padanan dalam Bahasa Indonesia, dengan keterbatasannya, mungkin dapat digunakan istilah analisis gerak (olahraga). Analisis pola gerak tubuh manusia dalam aktivitas olahraga inilah yang kemudian dapat dianggap sebagai esensi biomekanika olahraga.

Esensi biomekanika ini dapat diterapkan, sesuai dengan fungsi dasarnya, dalam rangka meningkatkan performa dan mengurangi risiko cedera atlet. Meningkatkan performa artinya meningkatkan efektivitas gerak. Biomekanik memberikan banyak informasi untuk berbagai macam analisis pergerakan manusia, khususnya untuk meningkatkan performa atlet (*increasing performance*) dan untuk menurunkan risiko cedera (*decreasing the risk of injury*) (Faizah & Herdyanto, 2019). Gerak yang efektif melibatkan faktor anatomi, kapasitas fisiologi, keterampilan *neuromuscular* dan kemampuan psikologis/ kognitif. Perlu menjadi catatan, analisis biomekanika lebih berpengaruh pada jenis olahraga yang didominasi kemampuan teknik, dibandingkan olahraga yang mengandalkan keunggulan struktur fisik atau kapasitas fisiologi. Hal ini selaras dengan pendapat (Irmawati et al., 2020) bahwa biomekanika merupakan cabang ilmu olahraga yang akan selalu berhubungan dengan gerakan tubuh dan gaya-gaya yang dapat menghasilkan gerak lebih efektif dan efisien.

## **ANALISIS POLA GERAK TUBUH SEBAGAI ESENSI BIOMEKANIKA OLAHRAGA**

Secara mendasar pengertian biomekanika dapat diperoleh dari kata-kata pembentuknya, yaitu bio dan mekanika. Kata bio berkaitan dengan kehidupan atau sistem biologi, sedangkan mekanika berhubungan dengan analisis gaya (*force*) dan dampaknya. Biomekanika dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari gaya dan efeknya pada sistem hidup atau ilmu tentang struktur dan fungsi sistem biologi dalam sudut pandang metode mekanika (McGinnis 2013: 3). Mekanika sendiri merupakan cabang dari fisika yang menaruh perhatian pada gerak dan bagaimana gaya menyebabkan gerak. Tidak mengherankan jika prinsip mekanika juga berlaku pada makhluk hidup di mana gerak merupakan ciri-ciri utamanya. Biomekanika dengan demikian menyediakan kerangka konseptual dan matematis yang dibutuhkan dalam memahami bagaimana suatu sistem biologi bergerak (Knudson, 2007a: 3). Penekanan pada kata mekanika juga mengandung konsekuensi analisis biomekanika berhubungan erat dengan konsep dasar dan standar pengukuran dalam mekanika seperti panjang (dalam satuan meter), waktu (detik), dan massa (kilogram) (McGinnis 2013: 15).

Analisis biomekanika yang berorientasi pada hukum-hukum mekanika akan bertemu dengan istilah-istilah dalam gerak seperti kinematik dan kinetik. Subdivisi mekanika yang berkaitan dengan perpindahan (*displacement*), kecepatan dengan arah (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*) disebut kinematik, sedangkan kinetik berkaitan dengan gaya yang menyebabkan gerak. Dalam konsep gerak yang disertai perpindahan terdapat dua jenis yaitu gerak linear dan gerak angular. Gerak linear merupakan gerak pada lintasan baik lurus maupun melengkung tanpa disertai putaran (badan) dan seluruh badan bergerak dalam arah dan kecepatan yang sama. Sementara itu pada gerakan angular terdapat putaran pada salah satu sumbu imajeri (sagittal, frontal atau horisontal) ataupun sumbu nyata (Grimshaw, Lees, Fowler, & Burden, 2007: 11-12). Berjalan, berlari dan loncat jauh adalah contoh gerak linear, sedangkan contoh untuk gerak angular misalnya meroda.

Jika dilihat dari pengertian di atas, biomekanika sangat bernuansa kuantitatif dengan penekanan pada hukum-hukum mekanika. Pada awal perkembangannya, kajian biomekanika olahraga memang berasal dari peneliti/penulis berlatar belakang matematika, teknik atau fisika. Buku-buku teks biomekanika olahraga terdahulu menekankan pada aspek mekanika dan penekanan yang kuat pada analisis kuantitatif.

Interaksi antara biomekanika dengan olahraga, dalam perkembangannya, mengalami perubahan. Kebutuhan praktis di lapangan telah mengubah cara pandang terhadap biomekanika olahraga. Para sarjana yang lulus dengan kompetensi biomekanika akan lebih memilih bekerja sebagai *movement analyst* atau *performance analyst* di organisasi olahraga dibandingkan melanjutkan di bidang penelitian. Mereka lebih banyak mengerjakan analisis kualitatif gerak, dibandingkan kuantitatif. Inilah yang membuat Bartlett (2007: xvii) mengajukan definisi yang “tidak konsisten” terhadap biomekanika olahraga. Dari pernyataan sebelumnya, “*sports biomechanic uses the scientific methods of mechanics to study the effect of various forces on the sports performer*” ia kemudian mengajukan definisi dalam kalimat yang lebih sederhana, “*the study and analysis of human movement patterns in sport*”. Perubahan ini merupakan refleksi dari pengalamannya sebagai pengajar, peneliti dan konsultan di bidang biomekanika olahraga selama lebih dari 30 tahun.

Perubahan dalam penggunaan istilah untuk menyebut ahli biomekanika dari *sports biomechanist* menjadi *movement analyst* yang diajukan oleh Bartlett merupakan suatu gagasan yang menarik. Untuk padanan dalam Bahasa Indonesia, dengan keterbatasannya, mungkin dapat digunakan istilah analisis gerak (olahraga). Analisis pola gerak tubuh manusia dalam aktivitas olahraga inilah yang kemudian dapat dianggap sebagai esensi biomekanika olahraga.

Esensi biomekanika ini dapat diterapkan, sesuai dengan fungsi dasarnya, dalam rangka meningkatkan performa dan mencegah risiko cedera atlet. Meningkatkan performa artinya meningkatkan efektivitas gerak. Gerak yang efektif melibatkan faktor anatomi, kapasitas fisiologi, keterampilan *neuromuscular* dan kemampuan psikologis/ kognitif. Perlu menjadi catatan, analisis biomekanika lebih berpengaruh pada jenis olahraga yang didominasi kemampuan teknik, dibandingkan olahraga yang mengandalkan keunggulan struktur fisik atau kapasitas fisiologi. Lari marathon adalah contoh yang bagus dalam hal ini. Faktor kemampuan fisiologis dan psikologis dalam lari maraton lebih dominan jika dibandingkan keterampilan teknik gerak, sehingga perbaikan teknik atau peningkatan efektivitas gerak hanya menyumbangkan sedikit perbaikan performa (Knudson, 2007a: 5-7). Berbeda dengan lari *sprint* 100 meter, dimana analisis biomekanika olahraga memiliki porsi yang lebih besar terhadap efektivitas gerak pelari.

Dalam hal pencegahan cedera dan keamanan dalam bergerak, para peneliti di bidang olahraga kesehatan telah membangun tradisi yang kuat dalam mempelajari data cedera dan berusaha menjelaskan potensi penyebab cedera. Riset biomekanika olahraga membantu dalam pencegahan cedera dengan



menyediakan informasi yang berhubungan dengan prinsip mekanika seperti besar tekanan, nilai gaya yang berpotensi menyebabkan cedera (Knudson, 2007a: 9). Cabang olahraga senam merupakan contoh yang baik bagaimana biomekanika olahraga diterapkan. Pada gerakan-gerakan senam, berlaku hukum mekanika yang kompleks. Efek dari gaya yang terus-menerus merupakan penyebab *overuse injury* yang sering dialami para atlet. Teknik gerak, loncat atau mendarat yang tepat, dengan analisis biomekanika olahraga, membantu mengurangi risiko cedera tersebut (McGinnis, 2013:10).

## **PENDEKATAN KUANTITATIF DAN KUALITATIF DALAM ANALISIS BIOMEKANIKA OLAHRAGA**

Untuk menganalisis gerak dalam olahraga, ada dua jenis pendekatan yang dilakukan, yaitu analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Pada pendekatan kuantitatif, gerakan dianalisis menggunakan seperangkat alat dengan kalkulasi tertentu seperti analisis gerak berbasis gambar menggunakan video, sistem pendeteksi gerak otomatis, elektromyografi, atau papan pangukur gaya/tekanan. Data-data kuantitatif kemudian dianalisis menggunakan statistik dan simulasi komputer untuk menganalisis pola gerakan. Sementara itu analisis kualitatif mengandalkan observasi oleh pelatih atau analis gerak baik secara langsung ataupun melalui rekaman video. Jika analisis kuantitatif pada umumnya dilakukan oleh peneliti untuk kepentingan riset, analisis kualitatif lebih umum dilakukan di lapangan oleh pelatih, fisioterapis, atau juri olahraga artistik. Secara umum perbedaan antara analisis kualitatif dan kuantitatif adalah: analisis kualitatif mendeskripsikan secara non-numerik dengan melihat gerakan sebagai pola, sedangkan kuantitatif mendeskripsikan gerakan secara numerik (Bartlett, 2007: 36-37).

Akibat dari perbedaan kedua pendekatan tersebut, menurut Knudson (2007), terjadi ekstremitas dalam memandang aplikasi biomekanika. Pada satu sisi ada pendekatan kualitatif berdasarkan *instant observation*, sementara di sisi lain terdapat pendekatan secara kuantitatif dengan pemodelan komputer atau simulasi. Analisis kuantitatif sering kali tampak lebih objektif karena adanya data-data yang dapat dilihat secara empirik. Pada analisis kuantitatif terkandung banyak sekali data dan informasi. Namun kemudian pertanyaannya, apakah semua data dan informasi tersebut relevan untuk mengetahui pola gerak yang diharapkan. Dari segi eksistensi, analisis kualitatif lebih mengakar kuat dalam pendekatan yang terstruktur dan multidisiplin dibandingkan analisis kuantitatif yang mengandalkan data tapi minim landasan teori (Bartlett, 2007:

38). Pertentangan ini bahkan sampai pada persoalan legitimasi ilmiah yang dimiliki oleh kedua pendekatan tersebut.

Seperti telah disinggung pada bagian sebelumnya, perubahan di dunia biomekanika olahraga telah memengaruhi kecenderungan dalam menganalisis gerak olahraga. Pendekatan kualitatif terlihat mengalami perkembangan yang signifikan. Pada aplikasi di lapangan, analisis kualitatif lebih berpotensi untuk dapat dikembangkan oleh para pelatih, guru, dan instruktur di tingkat *grassroots* daripada pendekatan kuantitatif. Menurut Bartlett (2007: 39) hal tersebut memungkinkan karena beberapa keunggulan analisis kualitatif, seperti: (1) tidak membutuhkan peralatan yang mahal, (2) berbasis pada lapangan, bukan laboratorium, sehingga memiliki tingkat validitas ekologi yang lebih baik, (3) jika dikerjakan dengan baik, analisis kualitatif akan tampil sistematis karena berfokus pada pola bukan kuantitas data, (4) pola gerak lebih “bisa berbicara” dibandingkan angka-angka (*a picture is worth a thousand words*), serta (5) lebih ramah bagi para pelatih dan tidak mengintimidasi karena kompleksitas datanya. Namun demikian, pendekatan kualitatif kadang berhadapan dengan persoalan validitas dan reliabilitas yang diragukan dan sulit ditakar karena adanya bias subjektivitas analisis. Hal ini dinilai sebagai kelemahan yang muncul akibat kurangnya data numerik, dan tingkat pengetahuan analisis tentang gerak.

Konsep-konsep dalam biomekanika olahraga diakui banyak diambil dari mekanika Newtonian. Pada dasarnya biomekanika berakar dari ilmu alam yang cenderung positivistik-kuantitatif. Penelitian berbasis mekanika kuantitatif mungkin memberi data yang kaya. Namun apakah data-data tersebut benar-benar bermakna dalam aplikasi di lapangan. Beberapa pihak pun berargumen jika mekanika Newtonian dan penelitian biomekanika mampu memberikan pengetahuan yang bermakna tentang bagaimana meningkatkan kualitas gerak manusia (Knudson, 2007). Pertanyaannya kemudian adalah, kata “bagaimana” yang dimaksud berada dalam konteks seperti apa? Apakah aplikasi biomekanika olahraga di lapangan, gimnasium atau laboratorium yang masing-masing realitasnya berbeda? Lalu apa saja yang dapat dipertimbangkan sebagai pengetahuan biomekanika oleh pelatih? Penelitian kuantitatif, teori atau prinsip kualitatif. Isu lainnya, bagaimana pengalaman profesional pelatih berhadapan dengan riset biomekanika? Beberapa pertanyaan tersebut agaknya mendasari pandangan Knudson untuk menunjukkan legitimasi atas prinsip-prinsip biomekanika kualitatif dalam olahraga.

Pembahasan prinsip biomekanika kualitatif dinilai penting karena pada kenyataannya, praktik analisis biomekanika kualitatif jamak dilakukan oleh para pelatih olahraga di lapangan. Perubahan yang terjadi dalam biomekanika

olahraga, terutama kebutuhan praktis di lapangan, mengubah cara pandang terhadap biomekanika olahraga. Para pelatih, guru pendidikan jasmani, dan analis biomekanika di lapangan pun lebih banyak mengerjakan analisis kualitatif gerak, dibandingkan analisis kuantitatif. Perubahan ini menurut Bartlett (2007: xvii), seperti telah disampaikan sebelumnya, berdampak pada perubahan istilah dari *sports biomechanist* menjadi *movement analyst*, suatu perubahan dari istilah yang bernuansa kuantitatif ke kualitatif.

Analisis kualitatif adalah salah satu aktivitas profesional yang paling penting yang perlu dikuasai oleh para pelatih. Analisis kualitatif dapat didefinisikan sebagai observasi sistematis dan penilaian introspektif atas kualitas gerak manusia dengan tujuan memberikan intervensi yang paling sesuai untuk meningkatkan performa (Knudson, 2007b). Penjelasan ini dinilai lebih bermakna bagi aplikasi di lapangan tanpa kehilangan landasar ilmiah yang memadai. Penelitian kuantitatif pada atlet elit biasanya juga diimplementasikan dengan kualitatif sebagai bahan untuk memberikan umpan balik kepada atlet. Jika ditarik pada aplikasi di lapangan, beberapa penelitian biomekanika olahraga dengan pendekatan mekanika dan analisis data dilengkapi juga dengan kisi-kisi yang bersifat kualitatif seperti pada penelitian Kurniawan (2015). Prinsip-prinsip biomekanika kualitatif juga sering dijumpai pada aktivitas olahraga dalam konteks pendidikan (Sunaryadi, 2010).



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrtamat, A. S. (2011). Analisis Biomekanik Pukulan Forehand pada Olahraga Tenis. *Jurnal Health and Sport*, 2(2)
- Ackermann, M., & Van den Bogert, A. J. (2012). Predictive simulation of gait at low gravity reveals skipping as the preferred locomotion strategy. *Journal of Biomechanics*, 45(7), 1293–1298. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.01.029>
- Alù, A. (2011). Restoring the physical meaning of metamaterial constitutive parameters. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 83(8), 9–12. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.83.081102>
- Alfandianto, A., & Putri, M. (2017). Analisis Biomekanika Pada Postur dan Gerak Tubuh Operator Book Lift Guna Mengidentifikasi Risk of Musculoskeletal Disorders. *SAINTEK: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi Industri*, 1 (2), 95–105
- Andrews-Speed, P. (2016). Applying institutional theory to the low-carbon energy transition. *Energy Research and Social Science*, 13, 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.011>
- Anthony Blezevich. (2007). *Sport Biomechanics: The basics optimising human performance*. London: University of Kingdom
- Ardiyanto, H. Widiyanto. (2019). Prinsip-Prinsip Biomekanika Kualitatif: Upaya Menjembatani Teori dan Aplikasi dalam Sport Science. *Media Ilmu Keolahragaan Indonesia*, 9(2), 54–62. <https://doi.org/10.15294/miki.v9i2.17757>
- Arif, M., Ardha, A., Yang, C. B., Ridwan, M., & Darmawan, G. (2019). Analisis Biomekanika Pada Stroke Nomor 100 Meter Gaya Dada Terhadap Swimming

- Velocity. *Media Ilmu Keolahragaan Indonesia*, 9(2), 38–44. <https://doi.org/10.15294/miki.v9i2.21772>
- Bartlett, Roger. 2007. *Introduction to sport biomechanics: analysing human movement patterns*. USA: Routledge
- Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*, 6(2), 224–243. <https://doi.org/10.1080/14763140701322994>
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., ... Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336), 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Becker, L. D. B., & Nunes, A. L. L. da S. (2015). Influence of soil confinement on the creep behavior of geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.04.009>
- Blazevich A. (2007). *Sport biomechanics the basics optimising human performance*. London: A&C Black Publishers Ltd
- Bohlen, A., Boll, M., Schwarzer, M., & G. (2015). *Body-Mass-Index*. *Diabetologe*. 11(2), 331–345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11428-015-1388-8>
- Braidot, A. A., Brusa, M. H., Lestussi, F. E., & Parera, G. P. (2007). Biomechanics of front and back squat exercises. *Journal of Physics: Conference Series*, 90(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/90/1/012009>
- Caputo, J. M., & Collins, S. H. (2014). A universal ankle-foot prosthesis emulator for human locomotion experiments. *Journal of Biomechanical Engineering*, 136(3). <https://doi.org/10.1115/1.4026225>
- Challis, J. H. (1992). Biomechanics in Sport. *British Journal of Sports Medicine*, 26(1), 70–70. <https://doi.org/10.1136/bjism.26.1.70>
- CHAN, C. W., & RUDINS, A. (1994). Foot Biomechanics During Walking and Running. *Mayo Clinic Proceedings*, 69(5), 448–461. [https://doi.org/10.1016/S0025-6196\(12\)61642-5](https://doi.org/10.1016/S0025-6196(12)61642-5)
- Chater, K. F. (2016). Recent advances in understanding Streptomyces [version 1; referees: 4 approved]. *F1000Research*, 5(0), 1–16. <https://doi.org/10.12688/f1000research.9534.1>
- Chen, Z., Xie, X., Gao, F., Liu, Z., & Li, Y. (2019). Pure Rolling Steering System Design and Research for Wheeled Mobile Robot. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1345/4/042071>

- Chusni, M. M., Rizaldi, M. F., Nurlaela, S., Nursetia, S., & Susilawati, W. (2018). Penentuan momen inersia benda silinder pejal dengan integral dan tracker. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, 4(1), 42. <https://doi.org/10.25273/jpfk.v4i1.2068>
- CJ, D. L. (1997). The use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135–163
- Clarke, P. J., Lavallée, D. A., Blewitt, G., van Dam, T. M., & Wahr, J. M. (2005). Effect of gravitational consistency and mass conservation on seasonal surface mass loading models. *Geophysical Research Letters*, 32(8), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2005GL022441>
- Con Hrysomallis (2011). Balance ability and athletic performance. *Sport Med.* 41 (3). 221-232
- Curran, Sarah A. & Frossard, Laurent. (2012). Biomechanical analysis of the performance of paralympians: From foundation to elite level. *Journal, Prosthetics and Orthotics International.* 36 (3). 1-22
- Davis, S. R., Castelo-Branco, C., Chedraui, P., Lumsden, M. A., Nappi, R. E., Shah, D., & Villaseca, P. (2012). Understanding weight gain at menopause. *Climacteric*, 15(5), 419–429. <https://doi.org/10.3109/13697137.2012.707385>
- Eraika Zemcova. 2011. Assesment of balance in sport: science and reality. *Serbian Journal Of Sport Science.* 5(4). 127=139
- Faizah, A., & Herdyanto, Y. (2019). ANALISIS GERAK AKSELERASI SPRINT 100 METER (Studi pada Atlet Lari Sprint 100 Meter Putra Pelatnas B, Ditinjau dari Aspek Biomekanika). *Jurnal Prestasi Olahraga*, 1(1)
- Finkel, E. J., & Eastwick, P. W. (2008). Speed-dating. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 193–197. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00573.x>
- Firmansjah, E. T. (2018). Pengaruh Variasi Radius-Dalam Rim Terhadap Pengurangan Massa dan Momen Inersia Massa Dengan Studi Kasus Benda Putar Berdiameter 10 cm. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 1(1), 81–87. <https://doi.org/10.26760/jrh.v1i1.1339>
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva-Martínez, J. M., Blanco-López, Á., & España-Ramos, E. (2016). A game-based approach to learning the idea of chemical elements and their periodic classification. *Journal of Chemical Education*, 93(7), 1173–1190. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00846>

- Gazi, Z. K. (2013). on New Trends in Education and Their Implications ( IJONTE ). *International Journal on New Trends in Education and Their Implications (IJONTE)*
- Geissler, P. L. (2005). Temperature dependence of inhomogeneous broadening: On the meaning of isosbestic points. *Journal of the American Chemical Society*, 127(42), 14930–14935. <https://doi.org/10.1021/ja0545214>
- Giancoli, Douglas. (2016). *Physics*. Pearson Australia Pty Ltd. OCLC 1027159124
- Glossary”. Earth Observatory. NASA. (2008). “Force: Any external agent that causes a change in the motion of a free body, or that causes stress in a fixed body”
- Gholamhasan, J., Sajad, A., Mehdi, R. G., & Javad, M. S. (2013). The effect of exercise in the morning and the evening times on aerobic and anaerobic power of the inactive subjects. *World Applied Sciences Journal*, 22(8), 1146–1150
- Grimshaw, P., Lees, A., Fowler, N., & Burden, A. (2007). *Sport and exercise biomechanics*. Taylor & Francis e-Library
- Hamill, Joseph & Kathleen, Knutzen. M. (2003). *Biomechanical basic of human movement*, 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia: Wolters Kluwer
- Hidayat, I. I., & Rusdiana, A. (2018). Analisis Biomekanik Tendangan Shooting Pada Atlet Futsal Putra UKM Futsal Universitas Pendidikan Indonesia. *JSKK (Jurnal Sains Keolahragaan Dan Kesehatan)*, 3(2), 35–39
- Hill, R. (1954). History of strength of materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(54\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0022-5096(54)90010-1)
- Human Body Dynamics. (2000). In *Human Body Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/b97432>
- Iannotti, L. L., Lutter, C. K., Stewart, C. P., Riofrío, C. A. G., Malo, C., Reinhart, G., ... Waters, W. F. (2017). Eggs in early complementary feeding and child growth: A randomized controlled trial. *Pediatrics*, 140(1). <https://doi.org/10.1542/peds.2016-3459>
- Ihlow, D., Dathe, H., Fanghänel, J., Proff, P., Nägerl, H., Hahn, W., ... Thieme, K. M. (2011). Biomechanics of the mandible and growth extension. *Journal of Orofacial Orthopedics = Fortschritte Der Kieferorthopadie : Organ/Official Journal Deutsche Gesellschaft Fur Kieferorthopadie*. <https://doi.org/10.1007/s00056-011-0040-5>
- Irmawati, D. A., Kresnapati, P., & Isna, M. (2020). Analisis Biomekanika Keterampilan Gerak Topspin Tennis Meja pada Klub Alaska Kota Pekalongan. *Journal of Sport Coaching and Physical Education*, 5(2), 103–108



- Izzo, R., Guarnieri, G., Guglielmi, G., & Muto, M. (2013). Biomechanics of the spine. Part I: Spinal stability. *European Journal of Radiology*, 82(1), 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2012.07.024>
- Kelly, A., & Seegmiller, N. (2010). A Vector Algebra Formulation of Kinematics of Wheeled Mobile Robots. *International Conference on Field and Service Robotics*
- Lu, T. W., & Chang, C. F. (2012). Biomechanics of human movement and its clinical applications. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2011.08.004>
- McGinnis, P. M. (2013). *Biomechanics of sport and exercise* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics. Retrieved from [http://books.google.co.uk/books/about/Biomechanics\\_of\\_Sport\\_and\\_Exercise.html?id=awmprqGqFo4C&pgis=1](http://books.google.co.uk/books/about/Biomechanics_of_Sport_and_Exercise.html?id=awmprqGqFo4C&pgis=1)
- McMaster, W. C., & Troup, J. P. (2001). Competitive Swimming Biomechanics: Freestyle. *International SportMed Journal*
- Jacobson, G. P., Shepard, N. T., & McCaslin, D. L. (2016). *Balance Function Assesment and Management: Multifactorial Assessment of Falls Risk in the Elderly*
- Jannah, F. Z., Perdana, A., Nurhasanah, S., Suryano, N., Jutalo, Y. H., & Budi, S. (2012). Pf-30 : Analisis Biomekanika Dalam Gerakan Dasar Anggar. *In Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, 3(1), 121–124. Diambil dari file:///C:/Users/Asus/Downloads/5490-Article Text-9661-1-10-20180112.pdf
- Johal, P., Williams, A., Wragg, P., Hunt, D., & Gedroyc, W. (2005). Tibio-femoral movement in the living knee. A study of weight bearing and non-weight bearing knee kinematics using ‘interventional’ MRI. *Journal of Biomechanics*, 38(2), 269–276. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.008>
- Karnath, H.-O., & Broetz, D. (2003). Understanding and treating ‘pusher syndrome’. *Physical Therapy*, 83(12), 1119–1125. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14640870>
- Kellis, E., Katis, A., & Vrabas, I. S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(5), 334–344. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00496.x>
- Knudson, D., and Morrison, C. S. (2002). Qualitative analysis of human movement (2nd edn.). Champaign: Human Kinetics., 14(10), 117–121

- Knudson, D. (2007). Qualitative biomechanical principles for application in coaching. *Sports Biomechanics*, 6(1), 109–118. <https://doi.org/10.1080/14763140601062567>
- Knudson, D. (2007a). *Fundamentals of biomechanics* (2nd ed.). New York: Springer
- Kuntjoro, B. F. T. (2018). Analisis Biomekanika pada Olahraga Renang “Gaya Bebas.” *Phederal: Physical Education, Health and Recreation Journal*, 11(2), 157365
- Kurniawan, F. (2015). Analisis secara biomekanika terhadap kekerapan kesalahan pada teknik gerak serang dalam pertandingan anggar. *Jurnal Olahraga Prestasi*, 11(1), 73–90
- L. Sturnieks, D., St George, R., & R. Lord, S. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiologie Clinique*, 38(6), 467–478. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.09.001>
- Latash, M. L. (2016). Biomechanics as a window into the neural control of movement. *Journal of Human Kinetics*, 52(1), 7–20. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0190>
- Lees, A. (1999). Biomechanical assessment of individual sports for improved performance. *Sports Medicine*, 28(5), 299–305. <https://doi.org/10.2165/00007256-199928050-00001>
- Li, P., Qin, T., & Shen, S. (2018). Stereo vision-based semantic 3D object and ego-motion tracking for autonomous driving. In *arXiv*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01216-8>
- Mojahedi, M., Malloy, K. J., Eleftheriades, G. V., Woodley, J., & Chiao, R. Y. (2003). Abnormal wave propagation in passive media. *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, 9(1), 30–39. <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2002.807971>
- Mouromadhoni, K. R., & Kuswanto, H. (2019). Penerapan Biomekanika pada Alat Peraga Push Up. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 16(1), 40–45
- McGinnis, P. M. (2013). *Biomechanics of sport and exercise* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics. Retrieved from [http://books.google.co.uk/books/about/Biomechanics\\_of\\_Sport\\_and\\_Exercise.html?id=awmprqGqFo4C&pgis=1](http://books.google.co.uk/books/about/Biomechanics_of_Sport_and_Exercise.html?id=awmprqGqFo4C&pgis=1)
- Mouromadhoni, K. R., & Kuswanto, H. (2019). Penerapan Biomekanika pada Alat Peraga Push Up. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 16(1), 40. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v16i1.2373>

- Nawir, N. (2011). Kontribusi Kekuatan Otot Tangan Dan Daya Tahan Otot Lengan Dengan Kemampuan Memanah Jarak 30 Meter Pada Atlet Panahan Sulawesi Selatan. *Sulawesi Selatan: FIK UNM. Praktek. Jakarta: Rineka Cipta*
- Nunome, H., Asai, T., Ikegama, Y., & Sakurai, S. (2002). Side-Foot and Instep Soccer Kicks. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(12), 2028–2036. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000039076.43492.EF>
- O’Sullivan. (2012). The Serratus Anterior-The Forgotten In Shoulder And Neck Pain. 30 Augustus 2012: 1. Kol. 1. Carr, G. (1997). *Mechanics of Sport, A Practitioner’s Guide*. Australia – America. Human Kinetics
- Otting, G., Reson, J. M., & Cavanagh, P. (1992). *Attention-Based Motion Perception*. 257(September), 1563–1565
- Packiasudha, M., Suja, S., & Jerome, J. (2017). A new Cumulative Gravitational Search algorithm for optimal placement of FACT device to minimize system loss in the deregulated electrical power environment. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 84, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.04.049>
- Patwardhan, P. R., Brown, R. C., & Shanks, B. H. (2011). Understanding the fast pyrolysis of lignin. *ChemSusChem*. <https://doi.org/10.1002/cssc.201100133>
- Pieters, J. (2008). Mycobacterium tuberculosis and the Macrophage: Maintaining a Balance. *Cell Host and Microbe*, 3(6), 399–407. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2008.05.006>
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
- Pranata, D., Hartati, H., Afrizal, A., & Victorian, A. R. (n.d.). Pengembangan Model Aplikasi Tes Fisik Cabang Olahraga Bola Voli Pada Pusat Pendidikan dan Latihan Pelajar Daerah (PPLPD) Kabupaten Musi Banyuasin. *Journal Physical Education, Health and Recreation*, 3(2), 105–111
- Rau, G., Disselhorst-Klug, C., & Schmidt, R. (2000). Movement biomechanics goes upwards: From the leg to the arm. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1207–1216. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00062-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00062-2)
- Steffen Ringhof and Thorsten Stein. 2018. Biomechanical assessment of dynamic balance: Specificity of different balance test. *Human movement science*. 58 (2018). 140-147

- Robertson, B. (2013). Science 101: What Is the Physics Behind Simple Machines? *Science and Children*. [https://doi.org/10.2505/4/sc13\\_051\\_03\\_78](https://doi.org/10.2505/4/sc13_051_03_78)
- Ross, C. F., Iriarte-Diaz, J., Platts, E., Walsh, T., Heins, L., Gerstner, G. E., & Taylor, A. B. (2017). Scaling of rotational inertia of primate mandibles. *Journal of Human Evolution*, *106*, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2017.02.007>
- Rudiyanto, R., Waluyo, M., & Sugiharto, S. (2012). Hubungan Berat Badan Tinggi Badan dan Panjang Tungkai dengan Kelincahan. *Journal of Sport Science and Fitness*, *1*(2)
- Sanders, R., and Wilson, B. (1990). Some biomechanical tips for better teaching and coaching: Part 2. *New Zealand Journal of Health, Physical Education, and Recreation*, *24*(1), 16–17
- Santoso, D. A., & Qiram, I. (2018). Analisis Biomekanika Jarak Langkah Take Off Open Spike Dalam Bolavoli. *Prosiding Seminar Nasional IPTEK Olahraga (SENALOG)*, *1*(1)
- Santoso, D. A. S., & Irwanto, E. (2018). Studi Analisis Biomechanics Langkah Awal (Footwork Step) Open Spike Dalam Bola Voli Terhadap Power Otot Tungkai. *Jorpres (Jurnal Olahraga Prestasi)*, *14*(1), 81–89
- Sari, R. M. (2015). Aplikasi Biomekanika Nomor Lari 100 Meter Cabang Olahraga Atletik. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *21*(81)
- Schmidt, T., Assadi, H., Gärtner, F., Richter, H., Stoltenhoff, T., Kreye, H., & Klassen, T. (2009). From particle acceleration to impact and bonding in cold spraying. *Journal of Thermal Spray Technology*, *18*(5–6), 794–808. <https://doi.org/10.1007/s11666-009-9357-7>
- Stannish, S. M. (2007). The Great Pyramid: Ancient Egypt Revisited. *History: Reviews of New Books*. <https://doi.org/10.1080/03612759.2007.10527098>
- Stewart, T. D., & Hall, R. M. (2006). (iv) Basic biomechanics of human joints: Hips, knees and the spine. *Current Orthopaedics*, *20*(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.cuor.2005.12.004>
- Suárez-Barraz, M. F., & Smith, T. (2014). The Kaizen approach within process innovation: Findings from a multiple case study in Ibero-American countries. *Total Quality Management and Business Excellence*, *25*(9), 1002–1025. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.746194>
- Sunaryadi, Y. (2010). Aplikasi biomekanika dalam pendidikan jasmani. *Jurnal Pendidikan Jasmani Dan Olahraga*, *2*(1), 32–39

- Susan J. Hall. (2015). *Basic Biomechanics* (Issue January 2015). McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, NY 10121
- Thiele, U., Neuffer, K., Bestehorn, M., Pomeau, Y., & Velarde, M. G. (2002). Sliding drops on an inclined plane. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00082-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00082-1)
- Tri Iswoyo1, S. J. (2015). Analisis Biomekanika Keterampilan Gerak Cakram Pada Atlet Berprestasi Popda Jawa Tengah Tahun 2003. *Sumbangan Keseimbangan, Koordinasi Mata Tangan Dan Power Lengan Terhadap Ketepatan Pukulan Boast Dalam Permainan Squash*, 4(2), 43–48
- Vladimir M. Zatsiorsky. (2000). *Biomechanics in sports: performance enhancement and injury prevention*. The Encyclopaedia Of Sports Medicine An Ioc Medical Commission Publication, In Collaboration With The International Federation Of Sports Medicine
- V, E. S. P. B. (1985). *Journal of Occupational Accidents*, 7 (1985) 139-141. 7, 139–140
- Walker J. dkk (2005). *Fisika dasar*. Jakarta: Erlangga
- Wang, H., Liu, B., Qi, X., Woo, S. L. Y., & Cheng, C. K. (2020). Biomechanics of the knee. In *Frontiers in Orthopaedic Biomechanics*. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3159-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3159-0_9)
- Willcocks, L., Lacity, M., & Craig, A. (2017). Robotic process automation: Strategic transformation lever for global business services? *Journal of Information Technology Teaching Cases*, 7(1), 17–28. <https://doi.org/10.1057/s41266-016-0016-9>
- Winter, D. a D. a. D. a. (2009). Biomechanics and motor control of human body. In *Motor Control*
- Wu, G., Van Der Helm, F. C. T., Veeger, H. E. J., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., ... Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion - Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981–992. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.042>
- Zhang, D., & Wei, B. (2016). Dynamic balancing of mechanisms and synthesizing of parallel robots. In *Dynamic Balancing of Mechanisms and Synthesizing of Parallel Robots*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17683-3>
- Zang, J., Yuan, T. C., Lu, Z. Q., Zhang, Y. W., Ding, H., & Chen, L. Q. (2018). A lever-type nonlinear energy sink. *Journal of Sound and Vibration*. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.08.058>

