

BIOMEKANIKA OLAHRAGA

Dr. Andarias Johanis F.Lumba, M.Pd

BIOMEKANIKA OLAHRAGA

Penulis
Dr. Anderias J.F.Lumba, S.Pd., M.Pd

Penerbit Widina

BIOMEKANIKA OLAHRAGA

Penulis:
Dr. Anderias J.F.Lumba, S.Pd., M.Pd

Desain Cover:
Alberstof Radjah

Sumber Ilustrasi:
www.freepik.com

Tata Letak:
Handarini Rohana

Proofreader:
Neneng Sri Wahyuni

Editor:
Frengki Ambara Awiryanto, S.Pd., M.Pd

ISBN:
978-634-317-443-1

Cetakan Pertama:
Oktober, 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang
by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:
WIDINA MEDIA UTAMA
Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025
Website: www.penerbitwidina.com
Instagram: @penerbitwidina
Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan penyertaan-Nya, buku ajar “Biomekanika Olahraga” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu sumber belajar bagi mahasiswa Program Studi Pendidikan Jasmani, Kepelatihan Olahraga, Ilmu Keolahragaan, serta bagi dosen, pelatih, dan praktisi olahraga yang ingin memahami biomekanika sebagai dasar ilmiah dalam analisis gerak manusia.

Buku ini menyajikan materi secara sistematis, mulai dari konsep dasar biomekanika, hukum Newton, sistem muskuloskeletal, analisis gerak, biomekanika kualitatif dan kuantitatif, hingga penerapannya dalam berbagai cabang olahraga dan pencegahan cedera. Materi disusun dengan mengintegrasikan teori, contoh penerapan, dan perkembangan ilmu pengetahuan sehingga diharapkan dapat mendukung proses pembelajaran secara efektif.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan pada edisi berikutnya. Semoga buku ajar ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, dosen, peneliti, pelatih, serta seluruh pembaca dalam mengembangkan ilmu biomekanika olahraga.

Kupang, 2026
Penulis

SINOPSIS

Biomekanika Olahraga merupakan buku ajar yang membahas prinsip-prinsip biomekanika sebagai dasar ilmiah dalam menganalisis gerak manusia pada aktivitas olahraga. Buku ini dirancang untuk membantu mahasiswa, dosen, pelatih, guru pendidikan jasmani, serta praktisi olahraga memahami hubungan antara gaya, gerak, struktur tubuh, dan performa olahraga secara sistematis.

Materi disajikan secara bertahap, mulai dari konsep dasar biomekanika, hukum Newton, sistem muskuloskeletal, gerak linear dan angular, keseimbangan, pusat massa, hingga biomekanika kualitatif dan kuantitatif. Buku ini juga membahas pemanfaatan teknologi dalam analisis gerak, penerapan biomekanika pada berbagai cabang olahraga, serta peran biomekanika dalam meningkatkan performa dan mencegah cedera.

Dengan pendekatan yang mengintegrasikan teori, contoh penerapan, dan perkembangan ilmu pengetahuan, buku ini diharapkan menjadi referensi yang mendukung proses pembelajaran sekaligus memperkuat kemampuan analisis gerak secara ilmiah. Kehadiran buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu keolahragaan dan peningkatan kualitas pembelajaran biomekanika di perguruan tinggi maupun dalam praktik olahraga.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **iii**
SINOPSIS ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **v**
BAB 1 PENDAHULUAN BIOMEKANIKA OLAHRAGA **1**
A. Definisi Biomekanika 1
B. Ruang lingkup biomekanika olahraga 2
C. Sejarah perkembangan biomekanika 5
D. Peran biomekanika dalam ilmu keolahragaan 8
BAB 2 HUKUM NEWTON DALAM GERAK OLAHRAGA **15**
A. Konsep Dasar Gaya dan Gerak 15
B. Tiga Hukum Newton dan Penerapannya 25
a. Hukum I (Inersia) 25
b. Hukum Newton II (Akselerasi) 28
c. Hukum Newton III (Aksi-Reaksi) 31
BAB 3 SISTEM MUSKULOSKELETAL: TULANG, SENDI, OTOT DAN PERANBIOMEKANISNYA **35**
A. Tulang (Skeletal System) 35
B. Sendi (Joints) 41
C. Otot (Muscular System) 46
D. Peran Biomekanis Sistem Muskuloskeletal 53
BAB 4 GERAK LINEAR DAN GERAK SUDUT **59**
A. Gerak Linear (Linear Motion) 59
B. Gerak Sudut (Angular Motion) 63
C. Hubungan Gerak Linear dan Gerak Sudut 69
BAB 5 PUSAT MASSA, KESEIMBANGAN, DAN STABILITAS DALAM OLAHRAGA **71**
A. Pusat Massa (Center of Mass – COM) 71
B. Keseimbangan (Balance) 82
C. Stabilitas (Stability) 86
BAB 6 (BIOMEKANIKA KUALITATIF I) PRINSIP ANALISIS VISUAL GERAKAN **93**
A. Biomekanika kualitatif 93
a. Tujuan Biomekanika Kualitatif 93
b. Prinsip Dasar Analisis Visual Gerakan 95
c. Prinsip Visual yang Harus Diperhatikan 98

BAB 7 BIOMEKANIKA KUALITATIF II TAHAPAN ANALISIS GERAK 101
A. Tahapan Analisis Gerak 101
a. Preparation (Persiapan) 101
b. Execution (Pelaksanaan) 103
c. Follow-through (Gerakan Lanjutan) 106
BAB 8 BIOMEKANIKA KUANTITATIF I PENGUKURAN KECEPATAN, SUDUT, DAN GAYA DALAM OLAHRAGA 109
A. Biomekanika kuantitatif 109
a. Pengukuran Kecepatan (Velocity Measurement) 110
b. Pengukuran Sudut 114
c. Pengukuran Gaya (Force Measurement) 117
BAB 9 BIOMEKANIKA KUANTITATIF II PENGGUNAAN SOFTWARE KINOVEA UNTUK ANALISIS GERAK 123
A. Software Kinovea 123
B. Fitur Utama Kinovea 124
C. Kelebihan dan Keterbatasan Software Kinovea 127
D. Tahapan Penggunaan Software Kinovea 127
BAB 10 ANALISIS BIOMEKANIKA GERAK LARI DAN LOMPAT 135
A. Biomekanika Gerak Lari 135
B. Biomekanika Gerak Lompat 142
BAB 11 ANALISIS BIOMEKANIKA GERAK LEMPAR DAN TANGKAP 153
A. Biomekanika Gerak Lempar 153
B. Biomekanika Gerak Tangkap 160
BAB 12 ANALISIS BIOMEKANIKA OLAHRAGA AIR, POPULER DAN OLAHRAGA LOKAL UNGGULAN MASYARAKAT 169
A. Biomekanika Renang (Gaya Bebas) 169
B. Biomekanika Futsal & Sepak Bola 174
C. Biomekanika Bola Voli 189
D. Biomekanika Sprint (100) 197
E. Olahraga Lokal Tradisional 206
BAB 13 PENERAPAN BIOMEKANIKA DALAM PENCEGAHAN CEDERA 219
A. Peran Biomekanika dalam Pencegahan Cedera 219
B. Jenis Cedera Umum dan Faktor Biomekanisnya 226
C. Analisis Gerak Pencegahan Cedera 233
DAFTAR REFERENSI 238

BAB 1

PENDAHULUAN BIOMEKANIKA OLAHRAGA

A. DEFINISI BIOMEKANIKA

Biomekanika merupakan cabang ilmu yang mengkaji penerapan prinsip-prinsip mekanika pada sistem biologis, khususnya tubuh manusia. Istilah biomekanika berasal dari kata bio (kehidupan) dan mekanika (ilmu tentang gerak dan gaya). Oleh karena itu, biomekanika dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari gerak makhluk hidup serta gaya-gaya yang memengaruhinya. Biomekanika berakar pada prinsip mekanika klasik yang dikembangkan oleh Isaac Newton melalui hukum-hukum geraknya (Newton, 1687/1999). Prinsip ini menjadi dasar dalam memahami hubungan antara gaya dan gerak pada tubuh manusia. Biomekanika adalah studi tentang gaya-gaya internal dan eksternal yang bekerja pada tubuh manusia serta efek yang ditimbulkannya terhadap gerakan (Hall, 2014). Definisi ini menekankan bahwa setiap gerakan manusia tidak terlepas dari interaksi berbagai gaya yang bekerja pada sistem tubuh. Roger Bartlett menyatakan bahwa biomekanika olahraga merupakan ilmu yang mempelajari teknik gerakan manusia dalam olahraga dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika untuk meningkatkan performa atlet (Bartlett, 2007). Pendapat ini menunjukkan bahwa biomekanika memiliki peran aplikatif dalam konteks olahraga prestasi. Vladimir Zatsiorsky mendefinisikan biomekanika sebagai ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi sistem biologis dengan pendekatan mekanika (Zatsiorsky, 2002). Definisi ini menegaskan keterkaitan antara struktur anatomi dan fungsi gerak manusia.

Berdasarkan berbagai pendapat tersebut, biomekanika dapat disimpulkan sebagai ilmu yang mengintegrasikan prinsip fisika dan biologi untuk menganalisis gerakan manusia secara sistematis, baik dari aspek penyebab gerak maupun hasil gerakan. Dalam olahraga, biomekanika tidak hanya menjelaskan bagaimana gerakan dilakukan (how), tetapi juga mengapa gerakan tersebut efektif atau tidak (why). Kajian biomekanika secara umum, mencakup dua aspek utama, yaitu kinematika (kajian

tentang gerak tanpa memperhatikan penyebabnya) dan kinetika (kajian tentang gaya-gaya penyebab gerak). Kedua aspek ini menjadi dasar dalam analisis teknik olahraga secara ilmiah.

Biomekanika merupakan kombinasi antara disiplin ilmu mekanika terapan dan ilmu-ilmu biologi dan fisiologi. Mekanika terapan itu sendiri adalah ilmu yang mempelajari penerapan dari prinsip-prinsip mekanika. Sedangkan mekanika 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. Menurut Soeharsono (2005) mekanika adalah studi tentang bagaimana sesuatu bergerak dan apa yang menyebabkannya bergerak. Biomekanika merupakan salah satu disiplin ilmu yang mempelajari bentuk dan macam-macam gerakan atas dasar prinsip-prinsip mekanika dan menganalisis suatu gerakan. Disiplin ilmu biomekanika tidak berdiri dengan sendirinya, melainkan ditunjang oleh disiplin ilmu yang lainnya, seperti anatomi, fisologi, dan fisika, kemudian dasar-dasar atau prinsip dari ketiga bidang ilmu itu menjadi dasar suatu disiplin ilmu yang disebut biomekanika.

Pada ilmu keolahragaan biomekanika sudah sangat dikenal sebagai suatu disiplin ilmu yang secara khusus mempelajari gerakan dari aktivitas olahraga yang dilakukan. Dengan demikian, dalam ilmu keolahragaan ilmu yang mempelajari tentang mekanisme gerak tubuh manusia disebut biomekanika olahraga. Menurut Ardiyanto and Widiyanto (2019) biomekanika olahraga adalah hal yang berurusan dengan pengaruh daya hukum alam terhadap tubuh manusia selama aktivitas fisik berlangsung. Objek formal dari ilmu biomekanika olahraga adalah mempelajari atau menganalisis gerak manusia melalui aktivitas fisik dalam rangka pembentukan dan pendidikan dengan tujuan menghasilkan suatu perkembangan gerak yang diaplikasikan pada teori kepelatihan dalam professional keolahragaan yang terdiri dari Olahraga Kesehatan, Pendidikan Jasmani dan Kesehatan, Kepelatihan Olahraga Kompetitif, Olahraga Rekreasi, Manajemen Olahraga dan Olahraga Rehabilitasi. Berdasarkan pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa biomekanika olahraga adalah suatu disiplin ilmu yang mempelajari bentuk dan macam-macam gerakan manusia yang merupakan hasil dari aktivitas olahraga atas dasar prinsip gerak yang digunakan untuk menganalisis gerakan tersebut.

B. RUANG LINGKUP BIOMEKANIKA OLAHRAGA

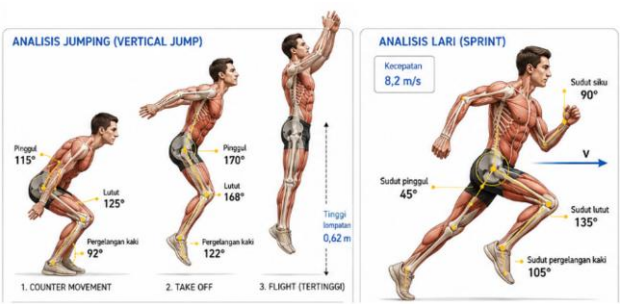
Ruang lingkup biomekanika olahraga mencakup berbagai aspek yang berkaitan dengan analisis gerak manusia dalam aktivitas olahraga, baik dari sudut pandang mekanika maupun biologis. Kajian ini tidak hanya berfokus

pada deskripsi gerakan, tetapi juga pada pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas, efisiensi, dan keamanan gerakan. Secara umum, ruang lingkup biomekanika olahraga dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa bidang utama sebagai berikut:

1. Kinematika (Kinematics)

Kinematika merupakan cabang biomekanika yang mempelajari gerak tanpa memperhatikan penyebabnya. Analisis kinematika mencakup variabel seperti posisi, kecepatan, percepatan, dan lintasan gerak. Dalam dunia olahraga kinematika digunakan untuk menganalisis pola gerakan atlet, misalnya sudut sendi saat melakukan jumping, kecepatan lari, atau lintasan bola dalam permainan. Menurut Susan Hall (2014), analisis kinematika sangat penting untuk memahami karakteristik gerakan secara deskriptif sebelum mengkaji penyebabnya.

Contoh Visual Gambar :



2. Kinetika (Kinetics)

Kinetika adalah cabang biomekanika yang mempelajari gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya gerak. Gaya tersebut meliputi gaya otot, gaya gravitasi, gaya gesek, serta gaya reaksi tanah (*ground reaction force*).



Dalam olahraga analisis kinetika digunakan untuk mengetahui bagaimana gaya dihasilkan dan didistribusikan dalam tubuh atlet. Vladimir Zatsiorsky (2002) menekankan bahwa pemahaman tentang gaya sangat penting dalam meningkatkan efisiensi gerak dan mengurangi risiko cedera.

3. Analisis Teknik Gerakan Olahraga

Biomekanika olahraga memiliki ruang lingkup penting dalam menganalisis teknik gerakan spesifik pada berbagai cabang olahraga. Analisis ini mencakup identifikasi fase gerakan, koordinasi antar segmen tubuh, serta efisiensi gerak. Sebagai contoh, dalam sepak bola, analisis biomekanika dapat digunakan untuk mengevaluasi teknik menendang. Menurut Roger Bartlett (2007), analisis teknik bertujuan untuk mengoptimalkan performa melalui perbaikan pola gerakan.

4. Biomekanika Struktur Tubuh (Anatomi Fungsional)

Ruang lingkup biomekanika juga mencakup kajian tentang struktur tubuh manusia, seperti sistem otot, tulang, dan sendi, serta bagaimana struktur tersebut berkontribusi terhadap gerakan. Konsep seperti tuas (*lever system*), pusat massa (*center of mass*), dan keseimbangan menjadi bagian penting dalam analisis ini. Hubungan antara struktur dan fungsi gerak menjadi dasar dalam memahami performa atlet.



5. Analisis Energi dan Efisiensi Gerak

Biomekanika olahraga juga mempelajari penggunaan energi dalam aktivitas fisik, termasuk hubungan antara kerja, energi, dan daya. Analisis ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi gerakan sehingga atlet dapat mencapai performa optimal dengan pengeluaran energi yang minimal.

6. Pencegahan Cedera (*Injury Prevention*)

Salah satu ruang lingkup penting biomekanika olahraga adalah pencegahan cedera. Dengan menganalisis beban mekanik yang bekerja pada tubuh, biomekanika dapat mengidentifikasi potensi risiko cedera akibat teknik yang salah atau beban berlebih. Pendekatan ini sangat penting dalam program latihan modern untuk menjaga keberlanjutan performa atlet.

7. Penggunaan Teknologi dalam Biomekanika

Perkembangan teknologi telah memperluas ruang lingkup biomekanika olahraga, seperti penggunaan: analisis video, *motion capture*, sensor gerak, *force plate*.



Teknologi ini memungkinkan analisis gerakan yang lebih akurat dan objektif.

C. SEJARAH PERKEMBANGAN BIOMEKANIKA

Sejarah biomekanika olahraga berakar dari pengamatan gerak manusia oleh tokoh kuno seperti Aristoteles (bapak biomekanika pertama) dan Leonardo da Vinci. Ilmu ini berevolusi dari studi anatomis menuju penggunaan teknologi modern (foto, video, motion capture) untuk menganalisis gerak, gaya, dan teknik atlet demi peningkatan performa serta pencegahan cedera, yang mulai populer pada tahun 1960-an. Kata “biomekanik” (1899) dan “biomekanik” yang terkait “1856” berasal dari Bios Yunani kuno dan “mekanika”, untuk merujuk pada studi tentang prinsip - prinsip mekanis organisme hidup, khususnya gerakan dan struktur. Aristotles, diannggap sebagai penemu biomekanika pertama karena karyanya dengan anatomi hewan, Aristoteles menulis buku pertama tentang gerak hewan, *De Motu Animalium*, atau Tentang Gerak hewan. Biomekanika besar berikutnya tidak akan ada sampai 1452, dengan kelahiran Leanardo Da Vinci. Davinci adalah seorang seniman dan mekanik dan insinyur. Dia berkontribusi pada proyek - proyek mekanik mekanik militer militer dan tehnik sipil. Dia menganalisis kekuatan kekuatan gerakan otot dan mempelajari fungsi sendi. Studi studi ini dapat dianggap sebagai studi dibidang studi dibidang biomekanik. Di bidang biomekanik. Da vinci cenderung vinci cenderung meniru beberapa meniru beberapa fitur binatang fitur binatang di mesinya. Misalnya, ia mempelajari penerbangan burung untuk menemukan cara yang digunakan manusia untuk terbang,

dan karena kuda adalah sumber utama kekuatan mekanis pada waktu itu, ia mempelajari system ototnya untuk merancang mesin yang akan mendapat manfaat lebih baik dari kekuatan yang diterapkan hewan ini.



Pada 1543, karya Galen, *On Function of the Parts* ditantang oleh Andreas Vesalius pada usia 29 tahun. Vesalius menerbitkan karyanya sendiri yang berjudul, *On the Structure of the Human Body*. Dalam karya ini, Vesalius mengoreksi banyak kesalahan yang dibuat oleh Galen, yang tidak akan diterima secara global selama berabad-abad. Dengan kematian Coperincus muncul keinginan baru untuk memahami dan belajar belajar tentang tentang dunia di sekitar sekitar orang dan cara kerjanya. ia menerbitkan karyanya, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres.* Karya ini tidak hanya merevolusi sains dan fisika, tetapi juga pengembangan mekanika dan kemudian biomekanika.

Galileo Galilie , bapak mekanik dan paruh waktu biomekanik lahir 21 tahun setelah kematian Copernicus. Galileo menghabiskan bertahun - tahun di sekolah kedokteran dan sering mempertanyakan semua yang diajarkan oleh profesornya. Dia menemukan bahwa para profesor tidak dapat membuktikan apa yang mereka ajarkan sehingga dia pindah ke matematika dimana semuanya harus dibuktikan. Kemudian, pada usia 25, dia pergi ke Pisa dan mengajar matematika. Dia adalah dosen yang sangat baik dan siswa akan meninggalkan instruktur mereka yang lain untuk mendengarnya berbicara, jadi dia terpaksa mengundurkan diri. Dia kemudian menjadi profesor di sekolah yang bahkan lebih bergengsi di Padua . Semangat dan ajarannya akan memimpin dunia sekali lagi ke arah sains. Selama bertahun-tahun ilmu pengetahuannya, Galileo membuat banyak aspek biomekanik diketahui. Sebagai contoh, ia menemukan bahwa "massa hewan meningkat

secara tidak proporsional dengan ukurannya, dan tulang mereka harus secara tidak proporsional juga meningkatkan ketebalan, beradaptasi dengan pemikul beban dari pada ukuran semata. Kekuatan lentur dari struktur tabung seperti tulang meningkat relatif beratnya dengan membuatnya berlubang dan meningkatkan diameternya. Hewan laut bisa lebih besar daripada hewan darat karena daya apungnya air meringankan jaringan beratnya. Galileo Galilei tertarik pada kekuatan tulang dan menyarankan bahwa tulang berlubang karena ini memberikan kekuatan maksimum dengan berat minimum. Dia mencatat bahwa massa tulang hewan meningkat secara tidak proporsional dengan ukurannya. Akibatnya, tulang juga harus meningkat secara tidak proporsional dalam lingkar daripada ukuran semata. Ini karena kekuatan lentur struktur tubular (seperti tulang) jauh lebih efisien dibandingkan dengan beratnya. Mason menyarankan bahwa wawasan ini adalah salah satu pegangan pertama dari prinsip optimasi biologis.

Pada abad ke-16 Descartes menyarankan suatu sistem filosofis dimana semua sistem kehidupan, termasuk tubuh manusia (tetapi bukan jiwa), hanyalah mesin yang diperintah oleh hukum mekanis yang sama, sebuah gagasan yang melakukan banyak hal untuk mempromosikan dan mempertahankan studi biomekanik. Biomekanik utama berikutnya, Giovanni Alfonso Borelli Giovanni Alfonso Borelli , adalah orang pertama yang memahami bahwa "tuas sistem otot-otot memperbesar gerak dari pada kekuatan, sehingga otot - otot harus menghasilkan kekuatan yang jauh lebih besar dari pada yang menolak gerak". Dengan menggunakan karya - karya Galileo dan memb Dengan menggunakan karya - karya Galileo dan membangun dari gun dari mereka, Borelli menemukan kekuatan yang dibutuhkan untuk keseimbangan di berbagai sendi tubuh manusia. Dia bahkan menemukan pusat gravitasi dan volume Dia bahkan menemukan pusat gravitasi dan volume udara manusia serta elastisitas otot. Karyanya sering dianggap yang paling penting Karyanya sering dianggap yang paling penting dalam sejarah biomekanika karena ia membuat banyak penemuan baru yang membuka jalan bagi generasi masa depan untuk melanjutkan pekerjaan dan studinya.

Bertahun-tahun setelah Borelli sebelum bidang biomekanika membuat lompatan besar. Setelah waktu itu, semakin banyak ilmuwan mempela Setelah waktu itu, semakin banyak ilmuwan mempelajari tentang tubuh manusia ri tentang tubuh manusia dan fungsinya. Tidak banyak ilmuwan terkemuka dari abad ke-19 at Tidak banyak ilmuwan terkemuka dari abad ke-19 atau ke-20 dalam ke-20 dalam bidang biomekanika karena bidangnya sekarang terlalu luas untuk menghubungkan satu hal dengan satu orang.

Namun, bidang ini terus tumbuh setiap tahun dan Namun, bidang ini terus tumbuh setiap tahun dan terus membuat rus membuat kemajuan dalam menemukan lebih banyak tentang tubuh manusia. Karena bidang ini Karena bidang ini menjadi sangat populer, banyak lembaga dan laboratorium telah dibuka selama abad terakhir dan orang - orang terus melakukan penelitian.

D. PERAN BIOMEKANIKA DALAM ILMU KEOLAHRAGAAN

Biomekanika memiliki peran yang sangat penting dalam ilmu keolahragaan karena menjadi dasar ilmiah dalam memahami, menganalisis, dan mengoptimalkan gerakan manusia. Dalam konteks olahraga modern, pendekatan ilmiah menjadi kebutuhan utama untuk meningkatkan performa atlet secara sistematis dan berkelanjutan. Biomekanika hadir sebagai jembatan antara teori mekanika dan praktik olahraga, sehingga setiap gerakan dapat dijelaskan secara objektif, terukur, dan dapat dievaluasi. Peran biomekanika dalam ilmu keolahragaan tidak hanya terbatas pada analisis gerakan, tetapi juga mencakup berbagai aspek penting yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas latihan, performa, serta pencegahan cedera.

Berikut adalah peran utama biomekanika dalam keolahragaan:

1. Meningkatkan Performa Atlet

Salah satu peran utama biomekanika adalah meningkatkan performa atlet melalui analisis teknik gerakan yang lebih efisien dan efektif. Dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika, setiap gerakan dapat dianalisis untuk menemukan pola yang paling optimal. Menurut Roger Bartlett (2007), biomekanika olahraga memungkinkan identifikasi teknik yang paling efisien sehingga atlet dapat menghasilkan performa maksimal dengan usaha yang minimal. Analisis ini melibatkan pengukuran variabel seperti kecepatan, sudut sendi, gaya, dan koordinasi gerak. Sebagai contoh, dalam bola voli, analisis biomekanika pada gerakan spike dapat membantu atlet meningkatkan tinggi lompatan, kecepatan ayunan lengan, serta akurasi pukulan. Dengan demikian, performa tidak hanya ditingkatkan secara fisik, tetapi juga secara teknis.

2. Mengoptimalkan Teknik Gerakan

Biomekanika berperan dalam memperbaiki dan menyempurnakan teknik gerakan atlet. Teknik yang baik tidak hanya menghasilkan performa yang tinggi, tetapi juga mengurangi pemborosan energi. Susan Hall (2014) menjelaskan bahwa analisis biomekanika memungkinkan identifikasi kesalahan gerakan secara detail, sehingga dapat dilakukan koreksi teknik

yang lebih tepat. Hal ini sangat penting dalam proses pembelajaran dan pelatihan olahraga, terutama bagi atlet pemula hingga tingkat elite. Dengan pendekatan biomekanika, pelatih dapat memberikan umpan balik berbasis data, bukan hanya berdasarkan pengamatan subjektif.

3. Pencegahan dan Rehabilitasi Cedera

Biomekanika memiliki kontribusi besar dalam pencegahan cedera olahraga. Cedera sering kali terjadi akibat beban mekanik yang berlebihan atau teknik gerakan yang tidak tepat. Melalui analisis gaya dan distribusi beban pada tubuh, biomekanika dapat mengidentifikasi potensi risiko cedera. Vladimir Zatsiorsky (2002) menekankan bahwa pemahaman tentang gaya internal dan eksternal sangat penting untuk melindungi struktur tubuh dari kerusakan. Selain itu, biomekanika juga digunakan dalam proses rehabilitasi cedera untuk memastikan bahwa gerakan pemulihan dilakukan dengan aman dan efektif.

4. Pengembangan Metode dan Program Latihan

Biomekanika membantu dalam merancang program latihan yang lebih efektif dan efisien. Dengan memahami prinsip gerak dan gaya, pelatih dapat menyusun latihan yang sesuai dengan kebutuhan spesifik cabang olahraga. Sebagai contoh, latihan plyometric dirancang berdasarkan prinsip gaya dan reaksi tanah untuk meningkatkan daya ledak otot.



Dengan pendekatan biomekanika, latihan dapat disesuaikan dengan karakteristik individu atlet, sehingga hasil yang diperoleh lebih optimal.

5. Penggunaan Teknologi dalam Analisis Olahraga

Perkembangan biomekanika olahraga pada era modern tidak dapat dilepaskan dari kemajuan pesat dalam bidang teknologi. Integrasi antara ilmu mekanika, ilmu keolahragaan, dan teknologi digital telah membawa perubahan signifikan dalam cara memahami, menganalisis, dan meningkatkan performa gerak manusia. Jika pada masa awal analisis gerakan hanya mengandalkan observasi visual yang bersifat subjektif, maka saat ini teknologi memungkinkan pengukuran gerakan secara objektif, akurat, dan berbasis data kuantitatif. Penggunaan teknologi dalam analisis olahraga memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kualitas evaluasi performa atlet. Teknologi memungkinkan pelatih dan peneliti untuk tidak hanya melihat hasil akhir dari suatu gerakan, tetapi juga memahami proses terjadinya gerakan tersebut secara rinci. Hal ini sejalan dengan pandangan Vladimir Zatsiorsky (2002) yang menekankan bahwa analisis gerakan yang akurat harus didasarkan pada data kuantitatif yang dapat diukur dan dianalisis secara ilmiah.



Salah satu teknologi yang paling banyak digunakan dalam biomekanika olahraga adalah *motion capture system*. Sistem ini bekerja dengan merekam gerakan tubuh atlet menggunakan kamera berkecepatan tinggi yang terhubung dengan perangkat lunak analisis. Melalui penempatan marker pada titik-titik tertentu pada tubuh, sistem ini mampu menghasilkan representasi tiga dimensi dari gerakan manusia. Dengan demikian, variabel seperti sudut sendi, kecepatan segmen tubuh, dan koordinasi gerakan dapat dianalisis secara detail. Dalam konteks olahraga, teknologi ini sangat bermanfaat untuk mengevaluasi teknik gerakan kompleks, seperti gerakan spike dalam bola voli, ayunan dalam tenis, atau teknik lari dalam atletik.



Force Plate merupakan alat penting dalam analisis biomekanika yang digunakan untuk mengukur gaya reaksi tanah (*ground reaction force*). Alat ini mampu memberikan informasi mengenai besar, arah, dan distribusi gaya yang dihasilkan oleh tubuh saat berinteraksi dengan permukaan. Data yang diperoleh dari *force plate* sangat penting dalam memahami kemampuan daya ledak (*power*), keseimbangan, serta mekanisme pendaratan atlet. Analisis ini tidak hanya berguna untuk meningkatkan performa, tetapi juga untuk mengidentifikasi potensi risiko cedera, terutama pada olahraga yang melibatkan lompatan dan perubahan arah secara cepat. Teknologi analisis video digital juga menjadi alat yang широко digunakan dalam dunia olahraga. Dengan bantuan perangkat lunak khusus, rekaman video dapat dianalisis secara *frame-by-frame* sehingga memungkinkan identifikasi kesalahan teknik secara lebih rinci. Dibandingkan dengan observasi langsung, analisis video memberikan keunggulan dalam hal visualisasi ulang gerakan, sehingga pelatih dan atlet dapat melihat dan memahami kesalahan secara lebih jelas. Menurut Roger Bartlett (2007), penggunaan video dalam analisis biomekanika merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran teknik karena memberikan umpan balik visual yang konkret.



Perkembangan teknologi sensor gerak (*wearable sensors*) semakin memperluas cakupan analisis biomekanika. Sensor seperti *accelerometer, gyroscope,* dan *magnetometer* dapat dipasang pada tubuh atlet untuk merekam data gerakan secara real-time. Keunggulan utama dari teknologi ini adalah kemampuannya untuk digunakan dalam kondisi lapangan yang sebenarnya (*field-based analysis*), sehingga data yang diperoleh lebih representatif dibandingkan dengan analisis di laboratorium. Dengan sensor ini, pelatih dapat memantau performa atlet secara terus-menerus, bahkan selama sesi latihan atau pertandingan berlangsung.

Integrasi berbagai teknologi tersebut menghasilkan pendekatan analisis yang lebih komprehensif. Data dari *motion capture, force plate*, dan sensor gerak dapat dikombinasikan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang performa gerakan atlet. Misalnya, dalam analisis lompatan, data kinematika dapat digunakan untuk mengetahui sudut lutut dan pinggul, sementara data kinetika dari force plate memberikan informasi tentang gaya yang dihasilkan. Kombinasi ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap hubungan antara teknik dan hasil performa. Perkembangan teknologi komputer dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) juga mulai diterapkan dalam biomekanika olahraga. Algoritma pembelajaran mesin (machine learning) dapat digunakan untuk menganalisis pola gerakan dan memprediksi performa atau risiko cedera. Teknologi ini membuka peluang baru dalam pengembangan sistem pelatihan yang lebih adaptif dan personalisasi, di mana program latihan dapat disesuaikan dengan karakteristik individu atlet.

Penggunaan teknologi dalam biomekanika olahraga juga memiliki implikasi penting dalam proses kepelatihan. Dengan adanya data yang objektif dan terukur, pelatih dapat membuat keputusan yang lebih tepat dalam merancang program latihan, mengevaluasi perkembangan atlet, serta memperbaiki teknik gerakan. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada intuisi semata dan menggantinya dengan pendekatan berbasis bukti (*evidence-based practice*). Penggunaan teknologi juga memiliki tantangan tersendiri. Salah satunya adalah kebutuhan akan sumber daya yang memadai, baik dari segi biaya, fasilitas, maupun kompetensi sumber daya manusia. Selain itu, interpretasi data biomekanika memerlukan pemahaman yang mendalam agar hasil analisis dapat digunakan secara tepat dalam praktik olahraga. Oleh karena itu, penting bagi pelatih dan akademisi untuk memiliki literasi teknologi yang baik agar dapat memanfaatkan teknologi secara optimal.

6. Optimasi Peralatan Olahraga

Biomekanika memiliki peran yang sangat penting dalam optimasi peralatan olahraga, terutama dalam memastikan bahwa desain peralatan selaras dengan karakteristik anatomi dan mekanika tubuh manusia. Pendekatan ini bertujuan untuk menciptakan peralatan yang tidak hanya meningkatkan performa atlet, tetapi juga memberikan kenyamanan serta meminimalkan risiko cedera. Dalam konteks ini, biomekanika berfungsi sebagai dasar ilmiah dalam proses perancangan (*design*) dan pengujian (*testing)* peralatan olahraga.

Setiap peralatan olahraga harus mampu mendukung interaksi optimal antara tubuh atlet dan lingkungan. Hal ini mencakup aspek seperti distribusi gaya, stabilitas, efisiensi gerak, serta respons terhadap beban mekanik. Salah satu contoh nyata dari penerapan biomekanika dalam optimasi peralatan olahraga adalah desain sepatu olahraga. Sepatu dirancang dengan mempertimbangkan gaya reaksi tanah (*ground reaction force*), pola tekanan pada telapak kaki, serta kebutuhan spesifik dari masing-masing cabang olahraga. Misalnya, sepatu untuk lari jarak jauh dirancang untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak benturan, sedangkan sepatu untuk olahraga seperti bola basket atau bola voli lebih menekankan pada stabilitas dan kemampuan menyerap beban saat pendaratan. Selain sepatu, peralatan lain seperti raket, tongkat golf, dan bola juga mengalami pengembangan berbasis biomekanika. Dalam olahraga tenis, misalnya, desain raket mempertimbangkan distribusi massa, panjang lengan ayun, serta titik keseimbangan (*balance point*) untuk menghasilkan pukulan yang lebih kuat dan terkontrol. Hal ini menunjukkan bahwa biomekanika tidak hanya berfokus pada tubuh manusia, tetapi juga pada interaksi antara tubuh dan alat yang digunakan.

Menurut Roger Bartlett (2007), optimasi peralatan olahraga merupakan bagian integral dari peningkatan performa karena peralatan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi gerakan dan mengurangi pemborosan energi. Dengan kata lain, peralatan yang dirancang berdasarkan prinsip biomekanika mampu membantu atlet mencapai performa maksimal dengan usaha yang lebih optimal. Biomekanika juga berperan dalam pengujian keamanan peralatan olahraga. Setiap peralatan harus memenuhi standar tertentu agar tidak menimbulkan risiko cedera bagi pengguna. Analisis biomekanika digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik tekanan, potensi beban berlebih, serta respons material terhadap gaya yang diberikan. Proses ini sangat penting dalam memastikan bahwa peralatan tidak hanya efektif, tetapi juga aman digunakan dalam jangka panjang.

BAB 2

HUKUM NEWTON DALAM GERAK OLAHRAGA

A. KONSEP DASAR GAYA DAN GERAK

a. Gaya (Force)

Gaya (*force*) merupakan salah satu konsep paling fundamental dalam biomekanika olahraga karena menjadi penyebab utama terjadinya perubahan gerak pada tubuh manusia. Dalam konteks mekanika klasik, gaya didefinisikan sebagai tarikan atau dorongan yang dapat menyebabkan suatu benda mengalami percepatan, perubahan arah, atau perubahan bentuk. Konsep ini berakar pada hukum-hukum gerak yang dikemukakan oleh Isaac Newton, yang menyatakan bahwa setiap perubahan gerak suatu benda selalu disebabkan oleh adanya gaya yang bekerja padanya. Dalam biomekanika olahraga, gaya tidak hanya dipahami sebagai interaksi antara benda dengan benda lain, tetapi juga sebagai hasil dari aktivitas sistem biologis, khususnya kontraksi otot. Gaya yang dihasilkan oleh tubuh manusia disebut sebagai gaya internal, sedangkan gaya yang berasal dari luar tubuh, seperti gaya gravitasi dan gaya reaksi tanah (ground reaction force), disebut sebagai gaya eksternal. Kedua jenis gaya ini bekerja secara simultan dan saling berinteraksi dalam setiap aktivitas gerak olahraga.

Gaya dinyatakan dalam satuan Newton (N) dan dapat dijelaskan melalui hubungan antara massa dan percepatan ($F = m \times a$). Persamaan ini menunjukkan bahwa semakin besar massa atau percepatan suatu benda, maka gaya yang diperlukan untuk menggerakkannya juga semakin besar. Dalam olahraga, prinsip ini terlihat jelas pada aktivitas seperti sprint, lompat, atau lempar, di mana atlet harus menghasilkan gaya yang cukup besar untuk mengatasi massa tubuh dan menghasilkan percepatan yang optimal. Menurut Susan Hall (2014), gaya merupakan faktor utama yang menentukan kualitas gerakan manusia, karena tanpa adanya gaya, tidak akan terjadi perubahan posisi atau kecepatan. Oleh karena itu, analisis gaya

menjadi aspek penting dalam memahami efektivitas teknik gerakan dalam olahraga.

Gaya dalam olahraga dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan sumber dan karakteristiknya.

1. Gaya otot (*muscle force*)

Gaya otot (*muscle force*), yaitu gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot untuk menggerakkan segmen tubuh. Gaya ini merupakan penggerak utama dalam semua aktivitas olahraga.



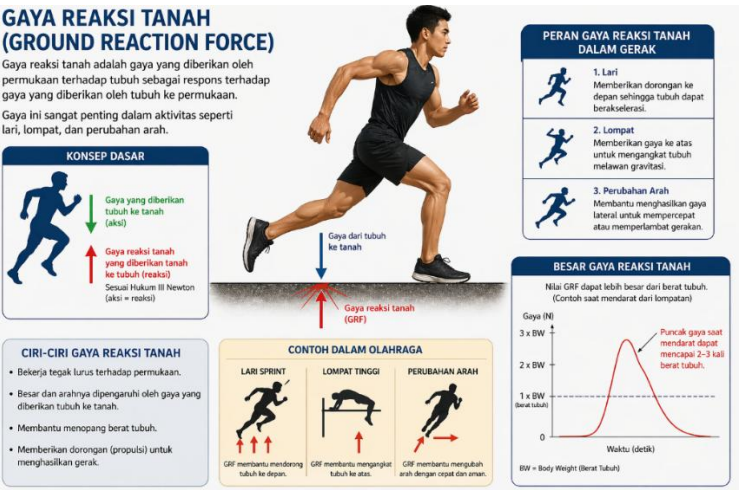
2. Gaya gravitasi

Gaya gravitasi, yaitu gaya tarik bumi yang selalu bekerja pada tubuh manusia dan memengaruhi keseimbangan serta arah gerakan.



3. Gaya reaksi tanah

Gaya reaksi tanah, yaitu gaya yang diberikan oleh permukaan terhadap tubuh sebagai respons terhadap gaya yang diberikan oleh tubuh ke permukaan. Gaya ini sangat penting dalam aktivitas seperti lari, lompat, dan perubahan arah.



4. Gaya gesek (*friction force*)

Gaya gesek (*friction force*) yang berperan dalam memberikan traksi antara kaki dan permukaan, serta gaya hambat udara (*air resistance)* yang memengaruhi gerakan pada olahraga seperti sprint dan bersepeda.

GAYA GESEK (FRICTION FORCE)

Gaya gesek adalah gaya yang muncul antara dua permukaan yang saling bersentuhan dan bekerja berlawanan arah dengan gerakan.

PERAN DALAM OLAHRAGA

- Memberikan traksi (daya cengkeram) antara kaki dan permukaan.
- Membantu atlet untuk berlari, melompat, berhenti, dan berubah arah dengan aman.
- Jika traksi kurang, kaki bisa tergelincir dan meningkatkan risiko cedera.



DIAGRAM GAYA GESEK PADA LARI



CONTOH DALAM OLAHRAGA

LARI	PERUBAHAN ARAH	LOMPAT
		
Traksi membantu mendorong tubuh ke depan.	Gaya gesek membantu berbelok dengan cepat tanpa tergelincir.	Traksi membantu tolakan yang kuat dan stabil.

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI GAYA GESEK



Jenis permukaan
(kasar > halus)



Jenis alas kaki
(sol, bahan)



Gaya normal
(semakin besar, traksi semakin besar)



Kondisi permukaan
(kering > basah/licin)



Pemahaman terhadap berbagai jenis gaya ini sangat penting bagi pelatih dan atlet untuk mengoptimalkan performa serta mengurangi risiko cedera. Gaya memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan suatu teknik. Sebagai contoh, dalam olahraga bola voli, gaya yang dihasilkan oleh otot tungkai saat melakukan tolakan akan menentukan tinggi lompatan atlet. Sementara itu, gaya yang dihasilkan oleh ayunan lengan akan memengaruhi kecepatan dan arah bola saat melakukan spike. Dengan demikian, kemampuan atlet dalam menghasilkan dan mengontrol gaya menjadi faktor kunci dalam mencapai performa optimal.

Konsep gaya juga berkaitan erat dengan prinsip efisiensi gerak. Atlet yang mampu menghasilkan gaya secara efektif dengan penggunaan energi yang minimal akan memiliki keunggulan dibandingkan dengan atlet yang menghasilkan gaya besar tetapi tidak efisien. Oleh karena itu, analisis biomekanika bertujuan untuk mengidentifikasi pola gerakan yang mampu memaksimalkan output gaya sekaligus meminimalkan pemborosan energi. Gaya merupakan elemen fundamental dalam biomekanika olahraga yang berperan dalam setiap aspek gerakan manusia. Pemahaman yang mendalam tentang konsep gaya memungkinkan pelatih dan atlet untuk meningkatkan kualitas teknik, mengoptimalkan performa, serta mengurangi risiko cedera melalui pendekatan yang ilmiah dan terukur.

b. Gerak (Motion)

Gerak (*motion*) merupakan perubahan posisi suatu benda atau bagian tubuh terhadap waktu dan ruang. Dalam konteks biomekanika olahraga, gerak menjadi fokus utama kajian karena seluruh aktivitas olahraga pada dasarnya adalah hasil dari berbagai bentuk gerakan tubuh manusia. Tanpa adanya gerak, tidak akan terjadi aktivitas fisik, sehingga pemahaman tentang gerak menjadi landasan penting dalam analisis biomekanika. Konsep gerak berkaitan erat dengan hukum-hukum mekanika yang dikemukakan oleh Isaac Newton, khususnya dalam menjelaskan hubungan antara gaya dan perubahan gerakan. Gerak tidak hanya dipahami sebagai perpindahan posisi, tetapi juga mencakup perubahan kecepatan, percepatan, arah, serta pola gerakan yang terjadi dalam suatu sistem.

Menurut Susan Hall (2014), gerak dalam biomekanika dianalisis melalui pendekatan kinematika, yaitu kajian tentang bagaimana suatu gerakan terjadi tanpa memperhatikan penyebabnya. Pendekatan ini memungkinkan peneliti dan pelatih untuk mendeskripsikan gerakan secara sistematis, seperti mengukur kecepatan lari, sudut lutut saat melompat, atau lintasan bola dalam permainan.

Dalam biomekanika olahraga, gerak dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan karakteristiknya.

1. Gerak linear (translasi), yaitu gerakan yang terjadi ketika seluruh bagian tubuh atau objek bergerak dalam arah yang sama. Contohnya adalah gerakan lari lurus atau gerakan bola yang meluncur di permukaan.



2. Gerak angular (rotasi), yaitu gerakan yang terjadi ketika tubuh atau bagian tubuh berputar terhadap suatu sumbu. Contohnya adalah gerakan ayunan lengan saat melakukan smash dalam bola voli atau putaran tubuh saat melakukan lemparan.



3. Gerak umum (general motion) yang merupakan kombinasi antara gerak linear dan angular.

Dalam praktik olahraga, sebagian besar gerakan yang dilakukan atlet merupakan gerak umum, karena melibatkan perpindahan posisi sekaligus rotasi segmen tubuh secara bersamaan. Misalnya, dalam gerakan spike bola voli, tubuh atlet mengalami perpindahan vertikal (*linear*) saat melompat dan rotasi pada bahu serta lengan (*angular*) saat memukul bola.

Gerak juga dapat dianalisis berdasarkan besaran-besaran kinematika, seperti:

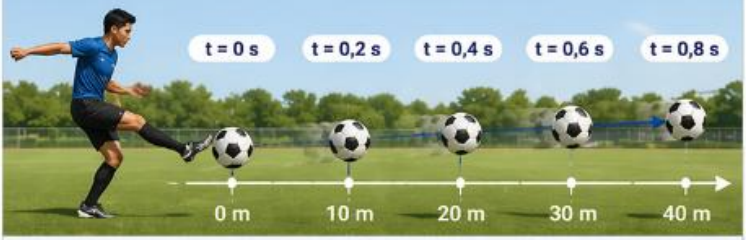
1. Jarak dan perpindahan, yang menunjukkan seberapa jauh tubuh atau objek bergerak



2. Kecepatan (*velocity*), yang menunjukkan seberapa cepat perubahan posisi terjadi.



2. KECEPATAN BOLA SAAT DITENDANG



Bola bergerak dari 0 m ke 40 m dalam waktu 0,8 sekon.

Kecepatan rata-rata = perpindahan / waktu

v = 40 m / 0,8 s = 50 m/s (ke arah depan)

Artinya, posisi bola berubah 50 meter setiap detiknya ke arah depan.

RUMUS KECEPATAN RATA-RATA

$$\vec{v}_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

Keterangan:

- $\vec{v}$ = kecepatan rata-rata (m/s)
- $\Delta \vec{x}$ = perpindahan (m)
- Δt = selang waktu (s)

KECEPATAN ADALAH VEKTOR

Kecepatan memiliki besar (nilai) dan arah.

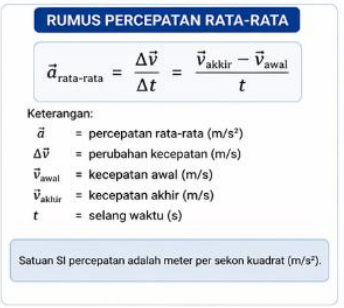


Jika arah berubah,
maka kecepatan juga berubah,
meskipun besar kecepatannya
sama.

3. Percepatan (*acceleration*), yang menunjukkan perubahan kecepatan dalam waktu tertentu.









Variabel-variabel ini sangat penting dalam mengevaluasi performa atlet. Sebagai contoh, dalam olahraga sprint, kecepatan dan percepatan awal menjadi faktor penentu keberhasilan. Sementara dalam olahraga seperti lompat jauh, kombinasi kecepatan horizontal dan sudut lepas (*take-off*

angle) sangat memengaruhi jarak lompatan. Menurut Roger Bartlett (2007), analisis gerak dalam olahraga bertujuan untuk mengidentifikasi pola gerakan yang paling efisien dan efektif. Dengan memahami karakteristik gerak, pelatih dapat memberikan intervensi yang tepat untuk memperbaiki teknik atlet. Gerak dalam biomekanika juga dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal meliputi kekuatan otot, fleksibilitas, dan koordinasi, sedangkan faktor eksternal meliputi gaya gravitasi, gesekan, serta kondisi lingkungan. Interaksi antara faktor-faktor ini menentukan kualitas gerakan yang dihasilkan.

Gerak sangat penting dalam meningkatkan performa olahraga. Misalnya, dalam bola voli, analisis gerak dapat digunakan untuk mengevaluasi koordinasi antara fase awalan, tolakan, dan ayunan lengan dalam gerakan spike. Dengan analisis yang tepat, atlet dapat mengoptimalkan waktu, kecepatan, dan sudut gerakan untuk menghasilkan pukulan yang lebih efektif. Gerak juga berperan dalam pencegahan cedera. Gerakan yang tidak efisien atau tidak sesuai dengan prinsip biomekanika dapat menyebabkan beban berlebih pada sendi dan otot, yang berpotensi menimbulkan cedera. Oleh karena itu, analisis gerak menjadi alat penting dalam memastikan bahwa teknik yang digunakan aman dan sesuai dengan prinsip ilmiah. Dengan demikian, gerak merupakan komponen utama dalam biomekanika olahraga yang mencerminkan hasil interaksi antara gaya, struktur tubuh, dan lingkungan. Pemahaman yang mendalam tentang konsep gerak memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap performa atlet serta memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan teknik dan program latihan yang efektif.

B. TIGA HUKUM NEWTON DAN PENERAPANNYA

Tiga Hukum Newton adalah dasar biomekanika olahraga: Hukum I (Inersia) menjelaskan benda diam/bergerak konstan tanpa gaya luar, Hukum II ($F=ma$) menghubungkan gaya, massa, dan percepatan, serta Hukum III (Aksi-Reaksi) menyatakan gaya aksi sama dengan reaksi. Penerapannya krusial dalam memaksimalkan performa dan mencegah cedera melalui analisis gerakan.

a. Hukum I (Inersia)

Hukum Newton I, yang dikenal sebagai hukum inersia, menyatakan bahwa suatu benda akan tetap berada dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan selama tidak ada gaya luar yang bekerja untuk mengubah keadaan tersebut. Konsep ini merupakan salah satu dasar penting dalam biomekanika olahraga karena menjelaskan kecenderungan alami tubuh atau objek untuk mempertahankan kondisi geraknya. Prinsip ini pertama

kali dirumuskan secara sistematis oleh Isaac Newton dan menjadi fondasi dalam memahami hubungan antara gaya dan gerak. Inersia berkaitan erat dengan massa tubuh yaitu semakin besar massa suatu benda atau tubuh, maka semakin besar pula inersianya, sehingga semakin sulit untuk mengubah keadaan geraknya, baik dari diam menjadi bergerak maupun sebaliknya. Hal ini memiliki implikasi langsung dalam olahraga, terutama pada aktivitas yang melibatkan percepatan dan deselerasi, seperti sprint, lompat, dan perubahan arah.

Menurut Susan Hall (2014), hukum inersia menjelaskan bahwa setiap perubahan gerakan memerlukan gaya eksternal yang cukup untuk mengatasi kecenderungan alami tubuh mempertahankan keadaan awalnya. Dengan kata lain, tanpa adanya gaya, tidak akan terjadi perubahan gerakan. Oleh karena itu, dalam olahraga, atlet harus mampu menghasilkan gaya yang cukup besar untuk mengatasi inersia tubuhnya.

Penerapan dalam Olahraga:

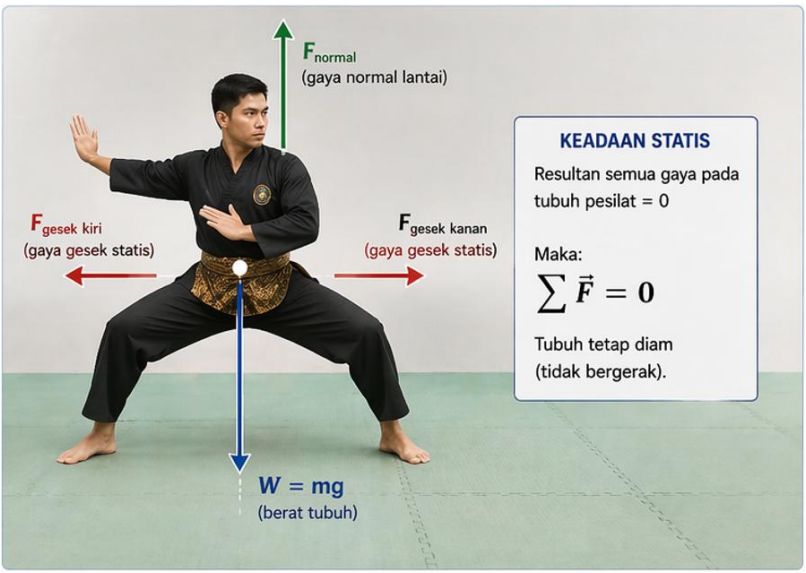
1. Sepak Bola: Bola yang diam di atas rumput akan tetap diam hingga ditendang oleh pemain.



2. Berlari : Seorang pelari yang berhenti mendadak memerlukan gaya luar (pengereman) untuk melawan kecenderungan tubuh untuk terus bergerak maju.



3. Sikap Statis: Pesilat yang mempertahankan kuda-kuda kokoh (gerakan statis) tetap diam karena resultan gaya pada tubuhnya nol.



Dalam aktivitas olahraga, prinsip inersia juga terlihat pada fase awal gerakan atlet. Seorang pelari yang berada di garis start tidak akan bergerak sebelum memberikan gaya dorong melalui kontraksi otot terhadap blok start. Gaya dorong ini berfungsi untuk mengatasi inersia tubuh yang semula diam. Semakin besar gaya yang dihasilkan, semakin cepat atlet dapat mengatasi inersia dan mencapai kecepatan awal yang tinggi. Hukum inersia juga berperan dalam mempertahankan gerakan. Misalnya, seorang pesepeda yang sudah mencapai kecepatan tertentu akan cenderung terus bergerak meskipun gaya kayuhan dikurangi, karena tubuh dan sepeda memiliki inersia yang mempertahankan gerakan tersebut. Namun, dalam kondisi nyata, gerakan ini tetap dipengaruhi oleh gaya eksternal seperti gesekan dan hambatan udara yang secara perlahan mengurangi kecepatan.

Dalam olahraga yang melibatkan perubahan arah secara cepat, seperti sepak bola atau bola basket, inersia menjadi faktor yang harus dikontrol dengan baik. Atlet harus mampu menghasilkan gaya yang cukup untuk menghentikan gerakan sebelumnya dan mengubah arah secara efektif. Kegagalan dalam mengontrol inersia dapat menyebabkan penurunan performa atau bahkan meningkatkan risiko cedera, terutama pada sendi lutut dan pergelangan kaki.

Pemahaman tentang hukum inersia sangat penting dalam analisis teknik olahraga karena membantu menjelaskan mengapa suatu gerakan memerlukan gaya tertentu dan bagaimana gaya tersebut digunakan secara efisien. Dengan memahami prinsip ini, pelatih dapat merancang latihan yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan atlet dalam mengatasi dan memanfaatkan inersia. Hukum Newton I juga memiliki implikasi dalam efisiensi gerak. Atlet yang mampu memanfaatkan inersia dengan baik dapat menghemat energi, karena tidak perlu terus-menerus menghasilkan gaya besar untuk mempertahankan gerakan. Sebaliknya, atlet yang tidak memahami prinsip ini cenderung mengeluarkan energi lebih besar karena melakukan gerakan yang tidak efisien. Dengan demikian hukum Newton I (inersia) memberikan pemahaman dasar tentang bagaimana dan mengapa suatu benda atau tubuh mempertahankan keadaan geraknya. Dalam biomekanika olahraga, prinsip ini sangat penting untuk menganalisis fase awal gerakan, mempertahankan kecepatan, serta mengontrol perubahan arah. Pemahaman yang baik tentang inersia memungkinkan atlet dan pelatih untuk mengoptimalkan performa sekaligus meminimalkan risiko cedera melalui pendekatan yang ilmiah dan terukur.

b. Hukum Newton II (Akselerasi)

Hukum Newton II menyatakan bahwa percepatan suatu benda berbanding lurus dengan gaya yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Hubungan ini dirumuskan dalam persamaan:
$F = m \times a$ (Gaya = massa × percepatan)

Prinsip ini dikemukakan oleh Isaac Newton dan menjadi dasar utama dalam memahami bagaimana gaya memengaruhi perubahan gerakan. Dalam biomekanika olahraga, hukum ini sangat penting karena hampir seluruh aktivitas olahraga melibatkan percepatan, baik dalam bentuk peningkatan kecepatan, perlambatan, maupun perubahan arah. Percepatan tidak hanya diartikan sebagai bertambahnya kecepatan, tetapi juga mencakup setiap perubahan dalam kecepatan, termasuk perubahan arah gerakan. Oleh karena itu, hukum Newton II memberikan kerangka ilmiah

yang menjelaskan bagaimana gaya yang dihasilkan oleh otot dapat mengubah keadaan gerak tubuh secara dinamis.

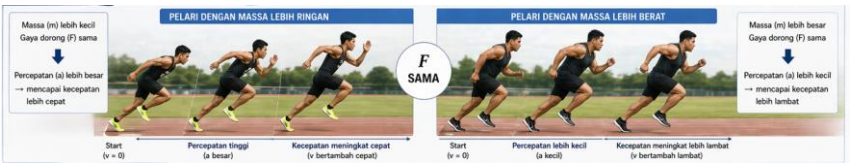
Menurut Peter McGinnis (2013), hukum Newton II menjelaskan bahwa percepatan suatu objek tidak hanya ditentukan oleh besar gaya yang diberikan, tetapi juga oleh massa objek tersebut. Ia menekankan bahwa dalam konteks olahraga, tubuh manusia sering kali mengalami gaya yang bervariasi dalam arah dan besarannya, sehingga percepatan yang dihasilkan juga bersifat kompleks. Oleh karena itu, analisis biomekanika harus mempertimbangkan gaya resultan (*net force*), yaitu jumlah seluruh gaya yang bekerja pada tubuh. McGinnis (2013) menjelaskan bahwa arah percepatan selalu searah dengan arah gaya resultan. Hal ini memiliki implikasi penting dalam olahraga, karena tidak hanya besar gaya yang menentukan performa, tetapi juga arah gaya tersebut. Gaya yang besar namun tidak diarahkan secara tepat tidak akan menghasilkan percepatan yang optimal. Dengan kata lain, efektivitas gerakan sangat bergantung pada kemampuan atlet dalam mengarahkan gaya secara efisien. Pandangan ini sejalan dengan Susan Hall (2014) yang menyatakan bahwa peningkatan performa olahraga sangat bergantung pada kemampuan atlet dalam menghasilkan gaya yang besar dalam waktu singkat. Dalam aktivitas seperti sprint, lompat, dan lempar, percepatan awal menjadi faktor penentu keberhasilan, sehingga diperlukan produksi gaya yang maksimal terhadap permukaan.

Penerapan dalam Olahraga:

1. Tolak Peluru: Atlet memberikan gaya sebesar mungkin pada peluru (massa) agar menghasilkan percepatan yang tinggi dan jarak tolakan maksimal.



2. Lari Cepat: Pelari dengan massa otot yang lebih ringan dapat mencapai percepatan lebih cepat daripada yang lebih berat.



3. Melempar: Koordinasi otot bahu, lengan, dan inti tubuh (*core)* yang efisien menghasilkan gaya besar untuk melempar bola.



Menurut Roger Bartlett (2007), penerapan hukum Newton II sangat penting dalam menghubungkan konsep kekuatan (strength) dan daya (power) dalam olahraga. Daya merupakan hasil dari gaya yang diberikan dalam waktu tertentu, sehingga semakin besar gaya yang dihasilkan dalam waktu singkat, semakin besar pula percepatan yang dicapai.

Hukum Newton II juga berperan dalam proses deselerasi dan perubahan arah. Dalam olahraga seperti sepak bola atau bola basket, atlet harus mampu mengurangi kecepatan dan mengubah arah gerakan dengan cepat. Proses ini memerlukan gaya yang cukup besar untuk mengatasi momentum tubuh sebelumnya. Jika gaya yang dihasilkan tidak memadai, maka perubahan arah tidak akan efektif dan dapat meningkatkan risiko cedera. Efisiensi gerak hukum Newton II menekankan pentingnya koordinasi antara besar dan arah gaya. Atlet yang mampu mengarahkan gaya secara optimal akan menghasilkan percepatan yang maksimal dengan penggunaan energi yang efisien. Sebaliknya, gaya yang tidak terarah dengan baik dapat menyebabkan pemborosan energi dan penurunan performa. Hukum Newton II (akselerasi) memberikan pemahaman yang komprehensif tentang hubungan antara gaya, massa, dan percepatan dalam olahraga. Melalui pendekatan ini, pelatih dan atlet dapat merancang strategi latihan yang lebih efektif, meningkatkan kemampuan produksi gaya, serta mengoptimalkan teknik gerakan untuk mencapai performa maksimal secara ilmiah dan terukur.

c. Hukum Newton III (Aksi-Reaksi)

Hukum Newton III menyatakan bahwa setiap aksi akan menimbulkan reaksi yang sama besar dan berlawanan arah. Prinsip ini menegaskan bahwa gaya selalu muncul berpasangan: ketika suatu benda memberikan gaya pada benda lain, maka benda tersebut akan menerima gaya yang sama besar tetapi dengan arah yang berlawanan. Konsep ini dirumuskan oleh Isaac Newton dan menjadi dasar penting dalam memahami interaksi antara tubuh manusia dengan lingkungan dalam aktivitas olahraga. Dalam biomekanika olahraga, hukum aksi–reaksi sangat erat kaitannya dengan interaksi antara tubuh atlet dan permukaan atau objek di sekitarnya. Gaya yang dihasilkan oleh tubuh (aksi) akan menghasilkan respons dari lingkungan (reaksi), yang kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan gerakan. Tanpa adanya reaksi ini, tubuh tidak akan mampu bergerak secara efektif.

Menurut Peter McGinnis (2013), gaya aksi dan reaksi selalu bekerja pada dua objek yang berbeda, sehingga tidak saling meniadakan. Dalam konteks olahraga, hal ini berarti bahwa gaya yang diberikan atlet ke tanah akan menghasilkan gaya reaksi tanah (ground reaction force) yang bekerja pada tubuh atlet. Gaya reaksi inilah yang sebenarnya mendorong tubuh untuk bergerak, bukan gaya yang diberikan ke tanah.

Penerapan dalam Olahraga:

1. Lompat: Saat atlet melompat, ia mendorong tanah ke bawah (aksi), dan tanah memberikan gaya dorong ke atas (reaksi) yang mengangkat tubuh.



2. Renang: Perenang mendorong air ke belakang (aksi), dan air mendorong perenang ke depan (reaksi).



3. Lari: Sepatu lari memberikan gaya ke tanah (aksi), dan tanah memberikan gaya dorong ke depan pada pelari (reaksi/*Ground Reaction Force*)



Menurut Susan Hall (2014), hukum Newton III menjelaskan bahwa interaksi antara tubuh dan lingkungan merupakan kunci utama dalam menghasilkan gerakan. Dalam setiap aktivitas olahraga, tubuh tidak bekerja secara terisolasi, melainkan selalu berinteraksi dengan permukaan, alat, atau media lain yang menghasilkan gaya reaksi. Dalam olahraga seperti renang, prinsip aksi–reaksi juga sangat jelas terlihat. Ketika perenang mendorong air ke belakang dengan tangan dan kaki (aksi), air memberikan reaksi ke depan yang mendorong tubuh bergerak maju. Demikian pula dalam olahraga dayung, gaya yang diberikan pada air akan menghasilkan reaksi yang menggerakkan perahu ke depan. Menurut Roger Bartlett (2007), Pemahaman terhadap hukum aksi–reaksi sangat penting dalam mengoptimalkan teknik olahraga. Atlet yang mampu mengarahkan gaya aksi secara tepat akan memperoleh gaya reaksi yang optimal, sehingga gerakan menjadi lebih efektif dan efisien. Sebaliknya, jika gaya tidak diarahkan dengan benar, maka reaksi yang dihasilkan tidak akan memberikan kontribusi maksimal terhadap performa. Hukum Newton III juga berperan dalam menjaga keseimbangan dan stabilitas tubuh. Dalam aktivitas seperti berdiri, berjalan, atau melakukan gerakan dinamis, tubuh terus-menerus berinteraksi dengan permukaan melalui gaya aksi–reaksi. Pengaturan distribusi gaya ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan dan mencegah jatuh atau cedera.

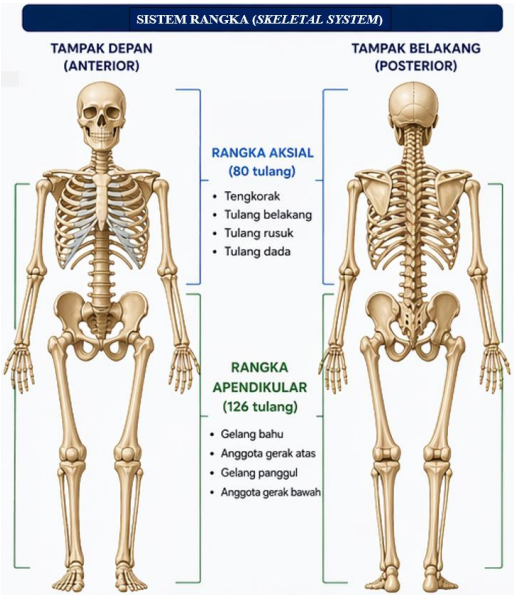
Dalam konteks pelatihan olahraga, prinsip aksi–reaksi digunakan untuk mengembangkan kemampuan atlet dalam menghasilkan gaya yang besar dan terarah. Latihan seperti plyometric dirancang untuk meningkatkan kemampuan otot dalam menghasilkan gaya terhadap permukaan, sehingga menghasilkan gaya reaksi yang lebih besar untuk meningkatkan daya ledak (*explosive power*). Hukum Newton III (aksi–reaksi) memberikan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana interaksi antara tubuh dan lingkungan menghasilkan gerakan. Dalam biomekanika olahraga, prinsip ini menjadi dasar dalam analisis teknik, peningkatan performa, serta pencegahan cedera. Pemahaman yang baik tentang hukum ini memungkinkan atlet dan pelatih untuk memanfaatkan gaya reaksi secara optimal guna mencapai hasil yang maksimal dalam berbagai aktivitas olahraga.

BAB 3

SISTEM MUSKULOSKELETAL: TULANG, SENDI, OTOT DAN PERAN BIOMEKANISNYA

A. TULANG (*SKELETAL SYSTEM*)

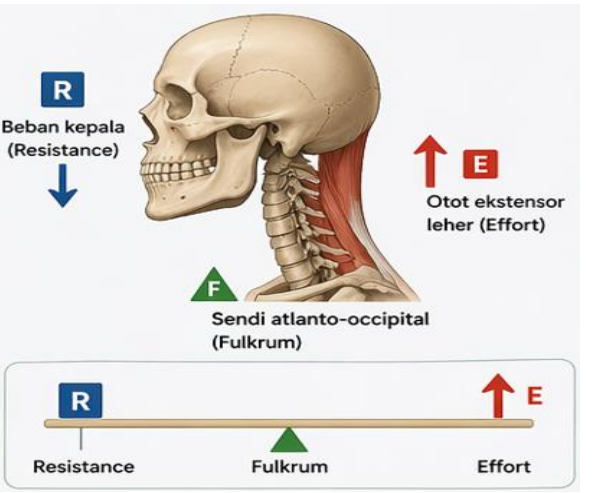
Sistem rangka (*skeletal system*) merupakan komponen utama dalam sistem muskuloskeletal yang berperan sebagai kerangka struktural tubuh manusia. Tulang tidak hanya berfungsi sebagai penopang tubuh, tetapi juga memiliki peran biomekanis yang sangat penting dalam menghasilkan, mentransmisikan, dan mengontrol gerakan. Dalam ilmu biomekanika olahraga, tulang dipandang sebagai struktur mekanis yang bekerja sama dengan otot dan sendi untuk menghasilkan gerakan yang efisien dan terkoordinasi.



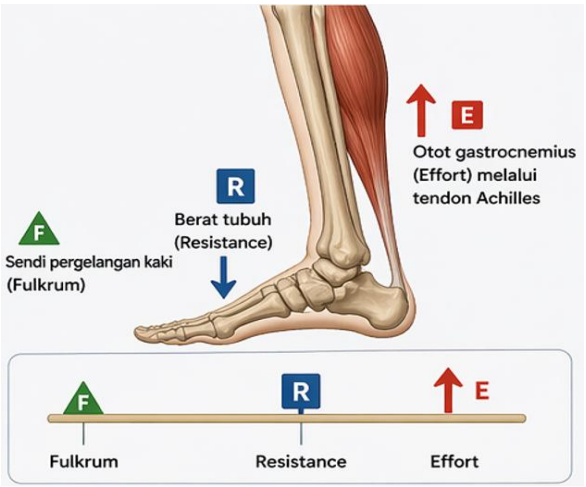
Secara umum sistem rangka manusia terdiri dari 206 tulang yang dibagi menjadi dua kelompok utama yaitu rangka aksial (80 tulang) sebagai pusat tubuh yang melindungi organ vital, dan rangka apendikular (126 tulang) sebagai anggota gerak. Rangka aksial meliputi tengkorak, tulang belakang, dan sangkar rusuk, sedangkan rangka apendikular terdiri dari tulang bahu, panggul, lengan, dan kaki. Tulang-tulang ini memiliki fungsi utama sebagai penopang (*support*), pelindung organ vital (*protection*), alat gerak pasif (*passive movement system*), tempat perlekatan otot (*muscle attachment*), serta sebagai tempat pembentukan sel darah (*hematopoiesis*). Dalam biomekanika, fungsi tulang sebagai alat gerak pasif menjadi fokus utama, karena tulang berperan sebagai tuas (*lever*) yang memungkinkan terjadinya gerakan ketika mendapat gaya dari kontraksi otot.

Tuas tubuh (lever) adalah sistem mekanis dalam tubuh manusia yang terbentuk dari kombinasi tulang, sendi, dan otot untuk menciptakan gerakan. Tulang berfungsi sebagai batang kaku, sendi sebagai titik tumpu (*fulcrum*), dan kontraksi otot menghasilkan gaya (*effort*) untuk menggerakkan beban (load). Sistem gerak manusia bekerja menggunakan tiga jenis tuas:

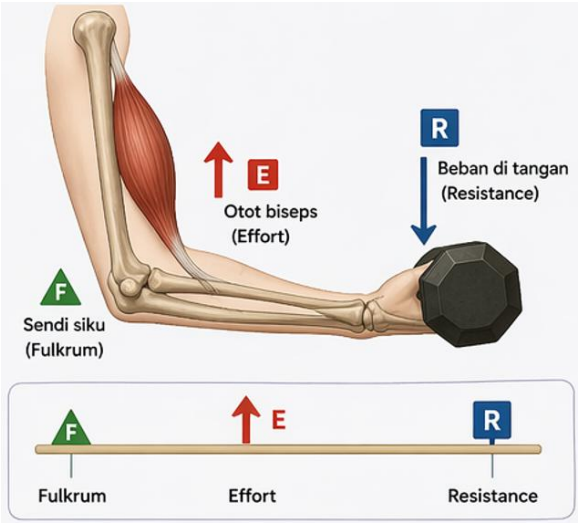
1. Tuas Kelas Pertama (*First-class*): Titik tumpu berada di antara gaya dan beban. Contoh: Sendi leher (*atlanto-oksipital*) saat menggerakkan kepala ke atas dan ke bawah. Otot leher menghasilkan gaya, sendi leher adalah tumpuannya, dan berat kepala di bagian depan adalah bebannya.



2. Tuas Kelas Kedua (*Second-class*): Beban berada di antara titik tumpu dan gaya. Contoh: Saat berjinjit, sendi bola kaki (*metatarsophalangeal*) adalah tumpuan, berat tubuh adalah beban, dan otot betis adalah gaya.

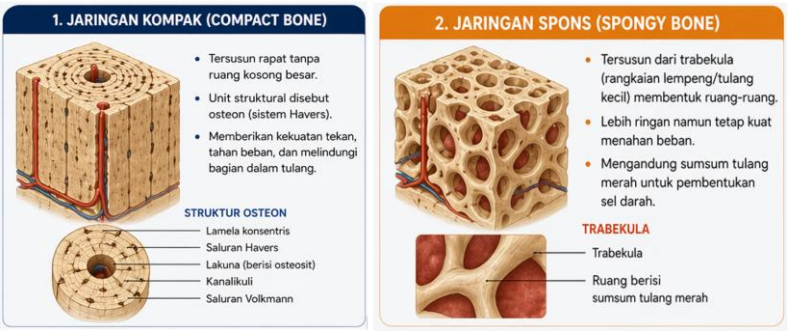


3. Tuas Kelas Ketiga (*Third-class*): Gaya diterapkan di antara titik tumpu dan beban. Ini adalah jenis tuas yang paling umum ditemukan di tubuh manusia. Contoh: Sendi siku saat mengangkat beban. Siku adalah tumpuan, otot bisep memberikan gaya di antara siku dan beban (misalnya tangan yang memegang *Dumbbell*)



Sistem tuas ini memungkinkan tubuh manusia menghasilkan berbagai jenis gerakan dengan efisiensi yang tinggi. Berdasarkan posisi ketiga komponen tersebut, sistem tuas dalam tubuh manusia dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu tuas kelas I, II, dan III. Sebagian besar gerakan dalam tubuh manusia menggunakan tuas kelas III, yang memungkinkan gerakan cepat dan luas, meskipun membutuhkan gaya yang lebih besar. Menurut Peter McGinnis (2013), tulang tidak hanya berfungsi sebagai tuas, tetapi juga sebagai struktur yang mampu menahan berbagai jenis gaya, seperti gaya tekan (*compression*), tarik (*tension*), geser (*shear)*, dan torsi (*torsion*). Kemampuan tulang dalam menahan gaya-gaya tersebut sangat penting dalam aktivitas olahraga yang melibatkan beban tinggi, seperti lari, lompat, dan angkat beban. Struktur tulang juga memiliki karakteristik biomekanis yang unik.

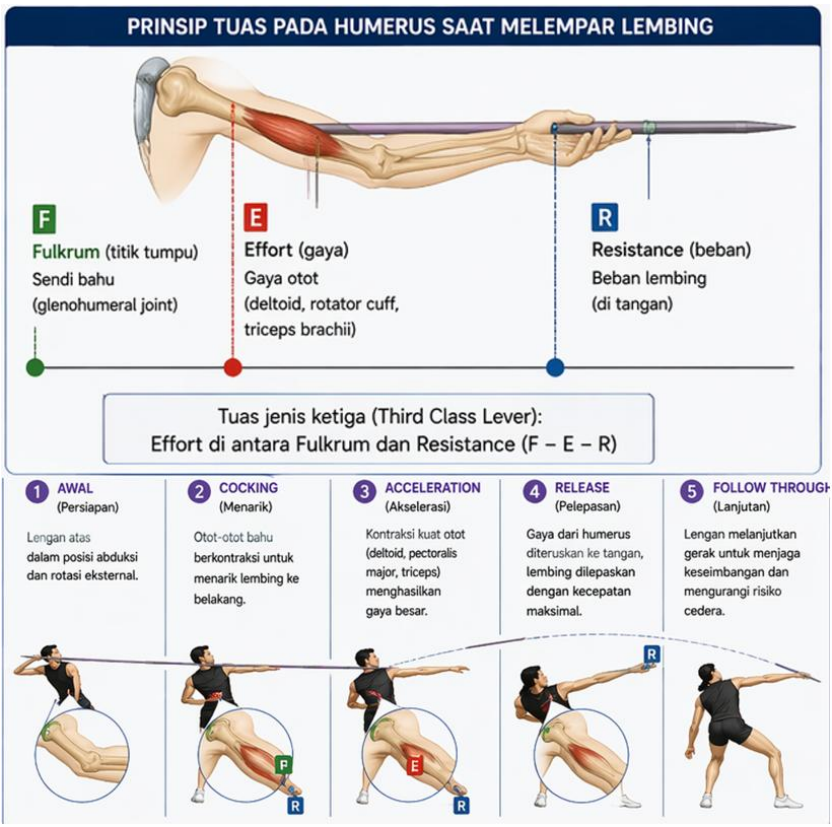
Tulang terdiri dari jaringan kompak (*compact bone*) dan jaringan spons (*spongy bone*) yang memungkinkan kombinasi antara kekuatan dan ringan. Struktur ini memungkinkan tulang untuk menahan beban tanpa menambah massa tubuh secara berlebihan, sehingga mendukung efisiensi gerakan.



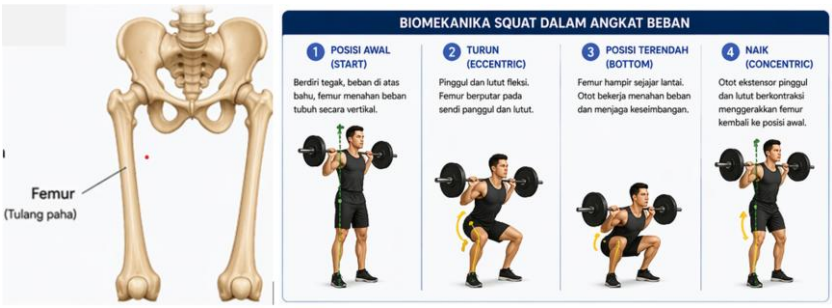
Tulang berperan dalam menentukan pola dan kualitas gerakan. Misalnya, panjang tulang tungkai dapat memengaruhi panjang langkah dalam lari, sedangkan struktur tulang lengan memengaruhi jangkauan dan kekuatan pukulan dalam olahraga seperti bola voli atau tenis. Hal ini menunjukkan bahwa faktor anatomi memiliki pengaruh langsung terhadap performa biomekanis atlet. Menurut Roger Bartlett (2007), variasi struktur tulang antar individu dapat memengaruhi teknik dan strategi dalam olahraga.

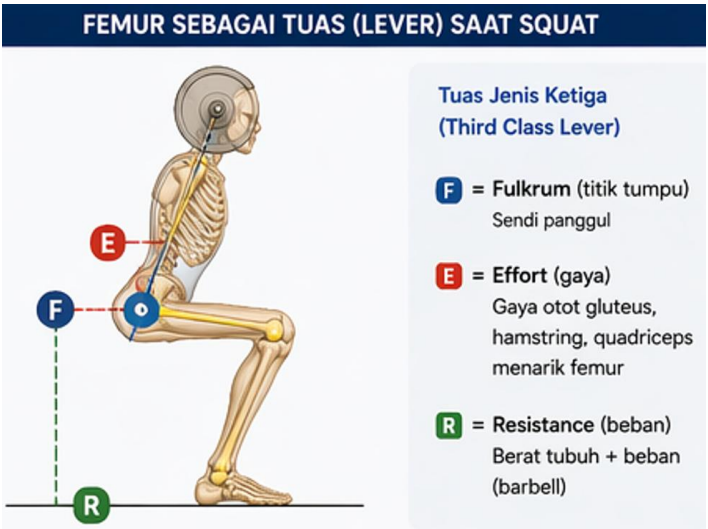
Penerapan dalam Olahraga:

1. Tulang Humerus (lengan atas) berperan sebagai tuas saat atlet melakukan gerakan melempar lembing.



2. Tulang Femur mendukung postur tubuh dan membantu gerakan squat dalam angkat beban.





Oleh karena itu, pemahaman tentang karakteristik tulang sangat penting dalam merancang program latihan yang sesuai dengan kondisi individu atlet. Selain peran dalam performa, tulang juga berperan penting dalam pencegahan cedera. Tulang yang kuat dan sehat mampu menahan beban mekanik yang tinggi tanpa mengalami kerusakan. Namun, jika beban yang diterima melebihi kapasitas tulang, maka dapat terjadi cedera seperti fraktur atau stres fraktur. Oleh karena itu, penting untuk menjaga kesehatan tulang melalui latihan yang tepat, nutrisi yang cukup, serta pengelolaan beban latihan yang baik.

Dalam biomekanika olahraga modern, analisis terhadap tulang juga melibatkan penggunaan teknologi, seperti pencitraan medis (*medical imaging*) dan pemodelan komputer. Teknologi ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap distribusi gaya dan stres pada tulang selama aktivitas olahraga. Dengan demikian, pelatih dan peneliti dapat mengidentifikasi potensi risiko cedera serta mengembangkan strategi pencegahan yang lebih efektif. Dengan demikian, sistem rangka merupakan komponen fundamental dalam biomekanika olahraga yang berperan sebagai struktur penopang sekaligus alat gerak pasif. Tulang berfungsi sebagai tuas yang mentransmisikan gaya dari otot, menahan berbagai beban mekanik, serta menentukan pola dan efisiensi gerakan. Pemahaman yang mendalam tentang sistem tulang sangat penting dalam meningkatkan performa atlet, merancang program latihan yang efektif, serta mencegah cedera melalui pendekatan ilmiah dan terukur.

B. SENDI (*JOINTS*)

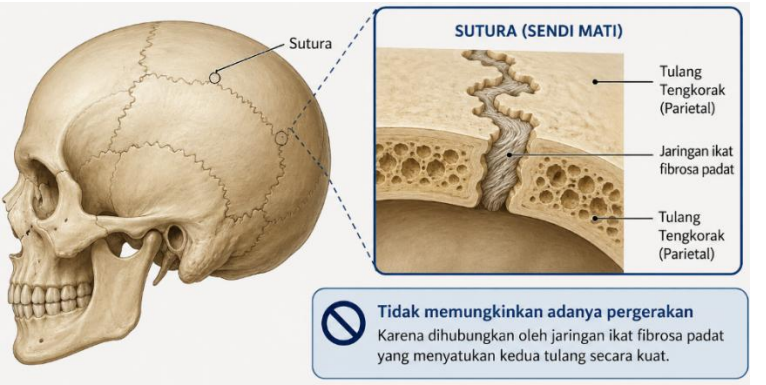
Sendi (*joints*) merupakan struktur anatomi yang menghubungkan dua atau lebih tulang dalam tubuh manusia, yang memungkinkan terjadinya gerakan sekaligus memberikan stabilitas pada sistem rangka. Sendi-sendi dalam tubuh manusia diklasifikasikan berdasarkan kemampuan geraknya. Klasifikasi ini membantu kita memahami fungsi spesifik setiap sendi dalam mendukung mobilitas tubuh. Total sendi berkisar antara 250 hingga 350, dengan angka 360 sering dijadikan rujukan dalam berbagai literatur ilmiah. Dalam biomekanika olahraga, sendi memiliki peran yang sangat penting karena menjadi titik pusat pergerakan (*axis of motion*) di mana tulang-tulang berfungsi sebagai tuas dan otot sebagai penggerak. Tanpa adanya sendi, tubuh manusia tidak akan mampu melakukan gerakan yang kompleks dan terkoordinasi.

Secara umum sendi tidak hanya berfungsi sebagai penghubung antar tulang, tetapi juga sebagai sistem mekanis yang mengatur arah, luas, dan jenis gerakan yang dapat dilakukan oleh tubuh. Menurut Susan Hall (2014), sendi merupakan struktur yang memungkinkan gerakan relatif antar segmen tubuh sekaligus menjaga kestabilan selama aktivitas statis maupun dinamis. Hal ini menunjukkan bahwa sendi memiliki dua fungsi utama yang saling melengkapi, yaitu mobilitas dan stabilitas.

Sendi sering dianalogikan sebagai titik tumpu (fulcrum) dalam sistem tuas tubuh manusia. Posisi dan jenis sendi sangat menentukan pola gerakan yang dihasilkan. Sebagai contoh, sendi lutut memungkinkan gerakan fleksi dan ekstensi yang penting dalam aktivitas seperti berjalan, berlari, dan melompat, sedangkan sendi bahu memiliki rentang gerak yang lebih luas sehingga memungkinkan gerakan rotasi dan ayunan yang kompleks. Menurut Peter McGinnis (2013), sendi berperan sebagai komponen kunci dalam mentransmisikan gaya dari otot ke tulang, sehingga menghasilkan gerakan yang terarah dan efisien. Ia juga menekankan bahwa karakteristik mekanis sendi, seperti stabilitas dan rentang gerak (*range of motion*), sangat memengaruhi performa gerakan dalam olahraga.

Berdasarkan struktur dan tingkat pergerakannya, sendi diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama: Sendi Mati (*Sinartrosis*) yang tidak memungkinkan gerakan, Sendi Kaku (*Amfiartrosis*) yang memungkinkan gerakan terbatas, dan Sendi Gerak (*Diartrosis*) yang memungkinkan pergerakan leluasa. Berikut adalah rincian ketiganya:

1. Sendi Mati (*Sinartrosis*): Sendi yang dihubungkan oleh jaringan ikat fibrosa padat dan tidak memungkinkan adanya pergerakan. Contoh: Sutura pada tulang tengkorak.



2. Sendi Kaku (*Amfiartrosis*): Sendi yang dihubungkan oleh tulang rawan dan memungkinkan sedikit pergerakan (terbatas). Contoh: Sendi antarruas tulang belakang dan sendi simfisis pubis.



3. Sendi Gerak (*Diartrosis*): Sendi yang memiliki rongga sendi dan cairan sinovial, memungkinkan gerakan bebas ke satu atau lebih arah. Contoh: Sendi engsel (siku/lutut), sendi peluru (bahu/pinggul), dan sendi putar.



a. Sendi sinovial (diartrosis)

Dalam biomekanika olahraga, sendi (*Diartrosis*) berperan sebagai titik tumpu (*fulcrum*) dalam sistem tuas tubuh yang memungkinkan gerakan, stabilitas, dan transfer gaya saat beraktivitas fisik. Sendi sinovial (*diartrosis*) adalah jenis sendi yang paling penting dalam gerakan olahraga karena memberikan ruang gerak bebas. Sendi sinovial merupakan jenis sendi yang paling penting dalam biomekanika olahraga karena memiliki struktur yang kompleks, terdiri dari kapsul sendi, cairan sinovial, ligamen, dan tulang rawan (*cartilage*). Struktur ini memungkinkan gerakan yang halus sekaligus mengurangi gesekan antar tulang. Sendi sinovial dapat dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan bentuk dan arah gerakannya, seperti sendi engsel (hinge joint), sendi peluru (ball and socket joint), dan sendi putar (pivot joint). Masing-masing tipe sendi memiliki karakteristik gerakan yang berbeda dan berkontribusi pada variasi gerakan dalam olahraga.

1. Sendi Engsel (Hinge Joint)

Sendi engsel (hinge joint) merupakan jenis sendi sinovial yang memungkinkan gerakan satu arah, yaitu gerakan fleksi (menekuk) dan ekstensi (meluruskan), menyerupai mekanisme engsel pada pintu. Sendi ini memiliki struktur yang relatif stabil karena gerakannya terbatas hanya pada satu bidang (sagital), sehingga risiko pergeseran relatif kecil dibandingkan sendi dengan mobilitas tinggi. Secara anatomi, sendi engsel tersusun dari ujung tulang yang berbentuk seperti silinder yang masuk ke dalam lekukan tulang lain, diperkuat oleh ligamen yang menjaga kestabilan gerakan. Contoh utama sendi engsel dalam tubuh manusia adalah sendi siku dan sendi lutut.

Fungsi utama sendi engsel adalah sebagai penghasil gerakan dasar yang kuat dan terarah, terutama dalam aktivitas yang membutuhkan kekuatan dan stabilitas. Misalnya, pada gerakan lari dan lompat, sendi lutut berperan penting dalam fase tolakan dan pendaratan. Kemampuan sendi ini untuk menghasilkan gerakan yang stabil sangat mendukung efisiensi transfer gaya dari otot ke tulang. Menurut Susan Hall (2014), sendi engsel berperan penting dalam menghasilkan gerakan linear yang efisien karena keterbatasan arah geraknya memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap gaya. Dengan demikian, sendi ini sangat penting dalam aktivitas olahraga yang membutuhkan kekuatan, kestabilan, dan kontrol gerakan yang tinggi.



2. Sendi Peluru (*Ball and Socket Joint*)

Sendi peluru (*ball and socket joint*) merupakan jenis sendi sinovial yang memiliki tingkat mobilitas paling tinggi dibandingkan jenis sendi lainnya. Sendi ini memungkinkan gerakan ke berbagai arah, termasuk fleksi, ekstensi, abduksi, adduksi, rotasi, serta gerakan sirkumduksi (gerakan melingkar).



Secara struktur, sendi ini terdiri dari ujung tulang berbentuk bulat (ball) yang masuk ke dalam rongga berbentuk cekung (socket) pada tulang lain. Contoh utama sendi peluru dalam tubuh manusia adalah sendi bahu dan sendi panggul. Fungsi utama sendi peluru adalah memberikan fleksibilitas dan kebebasan gerak yang luas. Hal ini sangat penting dalam olahraga yang membutuhkan variasi gerakan kompleks, seperti bola voli, tenis, dan renang. Sebagai contoh, sendi bahu memungkinkan atlet melakukan ayunan lengan dengan berbagai arah saat melakukan spike atau servis. Namun, tingkat mobilitas yang tinggi pada sendi peluru juga menyebabkan tingkat stabilitasnya relatif lebih rendah dibandingkan sendi engsel. Oleh karena itu,

sendi ini sangat bergantung pada otot dan ligamen di sekitarnya untuk menjaga kestabilan. Menurut Peter McGinnis (2013), sendi peluru memungkinkan produksi gerakan dengan jangkauan luas, tetapi memerlukan kontrol neuromuskular yang baik untuk menjaga keseimbangan antara mobilitas dan stabilitas. Dengan demikian, sendi ini sangat penting dalam olahraga yang menuntut koordinasi gerakan yang kompleks dan dinamis.

3. Sendi Putar (*Pivot Joint*)



Sendi putar (pivot joint) merupakan jenis sendi sinovial yang memungkinkan gerakan rotasi pada satu sumbu. Pada sendi ini, satu tulang berputar mengelilingi tulang lain yang berfungsi sebagai poros. Gerakan yang dihasilkan biasanya berupa rotasi, baik ke arah dalam maupun ke arah luar. Contoh sendi putar dalam tubuh manusia adalah sendi antara tulang atlas dan axis pada leher, yang memungkinkan kepala berputar ke kiri dan ke kanan, serta sendi radioulnar pada lengan bawah yang memungkinkan gerakan pronasi dan supinasi (memutar telapak tangan ke atas dan ke bawah).

Sendi putar memiliki fungsi penting dalam menghasilkan gerakan rotasi yang diperlukan dalam berbagai aktivitas, seperti memutar tubuh saat melempar, mengayunkan raket, atau melakukan gerakan putaran dalam olahraga bela diri. Gerakan rotasi ini sering kali menjadi kunci dalam menghasilkan kecepatan dan kekuatan tambahan melalui transfer energi antar segmen tubuh. Menurut Roger Bartlett (2007), sendi putar memainkan peran penting dalam rantai gerak (kinetic chain), terutama dalam mentransfer momentum dari satu segmen tubuh ke segmen lainnya. Dengan demikian, efisiensi gerakan rotasi sangat bergantung pada koordinasi yang baik antar sendi.

Dalam konteks olahraga, sendi berperan penting dalam menentukan kualitas teknik gerakan. Rentang gerak yang optimal memungkinkan atlet melakukan gerakan dengan lebih efisien dan efektif. Sebaliknya, keterbatasan atau ketidakstabilan sendi dapat mengganggu performa dan meningkatkan risiko cedera. Menurut Roger Bartlett (2007), pemahaman tentang fungsi dan karakteristik sendi sangat penting dalam analisis teknik olahraga, karena setiap gerakan melibatkan koordinasi berbagai sendi

dalam satu rantai gerak (kinetic chain). Oleh karena itu, pelatih dan atlet perlu memahami bagaimana sendi bekerja agar dapat mengoptimalkan performa dan menghindari cedera.

C. OTOT (*MUSCULAR SYSTEM*)

Otot (*muscle system*) merupakan komponen aktif dalam sistem muskuloskeletal yang berperan sebagai penghasil gaya utama untuk menghasilkan gerakan tubuh manusia. Berbeda dengan tulang yang bersifat pasif, otot memiliki kemampuan untuk berkontraksi dan berelaksasi, sehingga mampu menarik tulang melalui tendon dan menghasilkan pergerakan pada sendi. Dalam konteks biomekanika olahraga, otot dipandang sebagai "motor penggerak" yang mengubah energi kimia menjadi energi mekanik berupa gaya dan gerakan.Otot bekerja melalui mekanisme kontraksi serabut otot yang dipicu oleh impuls saraf. Proses ini menghasilkan tegangan (tension) yang kemudian ditransmisikan ke tulang melalui tendon, sehingga menciptakan gerakan. Menurut Susan Hall (2014), otot merupakan struktur yang mampu menghasilkan gaya internal yang diperlukan untuk menggerakkan dan menstabilkan tubuh selama aktivitas fisik. Jumlah otot dalam tubuh manusia tidak memiliki angka tunggal yang benar-benar pasti, karena bergantung pada metode klasifikasi dan definisi yang digunakan oleh para ahli. Namun, secara umum dalam literatur anatomi dan biomekanika, jumlah otot rangka (*skeletal muscles*) pada manusia diperkirakan berkisar antara 600 hingga lebih dari 650 otot.

a. Fungsi otot

Sistem otot (*muscle system*) memiliki peran yang sangat vital dalam tubuh manusia, khususnya dalam konteks biomekanika olahraga. Otot tidak hanya berfungsi sebagai penggerak utama, tetapi juga berperan dalam menjaga stabilitas, mengontrol gerakan, serta melindungi struktur tubuh dari cedera. Sebagai komponen aktif dalam sistem muskuloskeletal, otot bekerja melalui kontraksi untuk menghasilkan gaya yang kemudian digunakan untuk menggerakkan tulang melalui sendi. Menurut Susan Hall (2014), fungsi utama otot adalah menghasilkan gaya (*force*) yang diperlukan untuk menciptakan gerakan dan mempertahankan posisi tubuh. Namun, dalam praktiknya, fungsi otot jauh lebih kompleks dan melibatkan berbagai peran biomekanis yang saling terintegrasi.

1. Penghasil Gerakan (Movement Production)
   Fungsi utama otot adalah menghasilkan gerakan melalui kontraksi. Ketika otot berkontraksi, ia menarik tulang yang terhubung melalui tendon, sehingga terjadi pergerakan pada sendi. Dalam olahraga, fungsi

ini terlihat pada semua aktivitas seperti berlari, melompat, melempar, dan memukul. Otot yang berperan sebagai penggerak utama disebut agonist atau prime mover.

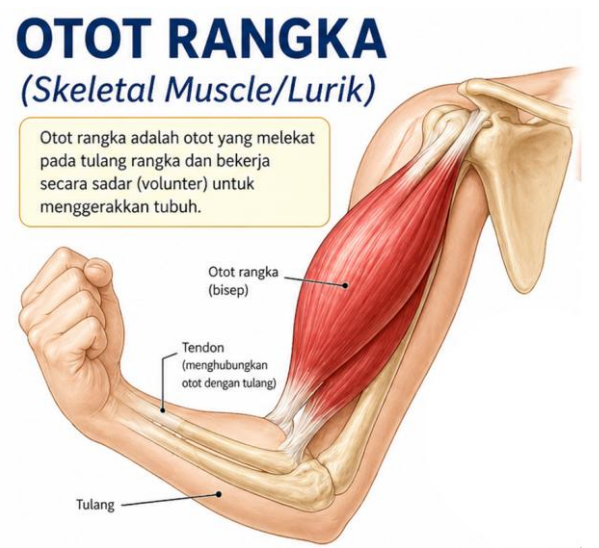
2. Menjaga Stabilitas Sendi (Joint Stabilization)
   Selain menghasilkan gerakan, otot juga berfungsi menjaga kestabilan sendi. Otot-otot di sekitar sendi bekerja untuk mempertahankan posisi sendi agar tetap stabil selama aktivitas statis maupun dinamis. Fungsi ini sangat penting dalam mencegah terjadinya pergeseran sendi yang dapat menyebabkan cedera. Menurut Peter McGinnis (2013), stabilitas sendi sangat bergantung pada koordinasi otot di sekitarnya, terutama dalam aktivitas yang melibatkan beban tinggi atau perubahan arah yang cepat.
3. Mengontrol Gerakan (Control of Movement)
   Otot tidak hanya menghasilkan gerakan, tetapi juga mengontrol kecepatan, arah, dan ketepatan gerakan. Otot antagonis bekerja untuk memperlambat atau menghentikan gerakan yang dihasilkan oleh otot agonis, sehingga gerakan menjadi lebih halus dan terkoordinasi. Fungsi ini sangat penting dalam olahraga yang membutuhkan presisi tinggi, seperti senam, tenis, dan bola voli.
4. Menjaga Postur Tubuh (Postural Support)
   Otot berperan dalam mempertahankan postur tubuh, baik dalam keadaan diam maupun saat bergerak. Otot-otot postural bekerja secara terus-menerus untuk menjaga keseimbangan dan posisi tubuh terhadap gaya gravitasi. Tanpa fungsi ini, tubuh akan sulit mempertahankan posisi tegak atau stabil.
5. Menyerap dan Meredam Gaya (*Shock Absorption*)
   Dalam aktivitas olahraga, tubuh sering menerima beban atau benturan, seperti saat mendarat setelah melompat. Otot berfungsi sebagai penyerap gaya yang membantu mengurangi dampak benturan pada tulang dan sendi. Fungsi ini sangat penting dalam mencegah cedera akibat beban berlebih. Menurut Roger Bartlett (2007), kemampuan otot dalam menyerap gaya sangat menentukan keamanan dan efisiensi gerakan dalam olahraga.
6. Menghasilkan Daya (*Power Production*)
   Dalam biomekanika olahraga, otot juga berfungsi menghasilkan daya (power), yaitu kemampuan menghasilkan gaya dalam waktu singkat. Daya sangat penting dalam aktivitas eksplosif seperti sprint, lompat, dan lempar. Semakin cepat dan kuat kontraksi otot, semakin besar daya yang dihasilkan.

7. Mendukung Sirkulasi dan Metabolisme
   Selain fungsi biomekanis, otot juga berperan dalam membantu sirkulasi darah dan proses metabolisme tubuh. Kontraksi otot membantu mendorong aliran darah kembali ke jantung, serta berkontribusi dalam produksi panas tubuh (thermoregulation).

b. Jenis Otot

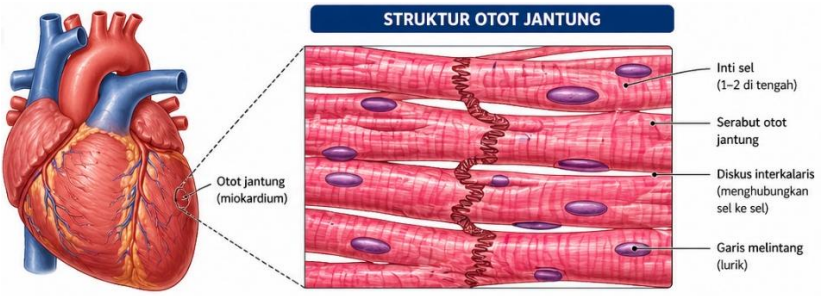
Dalam biomekanika olahraga sistem otot manusia dibagi menjadi tiga jenis utama berdasarkan karakteristik morfologi (struktur) dan fungsionalnya (bagaimana mereka berkontraksi dan menghasilkan gerakan). Ketiga jenis otot tersebut adalah :

1. Otot Rangka (Skeletal Muscle/Lurik)
   Karakteristik: Otot ini menempel pada rangka tulang, berbentuk lurik (bergaris-garis), dan dikendalikan secara sadar (voluntary).



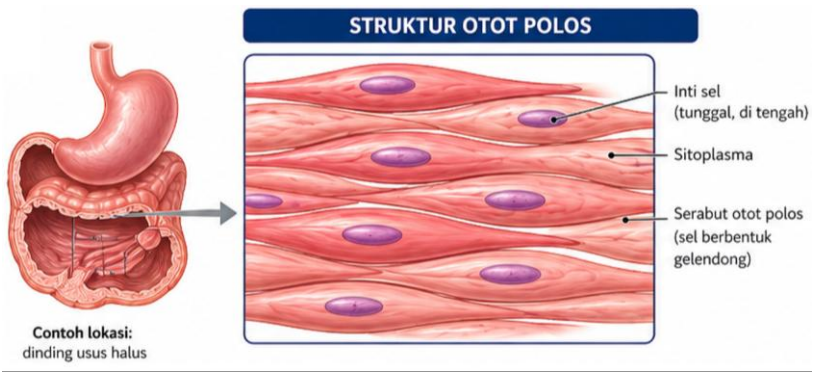
   Fungsi Biomekanika: Bertanggung jawab atas pergerakan tubuh, stabilitas sendi, dan postur. Dalam olahraga, otot rangka bekerja menghasilkan gaya mekanis untuk memindahkan tulang pada sendi. Tipe Serat: Terbagi menjadi tipe I (lambat/*slow twitch*) untuk ketahanan dan tipe II (cepat/fast twitch) untuk daya ledak.

2. Otot Jantung (*Cardiac Muscle*)
   Karakteristik: Otot ini membentuk dinding jantung, berbentuk lurik seperti otot rangka namun berinti satu atau dua di tengah, dan bekerja secara tidak sadar (*involuntary*).



   Fungsi Biomekanika: Memompa darah ke seluruh tubuh tanpa henti, memastikan aliran oksigen dan nutrisi yang dibutuhkan otot rangka saat berolahraga.

3. Otot Polos (*Smooth Muscle*)
   Karakteristik: Otot yang ditemukan di dinding organ dalam (seperti lambung, pembuluh darah, usus), berbentuk gelendong, dan bekerja secara tidak sadar (*involuntary*).

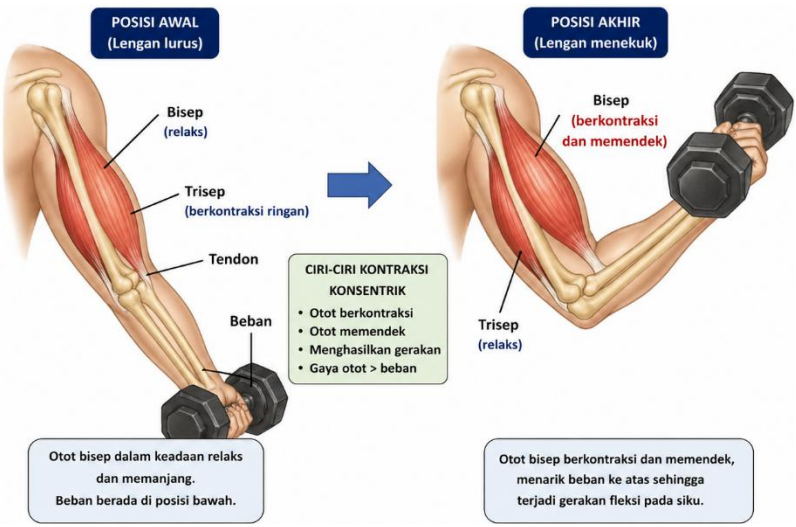


   Fungsi Biomekanika: Mengatur gerakan organ dalam, seperti mengatur aliran darah dengan menyempitkan atau melebarkan pembuluh darah, dan memfasilitasi pergerakan makanan/zat di dalam tubuh

c. Jenis Kontraksi Otot

Kontraksi otot merupakan mekanisme utama yang memungkinkan terjadinya gerakan. Kontraksi otot adalah proses ketika serabut otot menghasilkan tegangan (tension) sebagai respons terhadap rangsangan saraf. Berdasarkan perubahan panjang otot selama menghasilkan gaya, kontraksi otot dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu kontraksi konsentrik, eksentrik, dan isometrik.

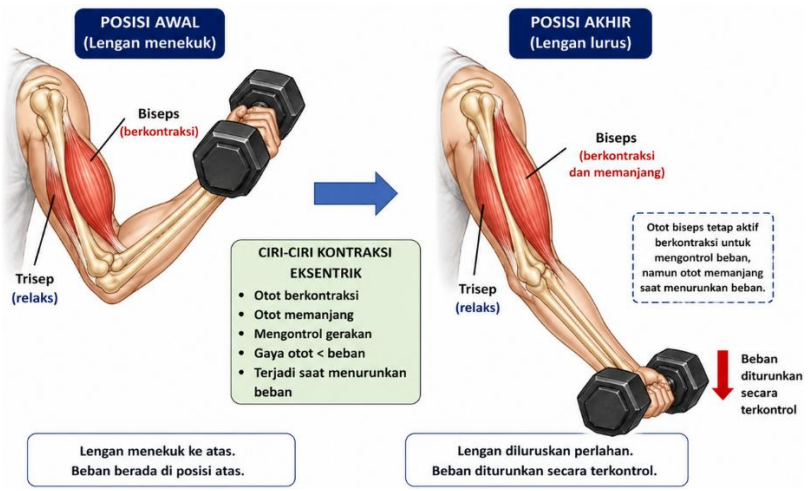
1. Kontraksi Konsentrik (*Concentric Contraction*)
   Kontraksi konsentrik terjadi ketika otot berkontraksi sambil memendek. Pada jenis kontraksi ini, gaya yang dihasilkan oleh otot lebih besar daripada beban yang dihadapi, sehingga terjadi pergerakan segmen tubuh.



   Dalam olahraga kontraksi konsentrik berperan dalam menghasilkan gerakan aktif, seperti saat mengangkat beban, melompat, atau mendorong tubuh ke depan saat berlari. Misalnya, pada gerakan mengangkat dumbbell, otot bisep berkontraksi secara konsentrik untuk mengangkat lengan. Menurut Susan Hall (2014), kontraksi konsentrik merupakan bentuk kontraksi yang paling umum dalam aktivitas dinamis karena menghasilkan percepatan gerakan.

2. Kontraksi Eksentrik (*Eccentric Contraction*)
   Kontraksi eksentrik terjadi ketika otot tetap berkontraksi tetapi mengalami pemanjangan. Hal ini terjadi karena beban yang diterima lebih besar daripada gaya yang dihasilkan oleh otot, sehingga otot

berfungsi untuk mengontrol atau menahan gerakan. Kontraksi eksentrik sangat penting dalam fase deselerasi, seperti saat mendarat setelah melompat atau menurunkan beban. Misalnya, pada saat menurunkan dumbbell, otot bisep tetap aktif tetapi memanjang untuk mengontrol gerakan agar tidak jatuh secara tiba-tiba. Menurut Peter McGinnis (2013), kontraksi eksentrik memiliki peran penting dalam menyerap gaya dan melindungi sendi dari cedera, karena mampu mengontrol gerakan dengan lebih efektif.



3. Kontraksi Isometrik (*Isometric Contraction*)
   Kontraksi isometrik terjadi ketika otot menghasilkan gaya tanpa mengalami perubahan panjang. Pada kondisi ini, tidak terjadi pergerakan pada sendi, tetapi otot tetap aktif untuk mempertahankan posisi.



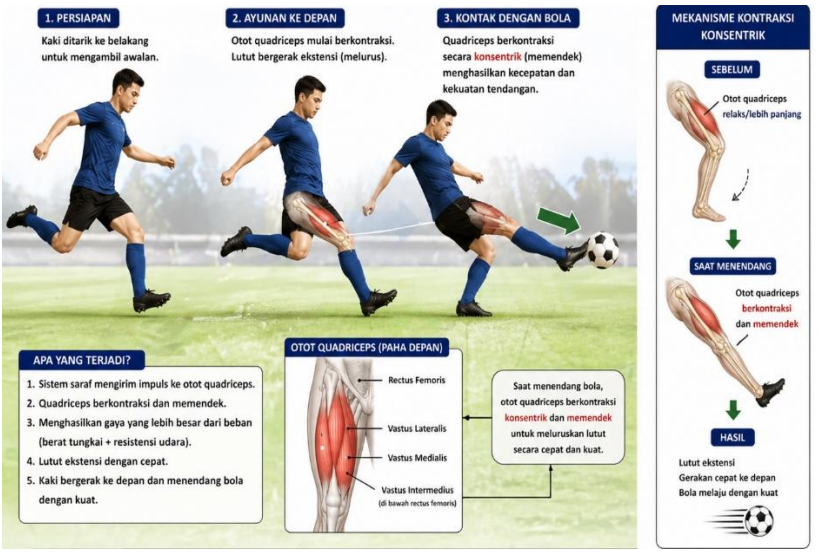
Kontraksi isometrik berperan dalam menjaga stabilitas dan postur tubuh. Contohnya adalah saat menahan posisi plank atau mempertahankan posisi tubuh sebelum melakukan gerakan eksplosif. Menurut Roger Bartlett (2007), kontraksi isometrik sangat penting dalam menjaga keseimbangan dan stabilitas tubuh, terutama dalam aktivitas yang membutuhkan kontrol posisi yang tinggi.

d. Penerapan dalam olahraga

Berikut adalah penerapan kontraksi otot dalam olahraga :

1. Kontraksi Konsentrik pada Otot *Quadriceps* saat Menendang Bola.

Pada saat pemain sepak bola melakukan tendangan, otot *quadriceps* (otot paha depan) berperan sebagai *prime mover* yang menghasilkan gerakan ekstensi pada sendi lutut. Ketika kaki diayunkan ke depan untuk menendang bola, otot *quadriceps* mengalami kontraksi konsentrik, yaitu berkontraksi sambil memendek.



Secara biomekanis kontraksi ini terjadi karena otot menghasilkan gaya yang lebih besar dibandingkan beban yang dihadapi (massa tungkai dan resistensi udara). Akibatnya, terjadi percepatan pada segmen tungkai bawah sehingga kaki dapat bergerak cepat ke arah bola. Penerapan prinsip ini sangat penting dalam olahraga sepak bola karena:

- Menentukan kecepatan tendangan
- Mempengaruhi kekuatan dan jarak bola

- Berkontribusi pada akurasi gerakan

2. Kontraksi Eksentrik pada Otot Hamstring saat Sprint (Deselerasi)
   Pada saat atlet sprint melakukan perlambatan langkah atau mengontrol gerakan kaki setelah fase ayunan ke depan, otot hamstring (otot paha belakang) bekerja secara eksentrik, yaitu berkontraksi sambil memanjang.
   Hamstring berfungsi untuk:
   - Mengontrol ekstensi lutut yang terlalu cepat
   - Menahan gerakan agar tidak terjadi cedera
   - Menstabilkan sendi saat kaki akan menyentuh tanah



   Dalam konteks sprint fungsi ini sangat krusial karena:
   - Mengurangi risiko cedera hamstring
   - Mengontrol kecepatan langkah
   - Menjaga koordinasi gerakan

D. PERAN BIOMEKANIS SISTEM MUSKULOSKELETAL

Sistem muskuloskeletal, yang terdiri dari tulang, sendi, dan otot, memiliki peran biomekanis yang sangat fundamental dalam menghasilkan, mengontrol, dan mengoptimalkan gerakan manusia. Bidang ini mempelajari mekanika sendi, otot, tulang, tendon, dan ligamen untuk memahami fungsi gerak sehari-hari, rehabilitasi klinis, serta meningkatkan efisiensi atletik. Sistem ini bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi untuk menghasilkan gerakan yang efisien, kuat, dan terkoordinasi. Tanpa sinergi antara ketiga komponen tersebut, tubuh tidak akan mampu melakukan aktivitas fisik secara optimal. Secara biomekanis tulang berfungsi sebagai

alat gerak pasif yang bertindak sebagai tuas (*lever*), sendi sebagai titik tumpu (*fulcrum*), dan otot sebagai penghasil gaya (*force*). Interaksi ketiga komponen ini membentuk sistem tuas biologis yang memungkinkan tubuh menghasilkan berbagai jenis gerakan, mulai dari gerakan sederhana hingga gerakan kompleks dalam olahraga.

Biomekanika sistem muskuloskeletal berperan penting dalam menganalisis gaya fisik yang bekerja pada tubuh, mengoptimalkan kinerja gerakan, dan mencegah cedera. Menurut Peter McGinnis (2013), sistem muskuloskeletal berperan dalam mentransmisikan gaya dari otot ke lingkungan sehingga menghasilkan gerakan yang terarah dan efektif.

Berikut adalah peran utama biomekanika sistem muskuloskeletal:

1. Analisis Gerakan dan Fungsi

Analisis gerakan dan fungsi merupakan salah satu peran utama biomekanika dalam memahami bagaimana tubuh manusia bergerak berdasarkan prinsip-prinsip mekanika. Dalam konteks sistem muskuloskeletal, analisis ini berfokus pada interaksi antara tulang, sendi, dan otot dalam menghasilkan gerakan seperti berjalan, berlari, melompat, dan mengangkat beban. Biomekanika menggunakan pendekatan ilmiah untuk mengkaji bagaimana gaya bekerja pada tubuh serta bagaimana tubuh merespons gaya tersebut melalui gerakan yang terkoordinasi. Analisis gerakan melibatkan dua aspek utama, yaitu kinematika (deskripsi gerakan tanpa memperhatikan penyebabnya) dan kinetika (analisis gaya yang menyebabkan gerakan). Kinematika mencakup variabel seperti kecepatan, percepatan, sudut sendi, dan lintasan gerak, sedangkan kinetika mencakup gaya otot, gaya reaksi tanah, dan momen gaya.

Dalam aktivitas sehari-hari seperti berjalan, sistem muskuloskeletal bekerja secara efisien melalui koordinasi berbagai segmen tubuh. Misalnya, saat berjalan, terdapat fase tumpuan dan fase ayunan yang melibatkan kerja otot secara bergantian. Analisis biomekanika memungkinkan identifikasi pola gerakan normal maupun abnormal, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi gerakan. Analisis gerakan memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan performa. Sebagai contoh, dalam lari sprint, analisis sudut lutut, panjang langkah, dan frekuensi langkah dapat membantu pelatih mengidentifikasi teknik yang paling optimal. Menurut Susan Hall (2014), pemahaman tentang pola gerakan memungkinkan perbaikan teknik yang lebih efektif dan berbasis data.

Teknologi modern seperti motion capture dan analisis video digital memungkinkan pengukuran gerakan secara akurat dan objektif. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengevaluasi performa atlet dan

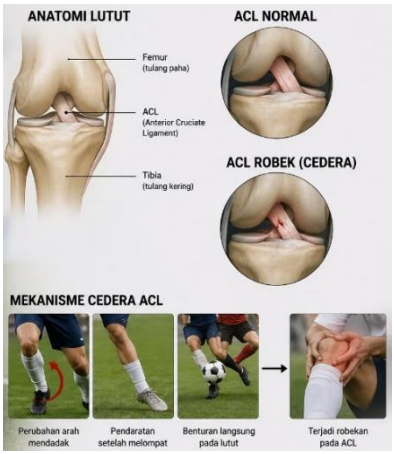
merancang program latihan yang lebih spesifik. Dengan demikian analisis gerakan dan fungsi dalam biomekanika memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana tubuh bekerja secara mekanis, sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan keamanan gerakan dalam berbagai aktivitas.

2. Pencegahan dan Rehabilitasi Cedera

Biomekanika memainkan peran penting dalam pencegahan dan rehabilitasi cedera dengan menganalisis beban yang bekerja pada jaringan tubuh seperti tulang, otot, ligamen, dan tendon. Cedera sering terjadi akibat beban berlebih, teknik yang salah, atau distribusi gaya yang tidak merata. Oleh karena itu, pemahaman biomekanika sangat penting untuk mengidentifikasi faktor risiko dan mengembangkan strategi pencegahan. Analisis biomekanika memungkinkan identifikasi titik-titik tekanan tinggi pada tubuh yang berpotensi menyebabkan cedera. Misalnya, pada atlet lari, beban berulang pada sendi lutut dapat menyebabkan cedera jika tidak didukung oleh teknik yang tepat. Dalam ergonomi biomekanika digunakan untuk merancang lingkungan kerja yang aman dan efisien. Misalnya, posisi duduk yang benar dan teknik mengangkat beban yang tepat dapat mengurangi risiko cedera pada tulang belakang.

Biomekanika membantu dalam merancang program pemulihan yang efektif. Analisis gerakan digunakan untuk mengidentifikasi kelemahan atau ketidakseimbangan otot yang dapat menyebabkan cedera berulang. Menurut Peter McGinnis (2013), pendekatan biomekanika dalam rehabilitasi memungkinkan pemulihan yang lebih terarah dan berbasis bukti ilmiah.

Sebagai contoh pada cedera ligamen lutut (ACL), analisis biomekanika digunakan untuk mengevaluasi pola gerakan saat mendarat atau berbelok. Dengan memperbaiki teknik gerakan, risiko cedera ulang dapat diminimalkan. Latihan eksentrik sering digunakan dalam rehabilitasi karena efektif dalam meningkatkan kekuatan otot dan kemampuan menyerap gaya. Hal ini menunjukkan bahwa biomekanika tidak hanya berperan dalam pencegahan, tetapi juga dalam proses pemulihan cedera. Dengan demikian, biomekanika



memberikan pendekatan ilmiah dalam menjaga kesehatan sistem muskuloskeletal melalui pencegahan dan rehabilitasi cedera.

3. Optimalisasi Kinerja Olahraga

Biomekanika memiliki peran strategis dalam meningkatkan performa olahraga melalui analisis teknik dan efisiensi gerakan. Dengan memahami prinsip mekanika tubuh, atlet dapat mengoptimalkan gaya, kecepatan, dan koordinasi untuk mencapai hasil maksimal. Performa olahraga sangat dipengaruhi oleh kemampuan atlet dalam menghasilkan dan mengarahkan gaya secara efektif. Biomekanika membantu mengidentifikasi teknik yang paling efisien untuk memaksimalkan output dengan penggunaan energi minimal.

Sebagai contoh dalam olahraga bola voli, analisis biomekanika dapat digunakan untuk meningkatkan teknik spike, seperti sudut lompatan, kecepatan ayunan lengan, dan timing kontak dengan bola. Dengan teknik yang tepat, atlet dapat menghasilkan pukulan yang lebih kuat dan akurat. Dalam olahraga lari, biomekanika digunakan untuk menganalisis panjang langkah, frekuensi langkah, dan posisi tubuh. Perbaikan pada aspek-aspek ini dapat meningkatkan kecepatan dan mengurangi risiko cedera.

4. Pemodelan Struktural

Pemodelan struktural dalam biomekanika bertujuan untuk memahami bagaimana tulang, otot, dan sendi bekerja sebagai suatu sistem mekanis yang terintegrasi. Sistem muskuloskeletal dapat dianalogikan sebagai sistem tuas yang terdiri dari tulang sebagai lengan tuas, sendi sebagai titik tumpu, dan otot sebagai sumber gaya. Pemodelan biomekanika memungkinkan analisis gaya dan momen yang bekerja pada tubuh secara lebih mendalam. Model ini digunakan untuk memprediksi bagaimana tubuh merespons beban tertentu. Pemodelan ini membantu dalam memahami teknik gerakan yang kompleks. Misalnya, dalam angkat besi, analisis tuas tubuh membantu menentukan posisi yang paling efisien untuk mengangkat beban. Pemodelan juga digunakan dalam simulasi komputer untuk menganalisis gerakan tanpa risiko cedera. Hal ini memungkinkan eksperimen yang tidak dapat dilakukan secara langsung pada manusia.

5. Analisis Jaringan Ikat

Jaringan ikat seperti ligamen dan tendon memiliki peran penting dalam sistem muskuloskeletal, terutama dalam menjaga stabilitas dan mentransmisikan gaya. Biomekanika mempelajari bagaimana jaringan ini merespons beban dan berkontribusi dalam gerakan. Menurut Susan Hall

(2014), tendon berfungsi menghubungkan otot dengan tulang dan mentransmisikan gaya kontraksi otot, sedangkan ligamen menghubungkan tulang dengan tulang untuk menjaga stabilitas sendi. Dalam olahraga analisis jaringan ikat penting untuk memahami mekanisme cedera seperti robekan ligamen atau tendinitis. Beban berlebih atau gerakan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan ini. Menurut Roger Bartlett (2007), pemahaman tentang sifat mekanis jaringan ikat membantu dalam merancang program latihan yang aman dan efektif. Dengan demikian, analisis jaringan ikat memberikan kontribusi penting dalam menjaga stabilitas, efisiensi gerakan, dan pencegahan cedera dalam aktivitas olahraga.

Biomekanika menggabungkan prinsip fisika dengan biologi untuk memahami bagaimana gaya eksternal dan internal memengaruhi tubuh manusia. Integrasi kedua prinsip tersebut menghasilkan sistem gerak manusia yang efisien secara mekanis, responsif terhadap rangsangan, serta adaptif terhadap variasi beban dan kecepatan melalui koordinasi neuromuskular dan regulasi biomekanik

Contoh Kasus Terpadu:
Seorang atlet basket melakukan lay-up:



- Tulang tibia & femur menopang tubuh saat loncatan.
- Sendi lutut & pergelangan kaki memungkinkan dorongan eksplosif.
- Otot *gastrocnemius* dan *quadriceps* memberikan gaya dorong (kontraksi konsentrik).
- Koordinasi semua elemen inilah yang menghasilkan gerakan vertikal optimal.

BAB 4

GERAK LINEAR DAN GERAK SUDUT

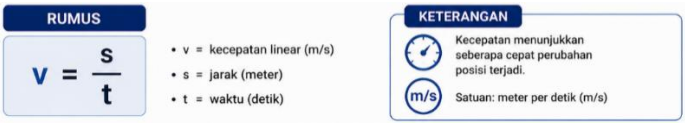
Dalam biomekanika olahraga pemahaman tentang gerak merupakan fondasi utama untuk menganalisis performa atlet secara ilmiah. Gerak manusia dapat dikaji melalui dua pendekatan utama, yaitu gerak linear (translasi) dan gerak sudut (rotasi). Kedua jenis gerak ini hampir selalu terjadi secara bersamaan dalam aktivitas olahraga, sehingga analisis yang komprehensif sangat diperlukan untuk memahami bagaimana tubuh bergerak secara efisien dan efektif.

A. GERAK LINEAR (LINEAR MOTION)

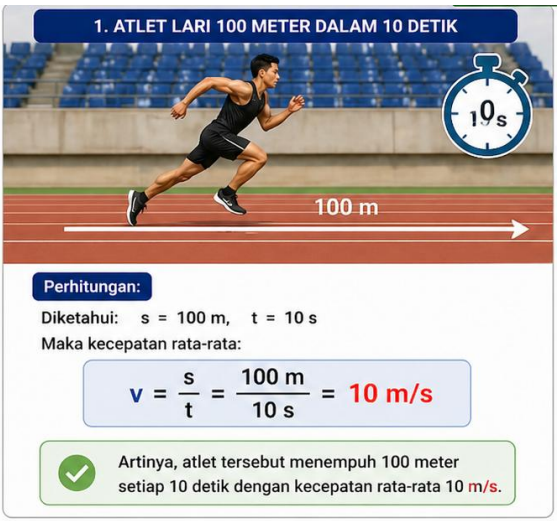
Gerak linear (*linear motion*) merupakan salah satu konsep dasar dalam biomekanika olahraga yang digunakan untuk memahami bagaimana tubuh atau objek bergerak dari satu titik ke titik lainnya dalam lintasan lurus atau hampir lurus. Dalam gerak ini, seluruh bagian tubuh atau objek bergerak dalam arah, jarak, dan waktu yang sama. Gerak linear menjadi sangat penting dalam analisis olahraga karena banyak aktivitas fisik melibatkan perpindahan tubuh secara langsung, seperti berjalan, berlari, meluncur, atau pergerakan bola. Menurut Peter McGinnis (2013), gerak linear dapat dianalisis melalui dua pendekatan utama, yaitu kinematika (yang mempelajari deskripsi gerakan) dan kinetika (yang mempelajari gaya penyebab gerakan). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang komprehensif terhadap performa gerakan dalam olahraga. Berikut adalah komponen utama analisis gerak linear dalam olahraga:

1. Kecepatan Linear (*Velocity*)

Kecepatan merupakan perubahan posisi terhadap waktu. Dalam biomekanika, kecepatan tidak hanya memiliki besar tetapi juga arah (vektor). Dalam olahraga, kecepatan menjadi indikator utama performa, misalnya dalam lari 100 meter atau kecepatan bola saat ditendang. Menurut Peter McGinnis (2013), kecepatan linear dipengaruhi oleh panjang langkah dan frekuensi langkah dalam aktivitas seperti sprint.



Contoh penerapan dalam olahraga :





2. Percepatan Linear (Acceleration)

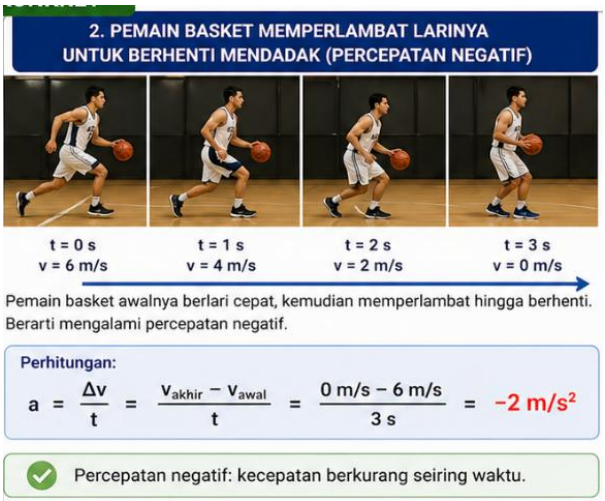
Percepatan adalah perubahan kecepatan terhadap waktu. Percepatan dapat berupa peningkatan kecepatan, penurunan kecepatan (deselerasi), atau perubahan arah. Percepatan sangat penting pada fase awal gerakan,

seperti saat atlet mulai berlari atau melakukan akselerasi menuju bola. Menurut Susan Hall (2014), kemampuan menghasilkan percepatan tinggi sangat bergantung pada gaya otot yang dihasilkan.



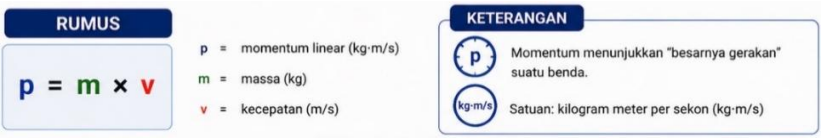
Contoh penerapan dalam olahraga :





3. Momentum Linear (Momentum)

Momentum adalah hasil kali massa dan kecepatan suatu benda. Konsep ini sangat penting dalam memahami interaksi antar objek, seperti tabrakan atau kontak dalam olahraga. Dalam olahraga seperti sepak bola atau rugby, momentum menentukan seberapa sulit seorang pemain dihentikan. Semakin besar massa dan kecepatan, semakin besar momentum yang dimiliki.



Contoh penerapan dalam olahraga :





B. GERAK SUDUT (ANGULAR MOTION)

Gerak sudut (*angular motion*) merupakan gerakan suatu benda atau segmen tubuh yang berputar mengelilingi suatu sumbu atau poros tetap. Dalam konteks biomekanika olahraga, gerak ini sangat dominan karena hampir semua gerakan tubuh manusia melibatkan rotasi pada sendi. Tidak seperti gerak linear yang bersifat translasi, gerak sudut terjadi ketika bagian tubuh bergerak dalam lintasan melingkar dengan pusat rotasi tertentu, seperti pada sendi bahu, siku, pinggul, dan lutut. Menurut Peter McGinnis (2013), gerak sudut merupakan komponen utama dalam analisis biomekanika karena tubuh manusia pada dasarnya tersusun dari segmen-segmen yang terhubung oleh sendi, sehingga setiap gerakan yang dihasilkan cenderung berbentuk rotasi. Dengan demikian, pemahaman tentang gerak sudut menjadi kunci dalam menganalisis teknik dan performa olahraga secara mendalam.

1. Torsi

Torsi merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya rotasi pada suatu benda. Dalam tubuh manusia, torsi dihasilkan oleh kontraksi otot yang bekerja pada sendi.

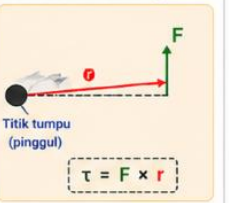


Contoh penerapan dalam olahraga :



2. ATLET TAEKWONDO MENENDANG DENGAN KAKI LURUS





Gaya otot pada kaki (F) bekerja pada jarak (r) dari titik tumpu di pinggul.
Semakin jauh kaki dari pinggul (r) makin besar), semakin besar torsi yang dihasilkan → tendangan semakin kuat.

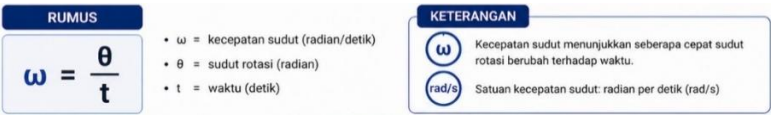
Perbandingan Torsi Tendangan			
Kondisi	**Gaya (F)**	**Jarak kaki (r)**	**Torsi (τ = F × r)**
Kaki ditekuk	200 N	0,5 m	100 Nm
Kaki lurus	200 N	1,0 m	**200 Nm**

Dengan gaya yang sama, kaki lurus (lebih jauh dari titik tumpu) menghasilkan torsi dua kali lebih besar daripada kaki ditekuk.

Menurut Roger Bartlett (2007), kemampuan menghasilkan torsi yang besar dan terarah merupakan kunci dalam meningkatkan performa gerakan rotasi.

2. Kecepatan sudut

Kecepatan sudut adalah perubahan perpindahan sudut terhadap waktu. Besaran ini menunjukkan seberapa cepat suatu segmen tubuh berputar. Dalam olahraga kecepatan sudut sangat penting dalam menghasilkan gerakan eksplosif. Semakin besar kecepatan sudut, semakin besar pula kecepatan linear pada ujung segmen tubuh. Hal ini menjelaskan mengapa atlet berusaha meningkatkan kecepatan rotasi untuk menghasilkan gerakan yang lebih kuat.



Contoh penerapan dalam olahraga :





3. Momentum Sudut (L)

Momentum sudut menunjukkan seberapa sulit suatu gerakan rotasi dihentikan atau diubah. Semakin besar nilai momentum sudut, semakin besar pula kecenderungan tubuh untuk mempertahankan gerakan rotasinya. Menurut Peter McGinnis (2013), momentum sudut merupakan hasil interaksi antara kecepatan rotasi dan distribusi massa tubuh. Artinya, tidak hanya kecepatan putaran yang menentukan, tetapi juga bagaimana massa tubuh tersebar terhadap sumbu rotasi. sebagai contoh:

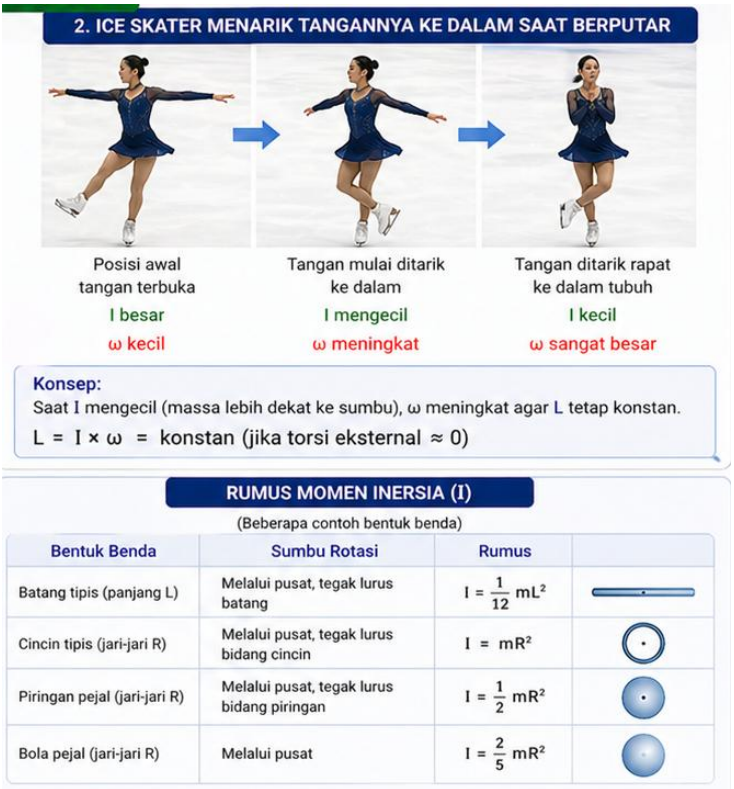
- Atlet dengan lengan dan kaki terbuka memiliki momen inersia lebih besar
- Atlet yang merapatkan tubuh akan mengurangi momen inersia

Perubahan ini akan memengaruhi kecepatan rotasi tanpa harus menambah gaya baru.



Contoh penerapan dalam olahraga :





Hubungan dengan Momen Inersia :

Momen inersia (*moment of inertia*, I) merupakan konsep kunci dalam dinamika rotasi yang menjelaskan seberapa besar "tahanan" suatu benda terhadap perubahan gerak sudut. Dalam biomekanika olahraga, momen inersia tidak hanya ditentukan oleh massa tubuh, tetapi juga oleh bagaimana massa tersebut didistribusikan terhadap sumbu rotasi. Artinya, dua atlet dengan massa tubuh yang sama dapat memiliki momen inersia yang berbeda jika posisi atau konfigurasi tubuh mereka berbeda. Semakin jauh distribusi massa dari sumbu rotasi (misalnya sendi atau pusat putaran tubuh), maka semakin besar momen inersia yang dihasilkan. Kondisi ini menyebabkan tubuh menjadi lebih "sulit" untuk diputar atau diubah kecepatan rotasinya. Sebaliknya, jika massa tubuh lebih dekat ke sumbu rotasi, maka momen inersia menjadi lebih kecil, sehingga gerakan rotasi dapat dilakukan dengan lebih cepat dan lebih mudah dikontrol.

Dalam konteks hubungan dengan momentum sudut, prinsip ini menjadi sangat penting. Berdasarkan hukum kekekalan momentum sudut, ketika tidak ada torsi eksternal yang bekerja, maka nilai momentum sudut akan

tetap konstan. Karena momentum sudut merupakan hasil perkalian antara momen inersia dan kecepatan sudut, maka perubahan pada salah satu komponen akan diimbangi oleh perubahan pada komponen lainnya. Dengan kata lain, ketika momen inersia menurun, kecepatan sudut akan meningkat, dan sebaliknya.

Fenomena ini dapat diamati secara nyata dalam berbagai aktivitas olahraga. Misalnya pada cabang olahraga senam, loncat indah, atau figure skating, atlet sering mengubah posisi tubuhnya di udara untuk mengontrol kecepatan putaran. Ketika atlet merapatkan tubuh—dengan menekuk lutut dan mendekatkan lengan ke pusat tubuh—distribusi massa menjadi lebih dekat ke sumbu rotasi. Hal ini menyebabkan momen inersia menurun, sehingga kecepatan rotasi meningkat secara signifikan. Teknik ini digunakan untuk menyelesaikan putaran lebih cepat sebelum fase pendaratan.

Sebaliknya ketika atlet membuka tubuh dengan merentangkan lengan dan kaki massa tubuh menyebar lebih jauh dari sumbu rotasi. Kondisi ini meningkatkan momen inersia, sehingga kecepatan rotasi menurun. Strategi ini biasanya digunakan untuk mengontrol atau memperlambat putaran, terutama saat mendekati fase akhir gerakan agar pendaratan menjadi lebih stabil dan aman. Menurut Peter McGinnis (2013), kemampuan atlet dalam memanipulasi momen inersia melalui perubahan posisi tubuh merupakan salah satu faktor penting dalam mengoptimalkan performa gerakan rotasi. Hal ini menunjukkan bahwa teknik tubuh tidak hanya berkaitan dengan kekuatan otot, tetapi juga dengan pemahaman prinsip mekanika. Selain itu, Susan Hall (2014) menekankan bahwa kontrol terhadap momen inersia sangat penting dalam menjaga keseimbangan dan koordinasi gerakan, terutama dalam aktivitas yang melibatkan rotasi cepat. Kesalahan dalam mengatur distribusi massa dapat menyebabkan kehilangan kontrol, yang berpotensi meningkatkan risiko cedera.

Hukum Kekekalan Momentum Sudut :

Salah satu prinsip paling penting dalam momentum sudut adalah hukum kekekalan momentum sudut, yang menyatakan bahwa:

Jika tidak ada torsi eksternal yang bekerja, maka momentum sudut suatu sistem akan tetap konstan.

Dalam bentuk sederhana:

$$\mathrm{L\,awal} = \mathrm{L\,akhir}$$

Artinya jika momen inersia berubah, maka kecepatan sudut akan menyesuaikan untuk menjaga nilai momentum sudut tetap sama. Menurut Susan Hall (2014), prinsip ini sangat penting dalam memahami bagaimana atlet mengontrol kecepatan rotasi tubuh selama gerakan di udara.

C. HUBUNGAN GERAK LINEAR DAN GERAK SUDUT

Gerak sudut memiliki hubungan erat dengan gerak linear, terutama pada bagian ujung segmen tubuh. Hubungan ini dapat dijelaskan melalui konsep:

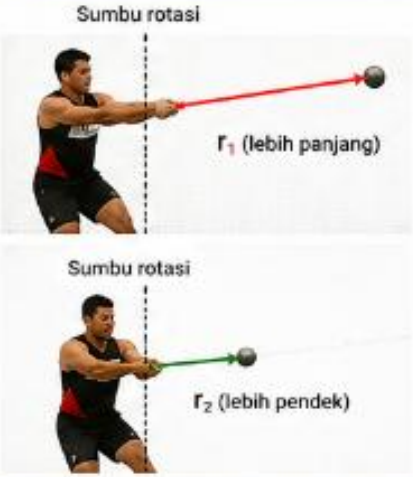
$$v = \omega r$$

Artinya, kecepatan linear (v) bergantung pada kecepatan sudut (ω) dan jarak dari sumbu rotasi (r). Semakin panjang segmen tubuh dan semakin besar kecepatan sudut, maka semakin besar kecepatan linear yang dihasilkan. Sebagai contoh dalam olahraga lempar, rotasi tubuh menghasilkan kecepatan linear pada tangan yang kemudian ditransfer ke bola. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi gerak sudut dan linear sangat penting dalam menghasilkan performa optimal.

Berikut adalah gambar Ilustratif dari konsep **v= ω r** pada gerak olahraga :



2. HAMMER THROW – PUTARAN PALU



Perbandingan:

$r_1 > r_2$

Jika ω tetap:

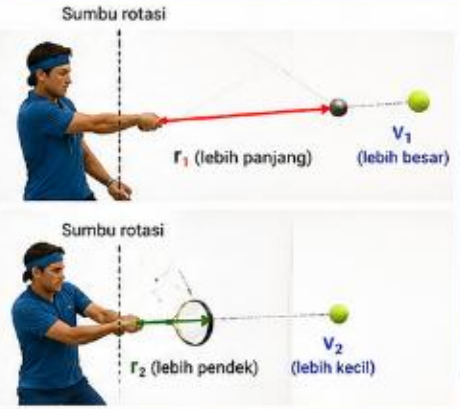
$v_1 = \omega\ r_1$

$v_2 = \omega\ r_2$

$v_1 > v_2$

Saat palu berada lebih jauh dari tubuh (r besar), kecepatan linear di ujung kawat lebih besar.
Saat palu ditarik lebih dekat (r kecil), kecepatan linear berkurang, namun atlet dapat berputar lebih cepat (ω meningkat).

3. AYUNAN RAKET – OLAHRAGA TENIS



Perbandingan:

$r_1 > r_2$

Jika ω tetap:

$v_1 = \omega\ r_1$

$v_2 = \omega\ r_2$

$v_1 > v_2$

Semakin jauh raket dari bahu (r besar), semakin besar kecepatan linear di ujung raket → bola melaju lebih cepat.
Jika raket lebih dekat (r kecil), kecepatan linear mengecil.

BAB 5

PUSAT MASSA, KESEIMBANGAN, DAN STABILITAS DALAM OLAHRAGA

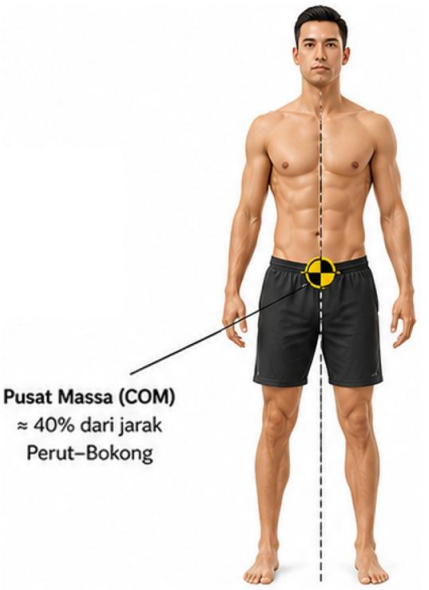
Pusat massa, keseimbangan, dan stabilitas adalah komponen biomekanika krusial dalam olahraga untuk mengontrol gerakan, meningkatkan performa, dan mencegah cedera. Stabilitas maksimal dicapai dengan merendahkan pusat massa dan memperluas dasar tumpuan, memungkinkan atlet mempertahankan keseimbangan dinamis maupun statis saat melakukan gerakan intens.

A. PUSAT MASSA (*CENTER OF MASS – COM*)

Pusat massa (*center of mass atau COM*) adalah titik imajiner pada suatu benda atau sistem di mana seluruh massa benda tersebut dianggap terkonsentrasi. COM merupakan titik keseimbangan tubuh yang menjadi pusat distribusi massa seluruh segmen tubuh (kepala, batang tubuh, lengan, dan tungkai). Posisi COM ditentukan oleh distribusi massa relatif terhadap suatu sistem koordinat. Pada benda yang homogen dan simetris, COM biasanya berada di pusat geometrisnya. Namun, pada tubuh manusia yang bersifat kompleks dan tidak simetris, posisi COM dapat berubah-ubah tergantung pada posisi dan konfigurasi tubuh. Menurut Peter McGinnis (2013), pusat massa adalah titik di mana gaya gravitasi dapat dianggap bekerja pada tubuh. Hal ini berarti seluruh berat tubuh secara efektif "bertumpu" pada titik tersebut dalam analisis mekanika. Sementara itu, Susan Hall (2014) menjelaskan bahwa COM merupakan titik keseimbangan yang sangat penting dalam analisis gerakan manusia, karena semua gerakan tubuh dapat dianalisis berdasarkan pergerakan titik ini.

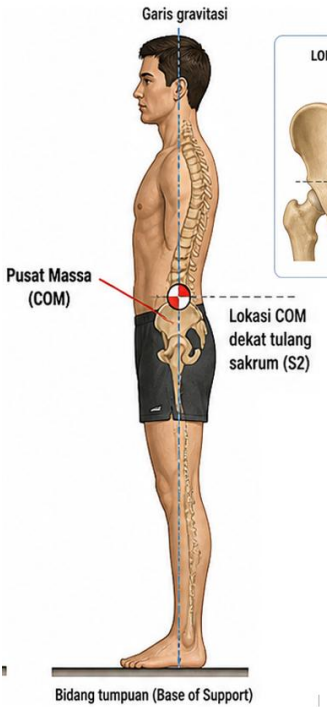
Dalam posisi anatomi berdiri tegak, COM manusia umumnya terletak di sekitar daerah panggul, sedikit anterior terhadap vertebra sakral kedua (S2). Pada manusia berdiri tegak, COM terletak sekitar 40% dari jarak antara perut dan bokong, atau sedikit di atas pusar.

POSISI PUSAT MASSA PADA MANUSIA BERDIRI TEGAK

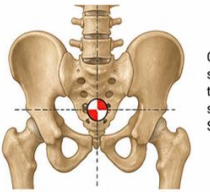


KETERANGAN

- Pusat massa (COM) berada di bidang sagital (tengah kiri-kanan).
- Pada posisi berdiri tegak, COM berada tepat di atas area panggul.
- Nilai ini dapat bervariasi antar individu (± beberapa persen) tergantung komposisi tubuh.



LOKASI COM TERHADAP TULANG PANGGUL



COM berada sedikit anterior terhadap sakrum sekitar vertebra S2 (sakral kedua)

Namun, posisi ini tidak tetap. Ketika seseorang mengangkat tangan, menekuk tubuh, atau melompat, posisi COM akan bergeser sesuai dengan perubahan distribusi massa tubuh. COM juga sering digunakan sebagai acuan untuk menganalisis stabilitas, keseimbangan, dan efisiensi gerakan. Gerakan tubuh secara keseluruhan dapat disederhanakan dengan melacak lintasan COM, sehingga analisis menjadi lebih sistematis dan terukur.





a. Fungsi Pusat Massa (*Center of Mass – COM*)

Pusat massa (center of mass/COM) memiliki peran fundamental dalam biomekanika karena menjadi titik acuan utama dalam analisis gerakan, keseimbangan, serta interaksi gaya pada tubuh manusia. Secara ilmiah, COM bukan sekadar titik geometris, melainkan representasi dinamis dari distribusi massa tubuh yang menentukan bagaimana tubuh bereaksi terhadap gaya internal dan eksternal.

Berikut adalah fungsi utama COM dalam kajian biomekanika olahraga:

1. Titik Aplikasi Gaya Gravitasi

Pusat massa (*center of mass/COM*) memiliki fungsi fundamental sebagai titik aplikasi gaya gravitasi yang bekerja pada tubuh manusia. Secara mekanis seluruh berat tubuh dianggap terkonsentrasi dan bekerja melalui satu titik, yaitu COM. Hal ini merupakan penyederhanaan ilmiah yang sangat penting, karena tubuh manusia terdiri dari berbagai segmen dengan distribusi massa yang kompleks. Dengan menggunakan konsep COM, analisis gaya dapat dilakukan secara lebih sistematis dan terukur. Ketika seseorang berdiri, berjalan, atau melakukan aktivitas olahraga, gaya gravitasi selalu bekerja ke arah vertikal ke bawah melalui COM. Menurut Peter McGinnis (2013), dalam analisis biomekanika, gaya berat (*weight force*) diasumsikan bekerja tepat pada pusat massa, sehingga mempermudah perhitungan gaya dan momen yang memengaruhi tubuh. Dengan demikian, COM menjadi titik referensi utama dalam memahami bagaimana tubuh berinteraksi dengan gaya eksternal.

Fungsi ini memiliki implikasi yang sangat penting dalam analisis keseimbangan. Posisi COM terhadap bidang tumpuan (base of support) menentukan apakah tubuh berada dalam kondisi stabil atau tidak. Jika garis vertikal dari COM jatuh di dalam bidang tumpuan, maka tubuh akan tetap seimbang. Sebaliknya, jika garis tersebut keluar dari bidang tumpuan, tubuh akan kehilangan keseimbangan dan berpotensi jatuh. Oleh karena itu, dalam banyak cabang olahraga, atlet secara aktif mengontrol posisi COM untuk mempertahankan stabilitas tubuh.

Selain itu, karena gaya gravitasi bekerja melalui COM, titik ini juga menjadi pusat dalam analisis momen gaya (torque). Ketika posisi COM berubah relatif terhadap sendi atau titik tumpu, maka besar momen gaya yang dihasilkan juga berubah. Hal ini sangat penting dalam aktivitas seperti mengangkat beban, di mana semakin jauh COM dari titik tumpu (misalnya tulang belakang), semakin besar momen yang harus ditahan oleh otot. Pemahaman tentang COM sebagai titik aplikasi gaya gravitasi memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap distribusi beban dalam tubuh, serta membantu dalam merancang teknik gerakan yang lebih aman

dan efisien. Dalam olahraga, prinsip ini sering dimanfaatkan untuk meningkatkan performa sekaligus mengurangi risiko cedera. Dengan demikian secara ilmiah, fungsi COM sebagai titik aplikasi gaya gravitasi tidak hanya mempermudah analisis biomekanika, tetapi juga menjadi dasar dalam memahami keseimbangan, kontrol gerakan, serta interaksi antara tubuh dan lingkungan dalam berbagai aktivitas olahraga.

2. Penentu Keseimbangan dan Stabilitas

Dalam biomekanika olahraga pusat massa (*center of mass/*COM) memiliki peran yang sangat krusial sebagai penentu utama keseimbangan dan stabilitas tubuh. Secara ilmiah, keseimbangan terjadi ketika proyeksi vertikal dari COM jatuh di dalam bidang tumpuan (*base of support*), yaitu area yang dibatasi oleh kontak tubuh dengan permukaan (misalnya kedua kaki saat berdiri). Selama kondisi ini terpenuhi, tubuh mampu mempertahankan posisi tanpa jatuh, baik dalam keadaan diam maupun bergerak. Menurut Susan Hall (2014), stabilitas tubuh dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu posisi COM, luas bidang tumpuan, dan tinggi COM dari permukaan. Semakin rendah posisi COM, semakin besar tingkat stabilitas karena tubuh memiliki kecenderungan yang lebih kecil untuk terguling. Sebaliknya, semakin tinggi posisi COM , maka tubuh menjadi lebih mudah kehilangan keseimbangan, terutama saat menerima gangguan eksternal.

Prinsip ini dimanfaatkan secara strategis oleh atlet. Misalnya, dalam olahraga seperti sepak bola, bola basket, atau bela diri, atlet sering menekuk lutut dan merendahkan posisi tubuh untuk menurunkan COM. Posisi ini membuat tubuh lebih stabil saat melakukan perubahan arah secara cepat atau saat menghadapi tekanan dari lawan. Selain itu, memperlebar posisi kaki juga meningkatkan luas bidang tumpuan, sehingga memperbesar stabilitas. Hubungan antara COM dan stabilitas juga berkaitan dengan kemampuan tubuh dalam mengontrol gangguan keseimbangan. Ketika tubuh mengalami dorongan atau perubahan posisi, sistem muskuloskeletal akan berusaha mengembalikan COM ke dalam bidang tumpuan melalui penyesuaian postur dan aktivasi otot. Proses ini melibatkan koordinasi antara sistem saraf dan otot untuk mempertahankan keseimbangan secara dinamis. Atlet dengan kontrol COM yang baik mampu mempertahankan stabilitas bahkan dalam kondisi ekstrem, seperti saat berlari dengan kecepatan tinggi, melompat, atau melakukan gerakan rotasi.

Stabilitas yang baik juga berperan dalam pencegahan cedera. Ketika COM tidak terkontrol dan keluar dari bidang tumpuan, risiko jatuh atau cedera meningkat, terutama pada sendi seperti lutut dan pergelangan kaki. Oleh karena itu, latihan keseimbangan dan kontrol postur menjadi bagian

penting dalam program pelatihan olahraga modern. Pemahaman terhadap prinsip ini memungkinkan atlet dan pelatih untuk mengembangkan teknik yang lebih efektif, meningkatkan performa, serta meminimalkan risiko cedera melalui pengendalian posisi tubuh yang optimal.

3. Pengontrol Gerakan Tubuh (Kinematika Global)

Dalam biomekanika olahraga, pusat massa (*center of mass*/COM) berfungsi sebagai titik acuan utama dalam menganalisis gerakan tubuh secara keseluruhan (*global motion*). Meskipun tubuh manusia terdiri dari berbagai segmen yang bergerak secara kompleks dan saling berinteraksi, gerakan total tubuh dapat disederhanakan dengan mengamati lintasan COM. Pendekatan ini dikenal sebagai kinematika global, di mana seluruh sistem tubuh diperlakukan sebagai satu kesatuan. Menurut Peter McGinnis (2013), analisis gerakan melalui COM memungkinkan penyederhanaan sistem tubuh yang kompleks menjadi satu titik representatif, sehingga memudahkan dalam memahami pola gerakan, kecepatan, dan percepatan tubuh secara keseluruhan. Dengan kata lain, lintasan COM mencerminkan bagaimana tubuh bergerak dalam ruang dan waktu.

Setiap perubahan posisi COM merupakan hasil dari gaya eksternal yang bekerja pada tubuh, sesuai dengan hukum gerak Isaac Newton. Hal ini berarti bahwa percepatan COM secara langsung berkaitan dengan resultan gaya eksternal, seperti gaya gravitasi dan gaya reaksi tanah. Oleh karena itu, dengan menganalisis lintasan COM, peneliti dan pelatih dapat memahami bagaimana gaya-gaya tersebut memengaruhi gerakan atlet. lintasan COM merupakan indikator utama dalam menilai efisiensi dan kualitas gerakan. Gerakan yang efisien umumnya ditandai dengan lintasan COM yang halus, terkontrol, dan tidak mengalami fluktuasi yang berlebihan. Sebaliknya, lintasan COM yang tidak stabil menunjukkan adanya inefisiensi atau kesalahan teknik.

Fungsi COM sebagai pengontrol gerakan tubuh dapat diamati pada berbagai aktivitas. Pada lari, misalnya, atlet berusaha menjaga lintasan COM tetap stabil dengan meminimalkan gerakan vertikal yang berlebihan.



Hal ini bertujuan untuk menghemat energi dan meningkatkan efisiensi gerakan. Dalam lompat jauh, lintasan COM menentukan jarak lompatan, karena setelah lepas dari tanah, COM akan mengikuti lintasan parabola. Roger Bartlett (2007) menekankan bahwa analisis COM sangat penting dalam memahami koordinasi antar segmen tubuh dalam kinetic chain. Gerakan yang efektif tidak hanya bergantung pada satu segmen, tetapi pada transfer energi yang efisien dari satu segmen ke segmen lainnya. COM menjadi indikator apakah transfer energi tersebut berjalan optimal atau tidak. Dalam analisis performa modern, teknologi seperti *motion capture* dan analisis video digunakan untuk melacak lintasan COM secara akurat. Data ini kemudian digunakan untuk mengevaluasi teknik atlet, mengidentifikasi kesalahan gerakan, serta merancang program latihan yang lebih efektif dan berbasis ilmiah. Pemahaman terhadap lintasan COM memberikan wawasan penting tentang efisiensi, koordinasi, dan kualitas gerakan, sehingga menjadi alat yang sangat berharga dalam meningkatkan performa olahraga dan mencegah cedera.

4. Penentu Efisiensi Energi Gerakan (Movement Efficiency)

Dalam biomekanika olahraga, pusat massa (center of mass/COM) memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan efisiensi energi selama aktivitas fisik. Efisiensi gerakan merujuk pada kemampuan tubuh untuk menghasilkan output gerak yang maksimal dengan penggunaan energi yang minimal. Salah satu indikator utama dari gerakan yang efisien adalah bagaimana lintasan COM dikontrol selama aktivitas berlangsung.

Setiap pergerakan COM memerlukan energi. Semakin besar perubahan posisi COM terutama dalam arah vertikal maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan. Oleh karena itu, dalam banyak aktivitas olahraga, atlet berusaha meminimalkan fluktuasi vertikal COM untuk menghemat energi dan meningkatkan performa. Misalnya, dalam lari jarak jauh, pelari yang efisien cenderung memiliki lintasan COM yang relatif stabil dengan sedikit gerakan naik-turun, sehingga energi tidak terbuang secara berlebihan. Menurut Peter McGinnis (2013), efisiensi biomekanis sangat dipengaruhi oleh kemampuan atlet dalam mengontrol lintasan COM agar tetap optimal sesuai dengan tuntutan gerakan. Gerakan yang tidak terkontrol atau terlalu banyak variasi akan meningkatkan kebutuhan energi dan mempercepat kelelahan.

Anthony Blazevich (2007) dalam kajian biomekanika olahraga menjelaskan bahwa efisiensi gerakan sangat berkaitan dengan penggunaan energi elastis dan koordinasi antar segmen tubuh. Ia menekankan bahwa tubuh manusia memiliki kemampuan untuk menyimpan dan memanfaatkan

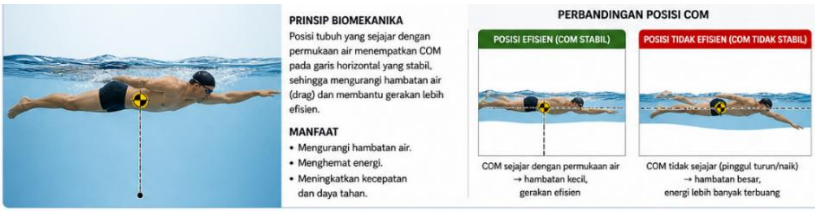
energi elastis melalui otot dan tendon, terutama dalam gerakan berulang seperti berlari atau melompat. Dalam hal ini, posisi dan pergerakan COM yang stabil memungkinkan energi elastis tersebut dimanfaatkan secara optimal, sehingga mengurangi kebutuhan energi metabolik. Blazevich juga menyoroti bahwa gerakan yang efisien bukan hanya soal minimnya energi yang digunakan, tetapi juga tentang sinkronisasi gerakan antar segmen tubuh dalam rantai gerak (kinetic chain). Jika lintasan COM terjaga dengan baik, maka transfer energi dari satu segmen ke segmen lainnya akan berlangsung lebih efektif. Sebaliknya, jika COM bergerak tidak stabil, maka energi akan terdisipasi dan tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Dalam praktik olahraga, konsep ini terlihat jelas pada berbagai aktivitas:

- Bersepeda → posisi tubuh menjaga COM tetap stabil untuk mengurangi energi yang terbuang



- Renang → posisi tubuh yang sejajar air menjaga COM untuk mengurangi hambatan

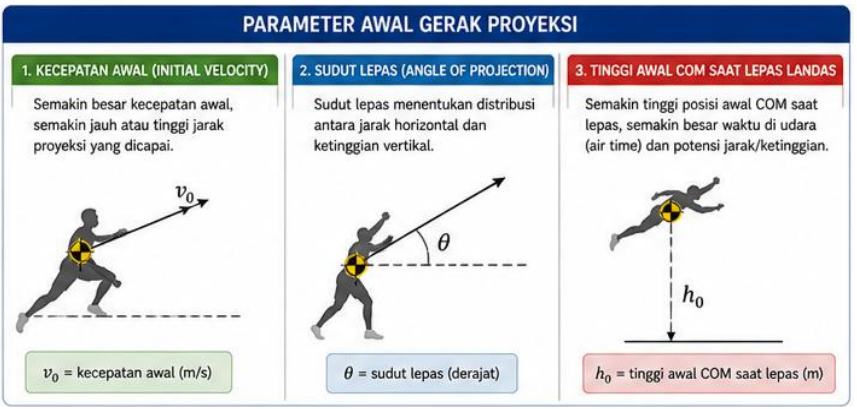


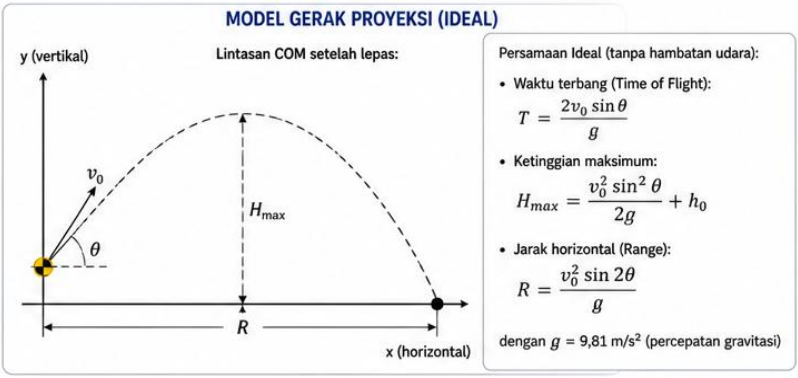
Pengendalian lintasan COM memungkinkan atlet untuk mengoptimalkan penggunaan energi, meningkatkan performa, serta mempertahankan aktivitas dalam durasi yang lebih lama tanpa kelelahan yang berlebihan. Pemahaman ini menjadi dasar penting dalam pengembangan teknik dan program latihan yang berbasis ilmiah dalam olahraga modern.

5. Dasar Analisis Gerak Proyeksi (*Projectile Motion*)

Dalam biomekanika olahraga, pusat massa (center of mass/COM) memiliki peran fundamental sebagai dasar dalam analisis gerak proyeksi (projectile motion), yaitu gerakan benda atau tubuh yang melayang di udara setelah kehilangan kontak dengan permukaan. Pada fase ini, satu prinsip penting berlaku: lintasan COM sepenuhnya ditentukan oleh kondisi saat lepas landas (take-off) dan tidak lagi dapat diubah oleh gerakan tubuh di udara, kecuali jika ada gaya eksternal tambahan seperti hambatan udara yang signifikan. Secara ilmiah setelah tubuh atau objek meninggalkan permukaan, satu-satunya gaya utama yang bekerja adalah gaya gravitasi. Hal ini sesuai dengan prinsip mekanika klasik yang dikembangkan oleh Isaac Newton, di mana percepatan benda di udara hanya dipengaruhi oleh gravitasi (dengan mengabaikan hambatan udara). Akibatnya, lintasan COM akan membentuk kurva parabola yang dapat diprediksi secara matematis berdasarkan kecepatan awal, sudut lepas, dan ketinggian awal.

Menurut Peter McGinnis (2013), dalam olahraga seperti lompat jauh, lompat tinggi, dan lempar, performa sangat ditentukan oleh parameter awal dari gerak proyeksi, yaitu:





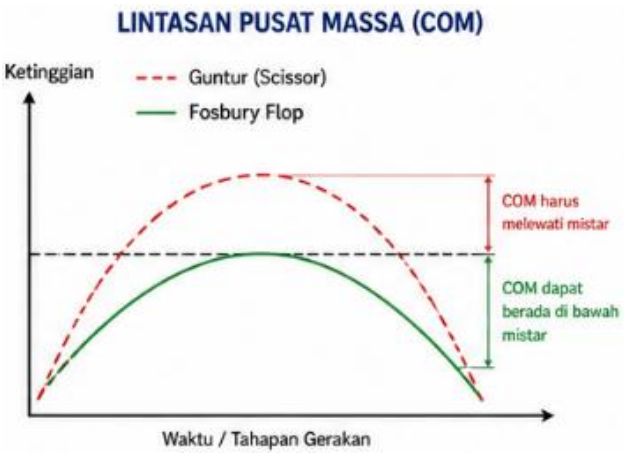
Ketiga faktor ini menentukan lintasan dan jarak maksimum yang dapat dicapai oleh COM.

Dalam praktik olahraga, konsep ini terlihat jelas pada berbagai cabang. Pada lompat jauh, misalnya, atlet berusaha menghasilkan kecepatan horizontal yang tinggi saat awalan, kemudian mengkombinasikannya dengan sudut lepas yang optimal agar lintasan COM menghasilkan jarak lompatan maksimum. Sementara itu, dalam lompat tinggi, fokus utama adalah meningkatkan komponen vertikal dari kecepatan awal untuk mencapai ketinggian maksimum.

Susan Hall (2014) menjelaskan bahwa posisi tubuh di udara dapat diubah tanpa mengubah lintasan COM. Hal ini berarti bahwa meskipun atlet dapat menggerakkan lengan, kaki, atau tubuh selama di udara, lintasan COM tetap mengikuti jalur parabola yang telah ditentukan saat lepas landas. Fenomena ini sangat penting dalam teknik olahraga. Salah satu contoh paling terkenal adalah teknik *Fosbury Flop* dalam lompat tinggi. Dalam teknik ini, atlet melengkungkan tubuh saat melewati mistar, sehingga secara visual tubuh berada di atas mistar, tetapi secara biomekanis COM dapat berada di bawah mistar. Teknik ini memungkinkan atlet mencapai ketinggian yang lebih besar tanpa harus menaikkan lintasan COM secara signifikan.





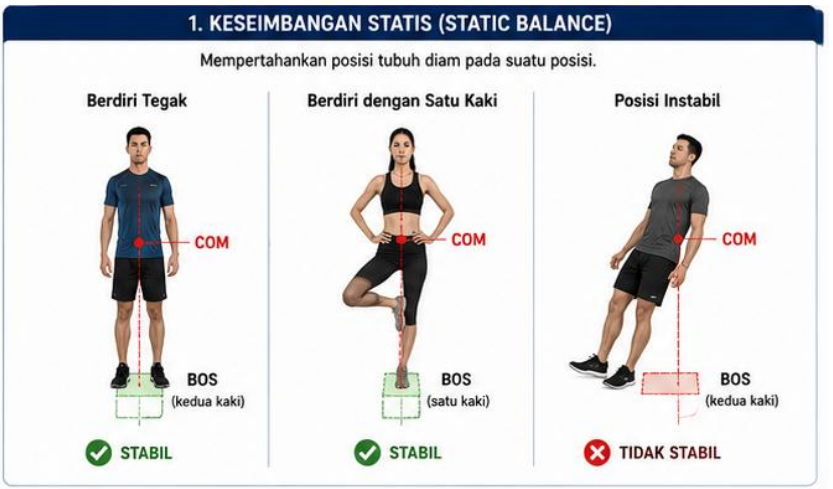


Teori tentang lintasan COM sangat penting dalam mengoptimalkan teknik proyeksi, terutama dalam menentukan kombinasi optimal antara kecepatan dan sudut lepas. Kesalahan kecil dalam sudut atau kecepatan dapat menyebabkan penurunan performa secara signifikan. Dalam cabang olahraga lempar seperti lempar lembing atau bola, prinsip yang sama juga berlaku. Atlet harus mengontrol posisi dan kecepatan COM untuk menghasilkan lintasan optimal pada objek yang dilempar. Transfer energi dari tubuh ke objek juga sangat bergantung pada posisi dan gerakan COM saat pelepasan. Secara biomekanis, COM berfungsi sebagai titik referensi utama dalam analisis gerak proyeksi. Pemahaman tentang lintasan COM memungkinkan atlet dan pelatih untuk mengoptimalkan teknik lepas landas, meningkatkan performa, serta memaksimalkan hasil dalam berbagai cabang olahraga yang melibatkan gerakan di udara.

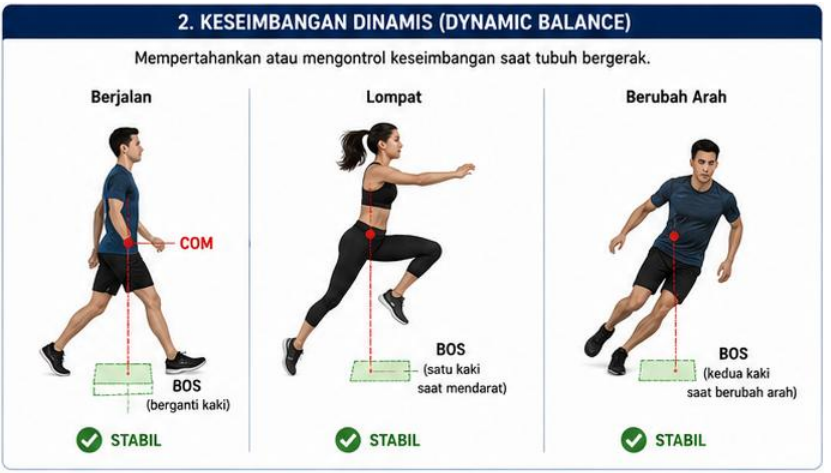
B. KESEIMBANGAN (*BALANCE*)

Keseimbangan (*balance)* merupakan kemampuan tubuh untuk mempertahankan posisi atau mengontrol pusat massa (*center of mass*/COM) agar tetap berada di dalam batas bidang tumpuan (*base of support*/BOS), baik dalam kondisi statis maupun dinamis. Dalam biomekanika olahraga, keseimbangan menjadi salah satu komponen dasar yang menentukan keberhasilan suatu gerakan, karena hampir semua aktivitas fisik mulai dari berdiri, berjalan, berlari, hingga melakukan gerakan kompleks membutuhkan kontrol keseimbangan yang baik. Keseimbangan melibatkan interaksi antara sistem muskuloskeletal dan sistem saraf. Tubuh secara terus-menerus menerima informasi dari sistem sensorik (*visual, vestibular*, dan *proprioseptif*), kemudian memproses informasi tersebut untuk mengatur respon otot dalam menjaga posisi COM. Proses ini memungkinkan tubuh beradaptasi terhadap perubahan posisi maupun gangguan eksternal. Menurut Susan Hall (2014), keseimbangan terjadi proyeksi vertikal COM jatuh di dalam bidang tumpuan. Jika garis proyeksi tersebut keluar dari BOS, maka tubuh akan kehilangan stabilitas dan berpotensi jatuh. Oleh karena itu, kontrol terhadap posisi COM menjadi kunci utama dalam mempertahankan keseimbangan.

Keseimbangan dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu keseimbangan statis dan keseimbangan dinamis. Keseimbangan statis adalah kemampuan mempertahankan posisi tubuh dalam keadaan diam, seperti berdiri tegak tanpa bergerak.



Sedangkan keseimbangan dinamis adalah kemampuan menjaga stabilitas saat tubuh bergerak atau saat terjadi perubahan posisi, seperti saat berlari, melompat, atau berbelok.



Menurut Peter McGinnis (2013), keseimbangan dinamis lebih kompleks karena melibatkan perubahan posisi COM secara terus-menerus, sehingga memerlukan koordinasi yang lebih tinggi antara otot dan sistem saraf. Dalam olahraga, keseimbangan dinamis sangat penting karena sebagian besar aktivitas melibatkan gerakan yang cepat dan berubah-ubah.

Beberapa faktor utama yang memengaruhi keseimbangan dalam biomekanika olahraga antara lain:

1. Letak Pusat Massa (COM)

Letak pusat massa (*center of mass/COM*) merupakan faktor utama dalam menentukan stabilitas tubuh. Secara biomekanis, semakin rendah posisi COM terhadap permukaan tumpuan, maka semakin besar stabilitas yang dimiliki. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kemampuan tubuh untuk menahan gangguan eksternal tanpa menyebabkan perpindahan garis proyeksi COM keluar dari bidang tumpuan. Ketika COM berada lebih dekat ke tanah, sudut kemiringan tubuh yang diperlukan untuk kehilangan keseimbangan menjadi lebih besar, sehingga tubuh lebih "tahan" terhadap gangguan. Penurunan COM melalui fleksi lutut dan pinggul merupakan strategi umum yang digunakan atlet untuk meningkatkan stabilitas, terutama dalam situasi defensif. Dalam olahraga seperti sepak bola atau bola basket, posisi setengah jongkok memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap perubahan arah. Sebaliknya, posisi tubuh yang terlalu tegak

meningkatkan tinggi COM dan membuat tubuh lebih rentan kehilangan keseimbangan. Dengan demikian, pengaturan tinggi COM merupakan strategi biomekanis yang penting dalam menjaga stabilitas dan performa.

2. Luas Bidang Tumpuan (*Base of Support*/BOS)

Bidang tumpuan (*base of support*/BOS) adalah area yang dibentuk oleh bagian tubuh yang bersentuhan dengan permukaan, seperti kaki saat berdiri. Semakin luas BOS, semakin besar stabilitas tubuh karena proyeksi COM memiliki ruang yang lebih besar untuk tetap berada di dalam batas tersebut. Hal ini memungkinkan tubuh untuk menahan gangguan tanpa kehilangan keseimbangan. Peningkatan BOS merupakan salah satu cara paling efektif untuk meningkatkan stabilitas, terutama dalam kondisi dinamis. Atlet sering memperlebar posisi kaki atau menambah titik kontak dengan tanah untuk meningkatkan kontrol tubuh. Dalam olahraga bela diri, misalnya, posisi kaki yang lebar memberikan stabilitas yang lebih tinggi saat menerima dorongan dari lawan. Sebaliknya, BOS yang sempit, seperti saat berdiri dengan satu kaki, akan meningkatkan tantangan keseimbangan dan membutuhkan kontrol neuromuskular yang lebih tinggi.

3. Massa Tubuh

Massa tubuh juga memengaruhi stabilitas, meskipun tidak secara langsung menentukan keseimbangan. Secara mekanis, tubuh dengan massa yang lebih besar memiliki inersia yang lebih tinggi, sehingga lebih sulit untuk digerakkan oleh gangguan eksternal kecil. Hal ini memberikan keuntungan dalam mempertahankan posisi stabil, terutama dalam situasi kontak fisik. Massa tubuh yang lebih besar dapat meningkatkan stabilitas pasif, tetapi harus diimbangi dengan kontrol otot yang baik agar tidak mengurangi kelincahan. Dalam olahraga seperti rugby atau gulat, atlet dengan massa tubuh besar cenderung lebih stabil saat bertahan. Namun, dalam olahraga yang membutuhkan kecepatan dan perubahan arah cepat, massa yang terlalu besar dapat menjadi hambatan. Oleh karena itu, hubungan antara massa tubuh dan keseimbangan harus dipahami dalam konteks kebutuhan spesifik cabang olahraga.

4. Gesekan Permukaan (*Friction*)

Gaya gesek antara tubuh (misalnya kaki) dan permukaan memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan. Gesekan memberikan "cengkeraman" yang memungkinkan tubuh menghasilkan gaya horizontal tanpa tergelincir. Tanpa gesekan yang cukup, tubuh akan mudah kehilangan stabilitas meskipun posisi COM dan BOS sudah optimal. Gaya gesek

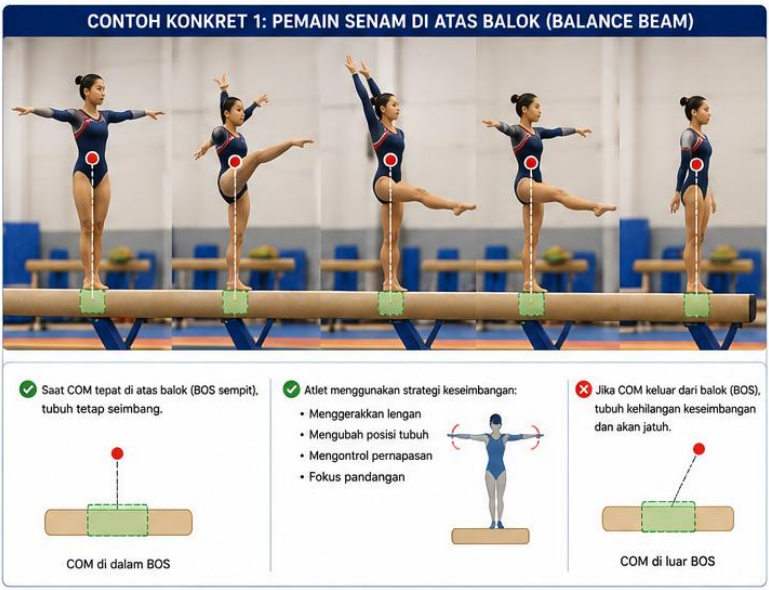
merupakan faktor eksternal yang sangat menentukan kemampuan atlet dalam mempertahankan posisi dan melakukan gerakan eksplosif. Olahraga seperti sepak bola atau lari sprint, sepatu dengan desain khusus digunakan untuk meningkatkan traksi terhadap permukaan. Sebaliknya, permukaan licin akan mengurangi gaya gesek dan meningkatkan risiko tergelincir, sehingga keseimbangan menjadi lebih sulit dipertahankan.

5. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan, seperti jenis permukaan, kemiringan, dan faktor eksternal lainnya, juga memengaruhi keseimbangan. Permukaan yang tidak rata atau licin dapat mengganggu stabilitas dengan mengubah interaksi antara COM dan BOS. Selain itu, faktor seperti angin atau gangguan eksternal lainnya juga dapat memengaruhi kontrol tubuh. Lingkungan yang tidak stabil menuntut adaptasi yang lebih besar dari sistem neuromuskular untuk mempertahankan keseimbangan. Dalam olahraga luar ruangan, atlet harus mampu menyesuaikan teknik gerakan dengan kondisi lapangan, seperti tanah basah atau berpasir. Kemampuan adaptasi ini menjadi bagian penting dari keterampilan motorik yang memengaruhi performa dan keselamatan atlet.

Dalam praktik olahraga atlet sering memanipulasi faktor-faktor tersebut untuk meningkatkan stabilitas. Misalnya, pemain sepak bola akan menekuk lutut dan memperlebar posisi kaki saat bertahan untuk menurunkan COM dan memperbesar BOS. Hal ini meningkatkan kemampuan mereka dalam menghadapi dorongan dari lawan atau perubahan arah secara cepat. Roger Bartlett (2007) menjelaskan bahwa keseimbangan juga berkaitan erat dengan efisiensi gerakan. Atlet yang memiliki keseimbangan baik akan mampu mengontrol gerakan dengan lebih presisi, sehingga energi yang digunakan menjadi lebih efisien dan risiko cedera dapat diminimalkan. Keseimbangan juga memiliki peran penting dalam pencegahan cedera. Ketidakseimbangan atau kehilangan kontrol COM dapat menyebabkan jatuh atau posisi tubuh yang tidak stabil, yang berpotensi menimbulkan cedera pada sendi, terutama lutut dan pergelangan kaki. Oleh karena itu, latihan keseimbangan menjadi bagian penting dalam program pelatihan olahraga modern.

Berikut adalah contoh konkret penerapan keseimbangan (*balance)* dalam olahraga yang dijelaskan dalam bentuk visual gambar :





C. STABILITAS (*STABILITY*)

Stabilitas (stability) dalam biomekanika olahraga merupakan kemampuan tubuh untuk mempertahankan atau kembali ke posisi seimbang setelah mengalami gangguan, baik dari dalam maupun dari luar tubuh. Stabilitas berkaitan erat dengan kontrol pusat massa (*center of*

mass/COM) terhadap bidang tumpuan (*base of support*/BOS). Semakin baik kemampuan tubuh dalam mengontrol posisi COM agar tetap berada di dalam BOS, maka semakin tinggi tingkat stabilitas yang dimiliki. Stabilitas merupakan hasil interaksi kompleks antara sistem muskuloskeletal, sistem saraf, dan gaya eksternal yang bekerja pada tubuh. Ketika tubuh bergerak atau menerima gangguan, otot dan sistem saraf akan bekerja secara koordinatif untuk mempertahankan posisi tubuh agar tidak kehilangan keseimbangan. Oleh karena itu, stabilitas tidak hanya berkaitan dengan kemampuan berdiri diam, tetapi juga kemampuan mengontrol tubuh selama aktivitas dinamis seperti berlari, melompat, mendarat, atau berubah arah.

Menurut Susan Hall (2014), stabilitas adalah resistensi tubuh terhadap gangguan keseimbangan. Semakin besar kemampuan tubuh menahan gangguan tanpa jatuh atau kehilangan kontrol, maka semakin stabil tubuh tersebut. Dalam biomekanika olahraga, stabilitas sangat penting karena menjadi dasar dari hampir semua keterampilan motorik. Peter McGinnis (2013) menjelaskan bahwa stabilitas dipengaruhi oleh hubungan antara COM, BOS, dan garis gravitasi. Tubuh akan lebih stabil jika:

- COM berada rendah
- BOS lebih luas
- Garis gravitasi jatuh di tengah BOS

Ketiga faktor tersebut menjadi prinsip utama dalam analisis stabilitas gerakan manusia.

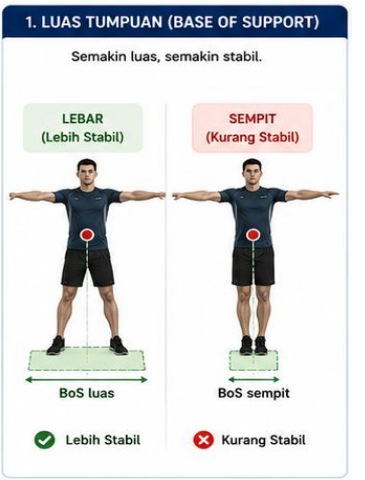
Dalam olahraga, atlet sering memodifikasi posisi tubuh untuk meningkatkan stabilitas. Misalnya, pemain bola basket akan memperlebar posisi kaki dan menekuk lutut saat bertahan. Posisi ini menurunkan COM dan memperbesar BOS, sehingga tubuh lebih stabil terhadap dorongan lawan atau perubahan arah secara cepat. Stabilitas dalam olahraga bersifat dinamis, artinya tubuh harus mampu mempertahankan kontrol meskipun COM terus berubah selama gerakan berlangsung. Oleh karena itu, stabilitas tidak hanya ditentukan oleh postur tubuh, tetapi juga oleh kemampuan koordinasi neuromuskular. Anthony Blazevich (2007) menjelaskan bahwa stabilitas sangat berkaitan dengan efisiensi gerakan dan transfer gaya. Atlet yang memiliki stabilitas baik mampu menghasilkan gaya secara lebih efektif karena tubuh berada dalam posisi yang optimal untuk mentransfer energi antar segmen tubuh. Sebaliknya, stabilitas yang buruk dapat menyebabkan hilangnya energi, penurunan performa, dan peningkatan risiko cedera. Stabilitas dibedakan menjadi dua jenis utama:

1. Stabilitas Statis
   Stabilitas statis adalah kemampuan mempertahankan keseimbangan saat tubuh berada dalam keadaan diam, seperti berdiri tegak atau mempertahankan posisi tertentu.
2. Stabilitas Dinamis
   Stabilitas dinamis adalah kemampuan mempertahankan kontrol tubuh selama bergerak. Jenis stabilitas ini lebih kompleks karena melibatkan perubahan posisi COM secara terus-menerus.

Dalam konteks pencegahan cedera stabilitas yang baik memungkinkan tubuh merespons gangguan secara cepat dan tepat. Sebaliknya, ketidakstabilan dapat menyebabkan posisi tubuh yang tidak terkontrol, yang meningkatkan tekanan pada sendi dan jaringan lunak seperti ligamen dan tendon. Dengan demikian, stabilitas merupakan komponen fundamental dalam biomekanika olahraga yang berkaitan dengan kemampuan tubuh mempertahankan kontrol posisi selama aktivitas statis maupun dinamis. Pemahaman tentang prinsip stabilitas sangat penting dalam pengembangan teknik olahraga, peningkatan performa atlet, serta pencegahan cedera melalui pendekatan biomekanika yang ilmiah dan terukur.

Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas :

1. Luas Tumpuan (*Base of Support – BoS*)



Base of support (BoS) adalah area yang dibentuk oleh bagian tubuh yang bersentuhan langsung dengan permukaan, seperti kedua kaki saat berdiri. Dalam biomekanika olahraga, luas BoS merupakan faktor utama yang memengaruhi stabilitas tubuh. Semakin luas bidang tumpuan, semakin besar kemampuan tubuh untuk mempertahankan keseimbangan terhadap gangguan eksternal. Tubuh akan lebih stabil apabila garis proyeksi pusat massa (*center of mass*/COM) tetap berada di dalam BoS. Ketika BoS diperluas, ruang gerak COM juga menjadi lebih besar sehingga tubuh tidak mudah kehilangan keseimbangan. Atlet sering memperlebar posisi kaki untuk meningkatkan stabilitas, terutama pada olahraga yang melibatkan kontak fisik atau perubahan arah cepat, seperti sepak bola, basket, dan bela

diri. Sebaliknya, posisi dengan BoS sempit, seperti berdiri dengan satu kaki, memerlukan kontrol neuromuskular yang lebih tinggi karena stabilitas tubuh berkurang.

2. Tinggi Pusat Massa (*Center of Mass* – COM)



Tinggi pusat massa (*center of mass*/COM) sangat memengaruhi tingkat stabilitas tubuh. Secara biomekanis, semakin rendah posisi COM terhadap permukaan, maka semakin stabil tubuh tersebut. Hal ini disebabkan karena tubuh membutuhkan gaya yang lebih besar untuk menggeser garis proyeksi COM keluar dari bidang tumpuan. Penurunan COM dapat meningkatkan kemampuan tubuh dalam menahan gangguan keseimbangan. Oleh karena itu, atlet sering menekuk lutut dan merendahkan posisi tubuh saat bertahan atau melakukan gerakan eksplosif. Dalam olahraga seperti sepak bola atau bola basket, posisi tubuh yang rendah memungkinkan atlet bergerak lebih stabil saat melakukan perubahan arah cepat. Sebaliknya, posisi tubuh yang terlalu tegak meningkatkan tinggi COM dan membuat tubuh lebih mudah kehilangan keseimbangan.

3. Posisi Pusat Massa terhadap Dasar Tumpuan

Posisi pusat massa (*center of mass*/COM) terhadap bidang tumpuan sangat menentukan stabilitas tubuh. Tubuh akan berada dalam kondisi paling stabil ketika garis proyeksi vertikal COM jatuh di tengah base of support (BoS). Dalam posisi ini, tubuh memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menahan gangguan dari berbagai arah. Menurut Peter McGinnis (2013), semakin dekat posisi garis gravitasi terhadap pusat BoS, maka semakin besar stabilitas tubuh. Sebaliknya, jika COM mendekati tepi BoS, tubuh menjadi lebih mudah kehilangan keseimbangan. Prinsip ini terlihat pada atlet yang menjaga distribusi berat badan secara seimbang saat menerima bola, melakukan pendaratan, atau mempertahankan posisi bertahan. Misalnya, pemain basket akan memosisikan COM di tengah kedua kaki agar lebih stabil saat menghadapi tekanan lawan. Dengan demikian, kontrol posisi COM terhadap BoS sangat penting dalam menjaga keseimbangan, efisiensi gerakan, dan keamanan selama aktivitas olahraga.



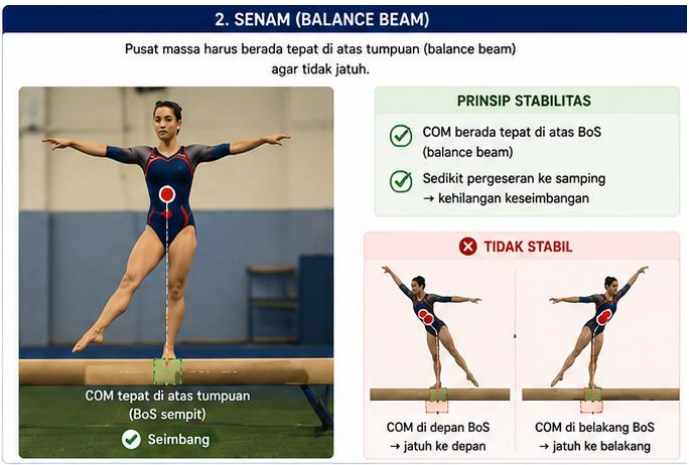
4. Massa Tubuh

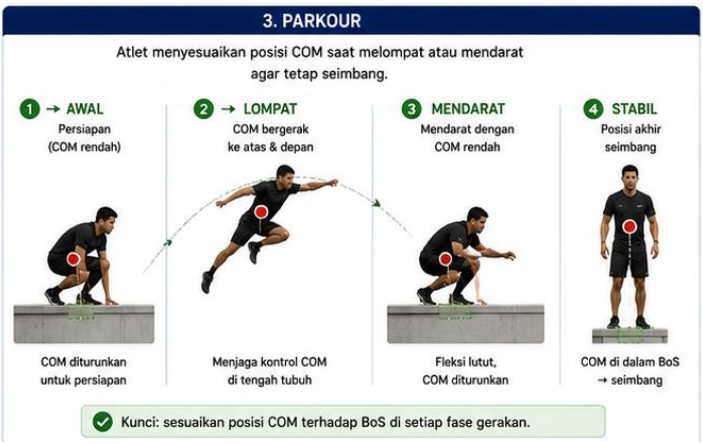


Massa tubuh memengaruhi stabilitas karena berkaitan dengan inersia, yaitu kecenderungan tubuh untuk mempertahankan keadaan geraknya. Secara biomekanis, tubuh dengan massa yang lebih besar cenderung lebih sulit digerakkan oleh gangguan eksternal kecil, sehingga memiliki stabilitas yang lebih tinggi. Massa tubuh yang besar meningkatkan resistensi terhadap perubahan posisi, terutama dalam olahraga yang melibatkan kontak fisik seperti rugby atau gulat. Atlet dengan massa tubuh lebih besar biasanya lebih sulit didorong atau dijatuhkan. Namun, massa tubuh yang besar juga harus diimbangi dengan kekuatan dan koordinasi otot yang baik. Jika tidak, peningkatan massa justru dapat mengurangi kelincahan dan efisiensi gerakan. Dalam biomekanika olahraga, massa tubuh dipahami sebagai faktor yang dapat meningkatkan stabilitas pasif, tetapi efektivitasnya tetap bergantung pada kontrol neuromuskular dan teknik gerakan atlet.

Berikut adalah contoh konkret penerapan Stabilitas (stability) dalam olahraga yang dijelaskan dalam bentuk ilustrasi visual :









Dengan demikian stabilitas merupakan komponen fundamental dalam biomekanika olahraga yang berkaitan dengan kemampuan tubuh mempertahankan kontrol posisi selama aktivitas statis maupun dinamis. Pemahaman tentang prinsip stabilitas sangat penting dalam pengembangan teknik olahraga, peningkatan performa atlet, serta pencegahan cedera melalui pendekatan biomekanika yang ilmiah dan terukur.

BAB 6

(BIOMEKANIKA KUALITATIF I)
PRINSIP ANALISIS VISUAL GERAKAN

Biomekanika kualitatif adalah analisis non-numerik sistematis untuk mengevaluasi teknik gerak tubuh manusia melalui pengamatan visual, bertujuan meningkatkan kinerja dan mengurangi risiko cedera. Prinsip utamanya melibatkan persiapan (pemahaman tugas), pengamatan terfokus, evaluasi kinerja, deteksi kesalahan, dan intervensi (umpan balik).

A. BIOMEKANIKA KUALITATIF

Biomekanika kualitatif (*qualitative biomechanics*) merupakan cabang analisis biomekanika yang berfokus pada pengamatan dan interpretasi gerakan manusia secara deskriptif tanpa menggunakan pengukuran numerik yang kompleks. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas gerakan berdasarkan prinsip-prinsip mekanika dan anatomi tubuh manusia melalui observasi visual. Dalam konteks olahraga, biomekanika kualitatif sangat penting karena memungkinkan pelatih, guru, maupun praktisi olahraga untuk menganalisis teknik gerakan atlet secara praktis dan efisien. Menurut Duane Knudson (2007), biomekanika kualitatif adalah proses sistematis dalam mengamati, mendeskripsikan, dan mengevaluasi gerakan manusia menggunakan prinsip biomekanika untuk meningkatkan performa dan mengurangi risiko cedera. Pendekatan ini menekankan pada kemampuan mengidentifikasi karakteristik gerakan yang efektif maupun kesalahan teknik melalui pengamatan visual yang terstruktur.

a. Tujuan Biomekanika Kualitatif

Biomekanika kualitatif (*qualitative biomechanics*) bertujuan untuk menganalisis, memahami, dan mengevaluasi gerakan manusia secara sistematis berdasarkan prinsip-prinsip biomekanika tanpa menggunakan pengukuran numerik yang kompleks. Pendekatan ini digunakan untuk

mengidentifikasi kualitas teknik gerakan melalui observasi visual sehingga dapat membantu meningkatkan performa, efisiensi gerak, dan keselamatan dalam aktivitas olahraga.

Menurut Duane Knudson (2007), tujuan utama biomekanika kualitatif adalah membantu pelatih, guru, dan praktisi olahraga dalam memahami gerakan manusia secara lebih ilmiah sehingga dapat memberikan koreksi teknik yang tepat dan efektif. Analisis kualitatif menjadi pendekatan praktis yang sangat penting karena dapat diterapkan langsung di lapangan tanpa memerlukan teknologi biomekanika yang mahal.

Berikut beberapa tujuan utama biomekanika kualitatif:

1. Meningkatkan Kualitas Teknik Gerakan
   Biomekanika kualitatif memiliki tujuan utama untuk meningkatkan kualitas teknik gerakan dalam aktivitas olahraga. Melalui pengamatan visual yang sistematis, pelatih atau analis dapat mengidentifikasi kesalahan teknik serta memahami bagaimana suatu gerakan dilakukan berdasarkan prinsip-prinsip biomekanika. Analisis ini membantu atlet memperbaiki posisi tubuh, koordinasi gerakan, penggunaan gaya, dan efisiensi mekanik selama melakukan keterampilan olahraga. Menurut Duane Knudson (2007), biomekanika kualitatif memungkinkan evaluasi teknik secara praktis sehingga koreksi gerakan dapat dilakukan secara cepat dan tepat. Dengan teknik yang lebih baik, atlet mampu menghasilkan gerakan yang lebih efektif, efisien, dan aman.
2. Meningkatkan performa olahraga
   Selain meningkatkan teknik, biomekanika kualitatif juga bertujuan untuk meningkatkan performa olahraga. Gerakan yang dianalisis berdasarkan prinsip biomekanika akan membantu atlet menggunakan energi secara lebih efisien dan menghasilkan gaya secara optimal. Dalam olahraga kompetitif, perbedaan kecil pada teknik dapat memberikan pengaruh besar terhadap hasil performa. Oleh karena itu, analisis gerakan secara visual menjadi alat penting untuk membantu atlet mencapai kemampuan maksimalnya. Peter McGinnis (2013) menjelaskan bahwa efisiensi biomekanis yang baik memungkinkan atlet menghasilkan performa tinggi dengan pengeluaran energi yang lebih rendah.
3. Mencegah Cedera
   Biomekanika kualitatif juga memiliki tujuan penting dalam pencegahan cedera olahraga. Banyak cedera terjadi akibat kesalahan teknik gerakan, distribusi beban yang tidak seimbang, atau posisi tubuh yang tidak tepat saat bergerak. Dengan melakukan observasi biomekanis, pelatih

dapat mendeteksi gerakan yang berpotensi menyebabkan cedera sebelum masalah tersebut berkembang menjadi cedera serius. Misalnya, pola pendaratan yang salah setelah melompat dapat meningkatkan tekanan pada ligamen lutut dan meningkatkan risiko cedera ACL. Menurut Susan Hall (2014), analisis biomekanika membantu mengidentifikasi faktor mekanis yang menyebabkan tekanan berlebih pada jaringan tubuh sehingga langkah pencegahan dapat dilakukan lebih awal.

4. Membantu Proses Pembelajaran Motorik
   Biomekanika kualitatif bertujuan membantu proses pembelajaran keterampilan motorik. Dalam pembelajaran olahraga, atlet atau siswa membutuhkan pemahaman yang jelas mengenai bagaimana suatu gerakan dilakukan dengan benar. Analisis visual memungkinkan pelatih memberikan umpan balik yang spesifik dan mudah dipahami sehingga proses belajar gerak menjadi lebih efektif. Menurut Duane Knudson (2007), umpan balik biomekanis yang tepat dapat mempercepat proses penguasaan keterampilan karena atlet memahami hubungan antara teknik gerakan dan hasil performa yang dicapai.
5. Menjadi Dasar Analisis Kuantitatif
   Biomekanika kualitatif juga berfungsi sebagai dasar untuk analisis biomekanika kuantitatif yang lebih mendalam. Observasi visual digunakan untuk menentukan aspek gerakan mana yang perlu dianalisis lebih lanjut menggunakan teknologi modern seperti motion capture, force plate, atau sensor gerak digital. Dengan demikian, biomekanika kualitatif menjadi tahap awal yang sangat penting dalam proses analisis gerakan manusia secara ilmiah. Pendekatan ini membantu peneliti dan praktisi olahraga memahami pola gerakan secara menyeluruh sebelum melakukan pengukuran numerik yang lebih kompleks.

b. Prinsip Dasar Analisis Visual Gerakan

Prinsip dasar analisis visual gerakan dalam biomekanika olahraga meliputi observasi sistematis terhadap pola gerak tubuh, penilaian teknik motorik berdasarkan kriteria biomekanis seperti koordinasi, kecepatan, dan efisiensi energi. Analisis ini bertujuan memahami mekanisme gerakan untuk meningkatkan performa dan mencegah cedera. Fokus utamanya adalah pada sinergi antara struktur tubuh dan gerakan dinamis dalam konteks aktivitas olahraga. Dengan pendekatan visual, pelatih dan ahli dapat mengidentifikasi ketidaksesuaian teknik secara langsung, memungkinkan intervensi tepat waktu. Pendekatan ini sering digunakan bersama data kuantitatif dari rekaman video atau sensor untuk validasi objektif.

Tahapan Analisis Gerakan Kualitatif (Berdasarkan Knudson, 2007)

Menurut Duane Knudson (2007), analisis gerakan kualitatif merupakan proses sistematis dalam mengamati dan mengevaluasi gerakan manusia berdasarkan prinsip biomekanika. Analisis ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan agar pengamatan gerakan menjadi lebih objektif, terarah, dan ilmiah. Tahapan tersebut membantu pelatih, guru, maupun analis olahraga dalam mengidentifikasi kesalahan teknik, memahami penyebab biomekanis, serta memberikan solusi perbaikan gerakan.

Berikut tahapan analisis gerakan kualitatif menurut Knudson (2007):

1. *Preparation* (Persiapan)
   Tahap persiapan merupakan langkah awal sebelum melakukan observasi gerakan. Pada tahap ini, analis menentukan tujuan analisis, memahami karakteristik keterampilan yang akan diamati, serta mempelajari prinsip biomekanika yang relevan dengan gerakan tersebut. Menurut Duane Knudson (2007), persiapan sangat penting agar pengamatan menjadi fokus dan sistematis. Analis harus mengetahui:
   - Teknik gerakan yang ideal
   - Tujuan performa gerakan
   - Faktor biomekanis yang memengaruhi keberhasilan gerakan

   Selain itu, analis juga menentukan posisi pengamatan terbaik dan alat bantu yang diperlukan, seperti video atau kamera.
2. *Observation* (Observasi)
   Tahap observasi dilakukan dengan mengamati gerakan atlet secara langsung atau melalui rekaman video. Fokus utama pada tahap ini adalah mengenali pola gerakan, koordinasi tubuh, serta kemungkinan kesalahan teknik. Knudson (2007) menekankan bahwa observasi harus dilakukan secara terstruktur dan berulang agar hasil analisis lebih akurat. Pengamatan biasanya dilakukan dari beberapa sudut pandang untuk memperoleh informasi yang lengkap mengenai gerakan. Observasi dapat diarahkan pada:
   - Posisi tubuh
   - Sudut sendi
   - Pola ayunan
   - Kecepatan gerakan
   - Keseimbangan tubuh

Tahap ini menjadi dasar penting dalam proses analisis biomekanika kualitatif.

3. *Evaluation and Diagnosis* (Evaluasi dan Diagnosis)
   Setelah observasi dilakukan, tahap berikutnya adalah mengevaluasi kualitas gerakan dan mengidentifikasi penyebab biomekanis dari kesalahan yang terjadi. Pada tahap ini, gerakan atlet dibandingkan dengan model teknik yang ideal. Menurut Duane Knudson (2007), diagnosis biomekanis bertujuan untuk menemukan akar penyebab kesalahan gerakan, bukan hanya gejala yang terlihat. Analisis dilakukan berdasarkan prinsip mekanika seperti:
   - Gaya
   - Momentum
   - Stabilitas
   - Torsi
   - Posisi COM

   Sebagai contoh, ketidakseimbangan saat mendarat mungkin disebabkan oleh posisi COM yang terlalu jauh dari bidang tumpuan.
4. Intervention (Intervensi atau Perbaikan)
   Tahap intervensi merupakan proses pemberian solusi atau koreksi terhadap gerakan yang telah dianalisis. Pada tahap ini, pelatih atau analis memberikan umpan balik biomekanis agar atlet dapat memperbaiki teknik gerakannya. Menurut Knudson (2007), intervensi yang efektif harus:
   - Spesifik
   - Mudah dipahami
   - Fokus pada kesalahan utama
   - Sesuai dengan kemampuan atlet

   Intervensi dapat dilakukan melalui:
   - Instruksi verbal
   - Demonstrasi teknik
   - Latihan korektif
   - Penggunaan video analisis

   Tujuan utama tahap ini adalah meningkatkan performa gerakan sekaligus mengurangi risiko cedera.
5. *Re-Observation* (Observasi Ulang)
   Tahap terakhir adalah observasi ulang untuk mengevaluasi efektivitas intervensi yang telah diberikan. Pada tahap ini, analis kembali mengamati gerakan atlet untuk melihat apakah terjadi perbaikan teknik. Menurut Duane Knudson (2007), analisis gerakan bersifat siklus dan

berkelanjutan. Oleh karena itu, observasi ulang penting untuk memastikan bahwa perubahan teknik benar-benar efektif dan sesuai dengan prinsip biomekanika. Jika kesalahan masih ditemukan, maka proses analisis dapat diulang kembali mulai dari tahap evaluasi hingga intervensi.

Kelima tahapan tersebut membentuk proses ilmiah yang sistematis dalam menganalisis dan memperbaiki gerakan olahraga. Pendekatan ini sangat penting dalam meningkatkan kualitas teknik, efisiensi gerakan, dan keselamatan atlet melalui analisis biomekanika yang praktis namun berbasis teori ilmiah.

c. Prinsip Visual yang Harus Diperhatikan

Dalam biomekanika kualitatif, analisis gerakan dilakukan melalui pengamatan visual yang sistematis dan terarah. Oleh karena itu, terdapat beberapa prinsip visual yang harus diperhatikan agar hasil analisis gerakan menjadi akurat, objektif, dan sesuai dengan prinsip biomekanika. Prinsip-prinsip ini membantu pelatih, guru, maupun analis olahraga dalam mengidentifikasi teknik gerakan secara lebih efektif serta mengurangi kesalahan interpretasi saat melakukan observasi. Menurut Duane Knudson (2007), keberhasilan analisis biomekanika kualitatif sangat dipengaruhi oleh kualitas observasi visual. Pengamat harus memahami karakteristik gerakan, fokus pengamatan, dan posisi terbaik untuk melihat gerakan secara jelas. Dengan demikian, observasi tidak dilakukan secara sembarangan, tetapi berdasarkan pendekatan ilmiah yang sistematis.

Berikut adalah prinsip visual disajikan dalam bentuk tabel :

No	Prinsip Visual	Deskripsi
1	Pemilihan Sudut Pengamatan	Gerakan harus diamati dari sudut yang tepat agar detail biomekanis terlihat jelas dan analisis menjadi lebih akurat.
2	Fokus pada Fase Penting Gerakan	Pengamatan difokuskan pada fase gerakan yang paling menentukan performa, seperti tolakan, pelepasan, dan pendaratan.
3	Memperhatikan Posisi dan Koordinasi Tubuh	Analisis dilakukan dengan melihat hubungan antarsegmen tubuh seperti kepala, lengan, pinggul, lutut, dan kaki.
4	Memperhatikan Kecepatan Gerakan	Gerakan cepat sering membutuhkan bantuan video atau pengamatan berulang agar detail teknik dapat terlihat jelas.

5	Mengamati Keseimbangan dan COM	Posisi pusat massa (center of mass/COM) terhadap bidang tumpuan digunakan untuk menilai stabilitas tubuh.
6	Konsistensi Pengamatan	Gerakan diamati berulang kali agar hasil analisis lebih objektif dan mengurangi kesalahan persepsi.
7	Observasi Sistematis dan Objektif	Pengamatan dilakukan berdasarkan prinsip biomekanika dan tujuan analisis, bukan berdasarkan penilaian subjektif.

Prinsip visual yang baik akan meningkatkan akurasi analisis teknik dan membantu proses evaluasi gerakan olahraga secara ilmiah.

Contoh konkret analisis visual gerakan :

Contoh 1: Gerakan Melempar Bola (Softball / Bola Basket)

Tahap	**Observasi**
Deskripsi	Tujuan: melempar dengan kuat dan akurat
Observasi	Bahu dan pinggang belum berputar maksimal, follow-through kurang
Evaluasi	Gerakan upper body belum sinkron dengan lower body
Instruksi	Latih rotasi pinggang dan latihan ayunan lengan penuh (dengan *resistance band*)

Contoh 2: Servis Atas dalam Bola Voli

Tahap	**Observasi**
Deskripsi	Tujuan: melambungkan bola melewati net dengan kecepatan
Observasi	Lengan terlalu cepat ditarik → bola melambung tinggi
Evaluasi	Timing dan koordinasi gerak masih lemah
Instruksi	Fokus pada ritme gerakan dan gerakan ayunan dari bahu, bukan hanya siku

Contoh 3: Lari Sprint Start

Tahap	**Observasi**
Deskripsi	Tujuan: percepatan maksimal dari blok start
Observasi	Posisi badan terlalu tegak di langkah awal
Evaluasi	Sudut lutut terlalu kecil, tidak efektif mendorong ke depan
Instruksi	Latihan drill dorongan lutut dan posisi tubuh condong ke depan saat start

BAB 7

BIOMEKANIKA KUALITATIF II: TAHAPAN ANALISIS GERAK

A. TAHAPAN ANALISIS GERAK

Analisis gerak dalam olahraga dibagi menjadi tiga tahapan utama: *Preparation* (Persiapan), *Execution* (Pelaksanaan), dan *Follow-through* (Gerakan Lanjutan). Struktur ini digunakan untuk memecah gerakan kompleks menjadi fase-fase yang lebih mudah dievaluasi.

a. *Preparation* (Persiapan)

Tahap *preparation* atau persiapan merupakan fase awal dalam suatu gerakan olahraga sebelum aksi utama dilakukan. Dalam biomekanika olahraga, fase ini memiliki peran yang sangat penting karena menjadi dasar bagi keberhasilan gerakan berikutnya. Pada tahap ini, tubuh mulai melakukan penyesuaian posisi, aktivasi otot, dan pengaturan keseimbangan agar mampu menghasilkan gerakan yang efektif, efisien, dan aman. Fase persiapan melibatkan pengaturan posisi tubuh untuk menciptakan kondisi mekanis yang optimal sebelum menghasilkan gaya utama. Atlet biasanya melakukan penyesuaian terhadap posisi kaki, sudut sendi, pusat massa (*center of mass/COM*), serta orientasi tubuh sesuai dengan tuntutan gerakan yang akan dilakukan. Persiapan yang baik memungkinkan tubuh menghasilkan gaya yang lebih besar, meningkatkan koordinasi gerakan, dan mengurangi risiko cedera. Menurut Duane Knudson (2007), fase persiapan berfungsi sebagai fondasi biomekanis bagi gerakan utama karena menentukan posisi awal tubuh yang akan memengaruhi kualitas performa secara keseluruhan. Posisi tubuh yang tidak tepat pada tahap awal dapat menyebabkan hilangnya efisiensi gerakan dan menurunkan hasil performa.

Dalam berbagai cabang olahraga fase persiapan memiliki bentuk yang berbeda sesuai karakteristik gerakannya. Pada sprint, fase persiapan terlihat pada posisi start ketika atlet menempatkan kaki pada blok start, mencondongkan tubuh ke depan, dan mengatur distribusi berat badan.

Dalam bola voli, fase persiapan terlihat saat pemain melakukan langkah awalan dan menarik lengan ke belakang sebelum melakukan smash. Sementara dalam olahraga lempar, atlet mulai memutar tubuh dan mengatur keseimbangan sebelum menghasilkan gaya lemparan.

Secara fisiologis tahap persiapan juga berkaitan dengan aktivasi sistem neuromuskular. Otot mulai berkontraksi untuk menstabilkan sendi dan menyiapkan tubuh menghadapi beban gerakan berikutnya. Fase ini membantu meningkatkan kesiapan sistem saraf dalam mengoordinasikan gerakan yang kompleks.

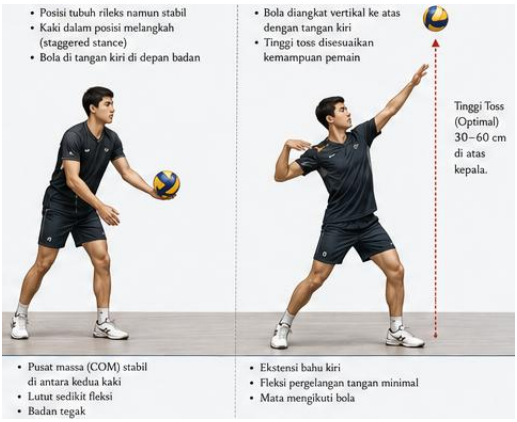
Tujuan Tahap *Preparation* (Persiapan)

1. Menyiapkan Otot dan Sendi
   Fase persiapan bertujuan mengaktifkan otot dan menempatkan sendi pada posisi optimal agar mampu menghasilkan gaya secara efektif saat gerakan utama dilakukan.
2. Mengatur Posisi Tubuh
   Persiapan membantu atlet mendapatkan posisi tubuh yang seimbang dan biomekanis efisien sebelum melakukan aksi utama.
3. Mengoptimalkan Produksi Gaya
   Posisi awal yang tepat memungkinkan transfer gaya menjadi lebih maksimal sehingga performa gerakan meningkat.
4. Menjaga Stabilitas dan Keseimbangan
   Pada fase ini, atlet mengatur posisi COM terhadap bidang tumpuan agar tubuh tetap stabil saat memulai gerakan.
5. Mengurangi Risiko Cedera
   Persiapan yang baik membantu tubuh menghadapi tekanan mekanis secara bertahap sehingga mengurangi risiko cedera pada otot, sendi, dan ligamen.
6. Meningkatkan Koordinasi Gerakan
   Tahap persiapan membantu sinkronisasi antarsegmen tubuh sehingga gerakan utama dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

Menurut Peter McGinnis (2013), fase persiapan sangat menentukan keberhasilan performa karena kualitas gerakan utama sering kali dipengaruhi oleh posisi dan kesiapan tubuh pada tahap awal gerakan.

Contoh konkrit:

- Pada servis bola voli, pemain mengangkat bola dan mengayunkan lengan ke belakang.



- Pada lempar bola basket, pemain menekuk lutut dan mengatur posisi tangan memegang bola.



b. Execution (Pelaksanaan)

Tahap *execution* atau pelaksanaan merupakan fase inti dalam suatu gerakan olahraga, yaitu saat atlet melakukan aksi utama untuk mencapai tujuan teknik yang diinginkan. Dalam biomekanika olahraga, fase ini menjadi bagian paling penting karena pada tahap inilah terjadi produksi gaya terbesar, perpindahan momentum, serta penerapan prinsip-prinsip mekanika tubuh secara langsung untuk menghasilkan performa optimal.

Jika fase preparation berfungsi sebagai fondasi, maka fase execution merupakan puncak dari seluruh rangkaian gerakan.

Tahap *execution* ditandai oleh aktivasi otot secara maksimal untuk menghasilkan gaya, percepatan, atau kecepatan tertentu sesuai dengan tuntutan gerakan. Pada fase ini terjadi transfer energi melalui kinetic chain atau rantai gerak, yaitu perpindahan tenaga dari segmen tubuh besar menuju segmen yang lebih kecil secara berurutan. Misalnya, dalam gerakan melempar, tenaga dimulai dari dorongan kaki, dilanjutkan melalui rotasi pinggul dan batang tubuh, kemudian diteruskan ke bahu, lengan, hingga akhirnya mencapai tangan untuk melepaskan objek. Transfer energi yang efisien akan menghasilkan gerakan yang lebih kuat dan efektif.

Menurut Duane Knudson (2007), fase *execution* merupakan titik utama dalam analisis biomekanika karena menentukan keberhasilan performa teknik secara langsung. Pada tahap ini, kualitas koordinasi antarsegmen tubuh, waktu kontraksi otot, serta arah dan besar gaya sangat memengaruhi hasil akhir gerakan. Selain kontraksi otot maksimal, tahap ini juga melibatkan perpindahan momentum (momentum transfer). Momentum yang telah dibangun pada fase persiapan akan dialihkan untuk menghasilkan output gerak, seperti kecepatan sprint, tinggi lompatan, atau kekuatan pukulan. Efisiensi biomekanis pada fase pelaksanaan sangat bergantung pada kemampuan atlet dalam mengontrol transfer momentum secara tepat dan sinkron.

Fase *execution* memiliki bentuk yang berbeda sesuai karakteristik gerakannya. Pada sprint, tahap ini terjadi saat atlet mendorong tanah dengan kuat untuk menghasilkan percepatan ke depan. Dalam bola voli, fase pelaksanaan terlihat ketika pemain melakukan kontak tangan dengan bola saat smash. Pada olahraga angkat beban, fase ini terjadi ketika atlet mengangkat beban melalui kombinasi gaya eksplosif dari kaki, pinggul, dan lengan. Tahap execution membutuhkan koordinasi neuromuskular yang tinggi. Otot harus berkontraksi pada waktu yang tepat, dengan intensitas yang sesuai, dan dalam urutan yang efisien. Kegagalan dalam koordinasi ini dapat menyebabkan kehilangan tenaga, penurunan performa, bahkan meningkatkan risiko cedera akibat distribusi beban yang tidak tepat.

Tujuan Tahap *Execution* (Pelaksanaan)

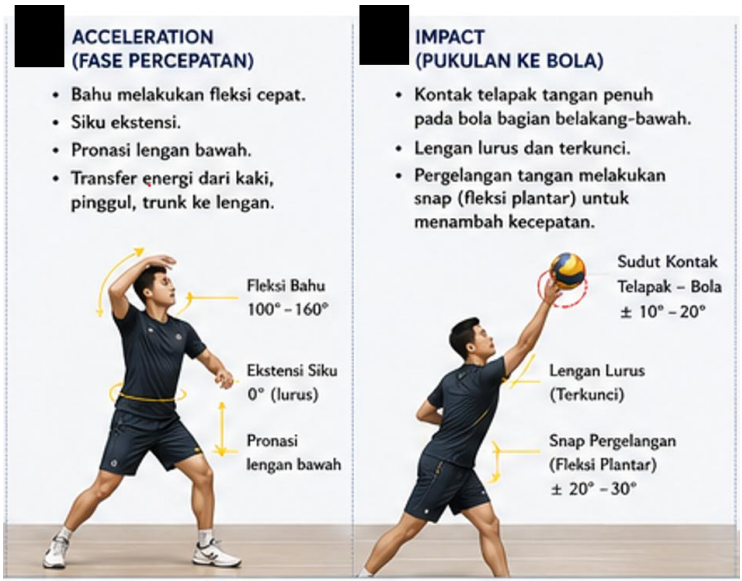
1. Mencapai Tujuan Teknik Gerakan
   Tahap pelaksanaan bertujuan menghasilkan aksi utama sesuai target, seperti melempar lebih jauh, melompat lebih tinggi, atau berlari lebih cepat.

2. Menghasilkan Gaya Maksimal
   Fase ini memungkinkan atlet mengeluarkan tenaga terbesar melalui kontraksi otot yang optimal.
3. Memindahkan Momentum Secara Efisien
   Momentum yang dibangun pada fase persiapan ditransfer ke gerakan utama untuk meningkatkan efektivitas performa.
4. Mengoptimalkan Koordinasi Antarsegmen Tubuh
   Gerakan dilakukan melalui kerja sama antarsegmen tubuh secara sinkron agar tenaga tidak terbuang.
5. Menjamin Efisiensi Gerakan
   Pelaksanaan yang biomekanis efisien memungkinkan atlet mencapai hasil maksimal dengan penggunaan energi yang lebih hemat.

Menurut Susan Hall (2014), keberhasilan suatu keterampilan olahraga sangat ditentukan oleh kualitas fase *execution*, karena fase ini merupakan wujud nyata dari penerapan prinsip biomekanika dalam performa atlet.

Contoh konkrit:

- Pada servis bola voli, pukulan lengan ke bola untuk memberikan kecepatan dan arah.



- Pada lempar bola basket, dorongan tangan dan lengan ke depan untuk melepaskan bola.



c. *Follow-through* (Gerakan Lanjutan)

Tahap *follow-through* atau penyelesaian merupakan fase akhir dari suatu rangkaian gerakan olahraga yang terjadi setelah aksi utama selesai dilakukan. Dalam biomekanika olahraga, fase ini sering dianggap sederhana, padahal memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga keselamatan, keseimbangan, serta efisiensi gerakan tubuh setelah pengeluaran gaya maksimal. Tahap *follow-through* merupakan kelanjutan alami dari gerakan utama yang memungkinkan tubuh menurunkan kecepatan, momentum, dan gaya secara bertahap sehingga tubuh dapat kembali stabil. Setelah tubuh menghasilkan gaya besar pada fase execution, tubuh masih memiliki momentum yang terus bergerak sesuai arah gerakan. Jika momentum tersebut dihentikan secara mendadak, maka akan terjadi peningkatan tekanan pada otot, sendi, dan jaringan ikat. Oleh karena itu, fase *follow-through* berfungsi untuk mendistribusikan dan mengurangi gaya secara bertahap agar tekanan mekanis terhadap tubuh menjadi lebih aman. Menurut Duane Knudson (2007), fase *follow-through* merupakan bagian penting dari teknik olahraga karena membantu tubuh mengontrol deselerasi gerakan dan mempertahankan keseimbangan setelah aksi utama dilakukan. Gerakan penyelesaian yang baik menunjukkan bahwa transfer momentum berlangsung secara efisien dan terkontrol.

Bentuk *follow-through* sangat bervariasi, pada tenis atau golf, atlet tetap melanjutkan ayunan setelah memukul bola untuk mengurangi tekanan mendadak pada bahu dan siku. Dalam bola voli, setelah melakukan smash, pemain akan melanjutkan gerakan lengan dan menyesuaikan posisi

tubuh saat mendarat agar keseimbangan tetap terjaga. Pada sprint, fase penyelesaian membantu tubuh mengurangi kecepatan secara bertahap setelah garis finis. Fase ini melibatkan kontraksi otot eksentrik, yaitu kontraksi yang berfungsi mengontrol perlambatan gerakan. Otot bekerja untuk menyerap energi dan menahan momentum tubuh agar tidak terjadi gerakan mendadak yang dapat menyebabkan cedera. Menurut Peter McGinnis (2013), kontrol deselerasi melalui *follow-through* sangat penting untuk menjaga integritas struktur muskuloskeletal selama aktivitas olahraga intensitas tinggi.

Tujuan Tahap *Follow-through* (Penyelesaian)

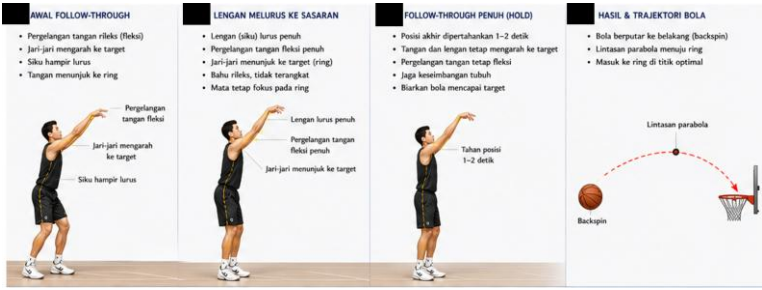
1. Mengurangi Risiko Cedera
   Fase follow-through membantu menurunkan gaya dan momentum secara bertahap sehingga mengurangi tekanan mendadak pada otot, sendi, tendon, dan ligamen.
2. Membantu Keseimbangan Tubuh
   Gerakan penyelesaian membantu mengontrol posisi COM agar tubuh tetap stabil setelah melakukan gerakan utama.
3. Mengontrol Deselerasi Gerakan
   Tubuh memperlambat gerakan secara biomekanis efisien sehingga energi tidak berhenti secara tiba-tiba.
4. Menjaga Kontrol dan Koordinasi
   Tahap ini membantu atlet mempertahankan kontrol tubuh setelah menghasilkan gaya besar atau gerakan eksplosif.
5. Menunjang Efisiensi Teknik
   Follow-through yang baik menunjukkan bahwa transfer momentum dan penggunaan gaya berlangsung secara optimal.

Contoh konkrit:

- Pada servis bola voli, lengan yang mengayun melewati bola sampai lurus ke depan.



- Pada lempar bola basket, tangan dan lengan melurus ke arah sasaran setelah bola dilepaskan.



Contoh Analisis Gerak: Servis Bola Voli

Tahapan	Observasi Kualitatif	Koreksi yang Bisa Diberikan
Preparation	Pemain mengangkat bola dengan tangan kiri, posisi kaki terbuka	Pastikan bola diangkat stabil dan posisi kaki siap seimbang
Execution	Ayunan lengan kanan terlalu pendek, kurang tenaga pukulan	Perpanjang ayunan dan tingkatkan rotasi pinggang
Follow-through	Lengan berhenti tiba-tiba, mengurangi kecepatan bola	Gerakan lengan diikuti hingga lurus ke depan

Contoh Analisis Gerak: Lempar Bola Basket

Tahapan	Observasi Kualitatif	Koreksi yang Bisa Diberikan
Preparation	Posisi badan agak tegak, lutut kurang ditekuk	Tekuk lutut lebih dalam untuk dorongan lebih kuat
Execution	Gerakan tangan kurang maksimal, bola dilepaskan terlalu cepat	Gunakan dorongan tangan yang lebih stabil dan kuat
Follow-through	Tangan berhenti seketika setelah melepaskan bola	Pastikan tangan mengikuti arah lemparan

BAB 8

BIOMEKANIKA KUANTITATIF I PENGUKURAN KECEPATAN, SUDUT, DAN GAYA DALAM OLAHRAGA

Biomekanika kuantitatif adalah analisis objektif gerakan manusia dalam olahraga yang melibatkan pengukuran numerik variabel mekanis kecepatan, sudut, dan gaya untuk meningkatkan performa dan mengurangi risiko cedera. Pendekatan ini mengubah observasi kualitatif menjadi data akurat yang dapat dianalisis untuk mengoptimalkan teknik.

A. BIOMEKANIKA KUANTITATIF

Biomekanika kuantitatif (*quantitative biomechanics*) merupakan cabang biomekanika yang mempelajari gerakan manusia melalui pengukuran numerik dan analisis data secara objektif menggunakan prinsip-prinsip mekanika serta teknologi ilmiah. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai gerakan tubuh, gaya, kecepatan, percepatan, sudut gerak, momentum, dan berbagai variabel biomekanis lainnya yang tidak dapat dinilai secara visual saja. Berbeda dengan biomekanika kualitatif yang lebih menekankan observasi deskriptif, biomekanika kuantitatif menggunakan data angka hasil pengukuran untuk menganalisis performa gerakan secara lebih detail dan presisi. Dalam biomekanika olahraga modern, pendekatan kuantitatif menjadi sangat penting karena mampu memberikan bukti ilmiah yang objektif mengenai efektivitas teknik gerakan maupun faktor-faktor yang memengaruhi performa atlet.

Menurut Duane Knudson (2007), biomekanika kuantitatif adalah proses analisis gerakan yang menggunakan pengukuran matematis dan mekanis untuk menjelaskan karakteristik gerakan manusia secara akurat. Pendekatan ini memungkinkan peneliti dan praktisi olahraga memahami

hubungan antara gaya, gerakan, dan performa tubuh secara lebih mendalam.

Menurut Peter McGinnis (2013), biomekanika kuantitatif memberikan kemampuan untuk menganalisis gerakan secara lebih objektif karena hasil analisis didasarkan pada data terukur, bukan hanya persepsi visual pengamat. Hal ini membuat hasil evaluasi lebih akurat dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pelatihan olahraga.

Dalam praktik olahraga, biomekanika kuantitatif digunakan untuk:

- Mengevaluasi teknik atlet
- Mengukur efisiensi gerakan
- Menentukan faktor penyebab cedera
- Mengembangkan program latihan
- Mengoptimalkan performa olahraga

Sebagai contoh, dalam sprint, analisis kuantitatif dapat digunakan untuk mengukur panjang langkah, frekuensi langkah, waktu kontak kaki, dan gaya dorong terhadap tanah. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan aspek teknik yang perlu diperbaiki agar performa lari menjadi lebih optimal. Selain peningkatan performa, biomekanika kuantitatif juga memiliki peran besar dalam pencegahan cedera. Dengan mengukur distribusi gaya dan beban pada tubuh, peneliti dapat mengidentifikasi pola gerakan yang berisiko menyebabkan cedera. Misalnya, gaya reaksi tanah yang terlalu besar saat mendarat dapat meningkatkan tekanan pada lutut dan meningkatkan risiko cedera ACL.

a. Pengukuran Kecepatan (*Velocity Measurement*)

Pengukuran kecepatan dalam biomekanika olahraga merupakan proses menentukan seberapa cepat tubuh atau objek bergerak dalam suatu jarak tertentu selama interval waktu tertentu. Kecepatan (*velocity*) menjadi salah satu variabel penting dalam biomekanika karena berkaitan langsung dengan performa olahraga, efisiensi gerakan, dan kemampuan menghasilkan momentum. Kecepatan tidak hanya menunjukkan “cepat atau lambatnya” gerakan, tetapi juga memperhatikan arah gerakan. Oleh karena itu, dalam biomekanika, kecepatan termasuk besaran vektor karena memiliki nilai dan arah. Analisis kecepatan sangat penting dalam berbagai cabang olahraga seperti sprint, renang, sepak bola, atletik, dan bola voli. Menurut Peter McGinnis (2013), pengukuran kecepatan digunakan untuk mengevaluasi efektivitas teknik gerakan dan kemampuan atlet dalam menghasilkan performa maksimal. Semakin tinggi kecepatan gerakan yang dapat

dihasilkan secara efisien, maka semakin baik performa atlet dalam banyak cabang olahraga. Pengukuran kecepatan dilakukan dengan menghitung perpindahan atau jarak yang ditempuh dalam waktu tertentu menggunakan alat ukur biomekanika modern maupun metode manual.

Rumus Kecepatan

Secara matematis, kecepatan dihitung menggunakan rumus:

Keterangan:

v = kecepatan (*velocity*)

s = jarak atau perpindahan (*distance/displacement*)

t = waktu (*time)*

Rumus tersebut menunjukkan bahwa kecepatan diperoleh dari hasil pembagian antara jarak yang ditempuh dengan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut.

Contoh:

Seorang atlet sprint menempuh jarak 100 meter dalam waktu 10 detik, maka:

$$v = \frac{100}{10} = 10\ \mathrm{m/s}$$

Artinya, atlet tersebut memiliki kecepatan rata-rata sebesar 10 meter per detik.

Alat Ukur Kecepatan

Dalam biomekanika kuantitatif pengukuran kecepatan memerlukan alat ukur yang mampu memberikan data gerakan secara objektif dan akurat. Pemilihan alat ukur sangat penting karena kualitas data yang diperoleh akan memengaruhi hasil analisis biomekanika. Seiring perkembangan teknologi olahraga, metode pengukuran kecepatan tidak lagi hanya menggunakan alat sederhana, tetapi juga memanfaatkan sistem digital dan perangkat elektronik canggih untuk memperoleh hasil yang lebih presisi.

Salah satu alat yang paling sederhana dan sering digunakan adalah stopwatch manual. Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan atlet dalam menempuh jarak tertentu, kemudian kecepatan dihitung menggunakan rumus biomekanika. Alat ini banyak digunakan dalam latihan dasar olahraga karena praktis, murah, dan mudah dioperasikan. Misalnya, dalam tes sprint 100 meter, pelatih dapat mencatat waktu tempuh atlet menggunakan stopwatch, lalu menghitung kecepatan rata-ratanya. Namun, kelemahan utama metode ini adalah adanya pengaruh reaksi manusia saat menekan tombol mulai dan berhenti,

sehingga tingkat akurasinya relatif terbatas, terutama pada gerakan yang sangat cepat.

Perkembangan teknologi kemudian menghadirkan penggunaan sensor gerak dan *speed gun* dalam pengukuran kecepatan olahraga. *Speed gun* bekerja menggunakan teknologi radar atau sensor digital yang mampu mendeteksi kecepatan objek secara langsung dan real-time. Dalam olahraga seperti baseball, sepak bola, tenis, dan atletik, alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan bola, kecepatan lari, maupun kecepatan gerakan tertentu. Dibanding stopwatch manual, sensor digital memiliki tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi karena tidak dipengaruhi oleh keterlambatan reaksi manusia. Menurut Anthony Blazevich (2007), penggunaan teknologi sensor dalam biomekanika olahraga membantu menghasilkan data objektif yang sangat penting dalam evaluasi performa atlet modern.

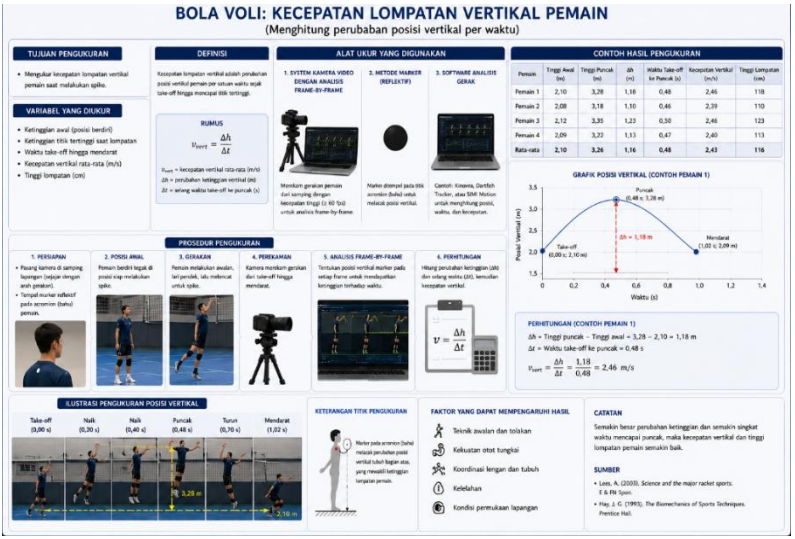
Biomekanika modern juga menggunakan sistem kamera video dengan analisis *frame-by-frame*. Metode ini dilakukan dengan merekam gerakan atlet menggunakan kamera berkecepatan tinggi, kemudian video dianalisis per frame menggunakan perangkat lunak biomekanika. Setiap frame menunjukkan perubahan posisi tubuh dalam interval waktu yang sangat kecil sehingga kecepatan gerakan dapat dihitung secara detail. Sistem ini memungkinkan analisis yang sangat akurat terhadap gerakan cepat yang sulit diamati dengan mata biasa.

Metode *frame-by-frame* sangat bermanfaat dalam analisis teknik olahraga karena tidak hanya mengukur kecepatan, tetapi juga dapat mengevaluasi sudut gerakan, koordinasi tubuh, panjang langkah, hingga pola gerakan atlet secara keseluruhan. Oleh karena itu, sistem ini banyak digunakan dalam penelitian biomekanika dan pelatihan atlet elite. Menurut Peter McGinnis (2013), analisis video digital memberikan kemampuan untuk mengevaluasi gerakan manusia secara lebih detail dan objektif dibandingkan observasi visual biasa.



Contoh konkrit Pengukuran Kecepatan:





b. Pengukuran Sudut

Pengukuran sudut dalam biomekanika olahraga merupakan proses menentukan besar sudut yang dibentuk oleh dua segmen tubuh pada suatu sendi selama gerakan berlangsung. Sudut gerak ini dikenal sebagai joint angle dan menjadi salah satu variabel penting dalam analisis biomekanika karena berkaitan langsung dengan teknik gerakan, efisiensi mekanik, fleksibilitas, dan risiko cedera. Secara biomekanis, hampir semua gerakan olahraga melibatkan perubahan sudut pada sendi, seperti siku, lutut, bahu, pinggul, dan pergelangan kaki. Misalnya, pada gerakan menendang bola, sudut lutut berubah secara cepat selama fase ayunan kaki. Dalam squat, besar sudut lutut dan pinggul menentukan kualitas teknik serta distribusi beban pada tubuh.

Menurut Duane Knudson (2007), pengukuran sudut sangat penting dalam biomekanika karena membantu menjelaskan pola gerakan, koordinasi tubuh, serta efisiensi teknik olahraga. Sudut sendi yang optimal memungkinkan gerakan dilakukan secara lebih efektif dan aman.

Pengukuran sudut digunakan untuk:

- Mengevaluasi teknik olahraga
- Mengukur rentang gerak (*range of motion*/ROM)
- Menganalisis postur tubuh
- Menilai fleksibilitas dan mobilitas
- Mengidentifikasi risiko cedera

Alat Ukur Pengukuran Sudut dalam Biomekanika

Pengukuran sudut gerak memerlukan alat ukur yang mampu memberikan data secara objektif dan akurat mengenai perubahan posisi sendi selama gerakan berlangsung. Penggunaan alat ukur ini sangat penting karena sudut gerakan tubuh berkaitan langsung dengan teknik olahraga, efisiensi mekanik, performa atlet, serta risiko cedera. Seiring perkembangan teknologi, metode pengukuran sudut berkembang dari alat manual sederhana hingga sistem digital modern berbasis sensor dan analisis komputer. Salah satu alat yang paling umum digunakan adalah goniometer manual. **Goniometer** merupakan alat sederhana berbentuk seperti busur derajat yang digunakan untuk mengukur besar sudut pada sendi tubuh. Dalam penggunaannya, titik pusat goniometer ditempatkan pada pusat sendi, kemudian kedua lengan alat disejajarkan dengan segmen tubuh yang membentuk sudut. Alat ini banyak digunakan dalam fisioterapi, rehabilitasi olahraga, dan evaluasi rentang gerak (*range of motion*/ROM). Kelebihan goniometer adalah mudah digunakan, praktis, dan biaya relatif murah. Namun, akurasi pengukuran sangat dipengaruhi oleh keterampilan pengamat dan kurang efektif digunakan untuk menganalisis gerakan yang cepat dan kompleks.

Perkembangan biomekanika modern kemudian menghadirkan penggunaan ***motion capture system*** atau sistem analisis gerak tiga dimensi (3D *motion analysis*). Teknologi ini menggunakan kamera berkecepatan tinggi dan sensor khusus untuk merekam gerakan tubuh secara detail. Marker atau penanda ditempatkan pada titik-titik tertentu tubuh atlet, kemudian sistem kamera merekam perubahan posisi marker selama gerakan berlangsung. Data tersebut diolah menggunakan perangkat lunak biomekanika untuk menghasilkan informasi mengenai sudut sendi, kecepatan gerak, percepatan, hingga pola koordinasi tubuh secara sangat akurat. Sistem ini banyak digunakan dalam analisis sprint, teknik lempar, gerakan lompat, rehabilitasi cedera, dan evaluasi postur tubuh.

Perkembangan teknologi digital juga memungkinkan penggunaan aplikasi *smartphone* dengan sensor ***gyroscope*** dan ***accelerometer*** sebagai alat ukur sudut gerakan. Smartphone modern memiliki sensor internal yang mampu mendeteksi perubahan posisi, orientasi, dan percepatan tubuh. Dengan bantuan aplikasi biomekanika tertentu, smartphone dapat digunakan untuk mengukur sudut gerak sendi secara praktis dan cepat. Metode ini menjadi semakin populer karena lebih murah, mudah diakses, dan fleksibel digunakan di lapangan tanpa memerlukan laboratorium biomekanika khusus. Pelatih maupun atlet dapat langsung melakukan analisis sederhana terhadap gerakan olahraga menggunakan perangkat

yang sehari-hari digunakan. Namun, tingkat akurasi metode ini masih lebih rendah dibanding sistem motion capture profesional karena dipengaruhi oleh kualitas sensor dan stabilitas perangkat.



Contoh konkrit Pengukuran **Sudut** :





c. Pengukuran Gaya (*Force Measurement*)

Pengukuran gaya dalam biomekanika olahraga merupakan proses menentukan besar dorongan atau tarikan yang terjadi ketika tubuh berinteraksi dengan permukaan atau objek lain selama melakukan gerakan. Gaya (force) menjadi salah satu konsep paling penting dalam biomekanika karena seluruh gerakan manusia pada dasarnya terjadi akibat adanya gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot maupun pengaruh gaya eksternal seperti gravitasi dan gaya reaksi tanah.

Gaya didefinisikan sebagai dorongan atau tarikan yang mampu menyebabkan perubahan gerak, arah, kecepatan, maupun bentuk suatu benda. Dalam aktivitas olahraga, gaya muncul ketika atlet melakukan kontak dengan tanah, alat olahraga, atau tubuh lawan. Misalnya, saat pelari mendorong tanah, tubuh menghasilkan gaya untuk menciptakan percepatan ke depan. Pada olahraga sepak bola, gaya terjadi ketika kaki menendang bola, sedangkan dalam angkat beban, gaya digunakan untuk mengangkat dan mengontrol beban terhadap pengaruh gravitasi. Menurut Isaac Newton, gaya merupakan penyebab utama perubahan gerak pada suatu benda. Konsep ini menjadi dasar biomekanika olahraga modern, terutama dalam memahami hubungan antara gaya, percepatan, dan performa atlet. Semakin besar gaya yang dapat dihasilkan dan dikontrol secara efisien, maka semakin besar pula kemampuan atlet untuk menghasilkan kecepatan, kekuatan, dan daya ledak gerakan. Dalam biomekanika olahraga, pengukuran gaya digunakan untuk mengevaluasi bagaimana tubuh menghasilkan tenaga dan mentransfer energi selama aktivitas fisik. Menurut Peter McGinnis (2013), analisis gaya membantu

menjelaskan efisiensi teknik gerakan serta kemampuan atlet dalam menghasilkan performa optimal. Gaya yang bekerja pada tubuh dapat berupa: gaya otot (muscle force), gaya gravitasi, gaya reaksi tanah (ground reaction force), serta gaya gesek (friction force). Besarnya gaya biasanya diukur dalam satuan Newton (N).

Pengukuran gaya memiliki peranan penting dalam berbagai aspek olahraga, seperti meningkatkan performa atlet, menganalisis teknik gerakan, mengevaluasi kekuatan eksplosif, serta mencegah cedera olahraga. Misalnya, dalam analisis lompatan, biomekanika dapat mengukur besar gaya dorong kaki terhadap tanah untuk mengetahui kemampuan daya ledak otot tungkai. Dalam rehabilitasi cedera, pengukuran gaya digunakan untuk mengetahui apakah distribusi beban tubuh sudah kembali normal setelah pemulihan. Analisis gaya juga membantu memahami pola gerakan yang berisiko menyebabkan cedera. Gaya yang terlalu besar atau distribusi tekanan yang tidak seimbang pada sendi dapat meningkatkan risiko kerusakan jaringan seperti ligamen, tendon, dan tulang rawan. Oleh karena itu, biomekanika olahraga menggunakan pengukuran gaya sebagai dasar ilmiah untuk mengembangkan teknik gerakan yang lebih aman dan efisien. Dengan memahami gaya yang bekerja pada tubuh, pelatih dan peneliti dapat mengembangkan strategi latihan yang lebih efektif untuk meningkatkan kualitas performa olahraga.

Alat Ukur Pengukuran Gaya dalam Biomekanika

Dalam biomekanika kuantitatif, pengukuran gaya memerlukan alat khusus yang mampu mendeteksi besarnya dorongan, tekanan, atau tarikan yang terjadi selama aktivitas olahraga. Penggunaan alat ukur gaya sangat penting karena gaya tidak dapat diamati secara langsung hanya melalui penglihatan biasa. Oleh karena itu, teknologi biomekanika modern digunakan untuk memperoleh data yang objektif, akurat, dan terukur mengenai interaksi tubuh dengan lingkungan selama gerakan berlangsung.

Salah satu alat yang paling sering digunakan dalam biomekanika olahraga adalah force plate. *Force plate* merupakan alat berbentuk platform atau lantai sensor yang mampu mengukur gaya reaksi tanah (ground reaction force) ketika atlet berdiri, berjalan, berlari, melompat, atau mendarat di atasnya. Saat tubuh memberikan tekanan pada permukaan force plate, sensor di dalam alat akan mendeteksi besar dan arah gaya yang dihasilkan. Data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk angka maupun grafik biomekanis. Dalam olahraga, *force plate* banyak digunakan untuk menganalisis kemampuan daya ledak otot, keseimbangan tubuh, teknik pendaratan, dan distribusi gaya saat bergerak.

Misalnya, pada analisis vertical jump, force plate dapat menunjukkan seberapa besar gaya dorong kaki terhadap tanah dan seberapa cepat atlet menghasilkan gaya tersebut.

Selain *force plate* biomekanika olahraga juga menggunakan sensor tekanan pada sepatu atau sarung tangan. Sensor ini dirancang untuk mengukur distribusi tekanan pada bagian tubuh tertentu selama aktivitas olahraga berlangsung. Pada sepatu olahraga sensor tekanan digunakan untuk menganalisis pola langkah, distribusi beban kaki, serta titik tekanan terbesar saat berjalan atau berlari. Dalam olahraga tinju atau bela diri, sensor pada sarung tangan dapat digunakan untuk mengukur besar gaya pukulan. Kelebihan sensor tekanan adalah lebih fleksibel dan dapat digunakan langsung di lapangan saat atlet melakukan gerakan nyata dalam situasi latihan maupun pertandingan. Data yang diperoleh membantu pelatih memahami bagaimana tekanan tubuh didistribusikan selama gerakan berlangsung sehingga teknik dapat diperbaiki secara lebih spesifik. Namun, tingkat akurasi sensor tekanan biasanya masih lebih rendah dibanding force plate laboratorium.



Perkembangan teknologi juga menghadirkan penggunaan sensor gaya digital *(load cell*) dalam biomekanika olahraga. *Load cell* merupakan sensor elektronik yang digunakan untuk mengukur besar gaya atau beban secara digital melalui perubahan tekanan mekanis menjadi sinyal listrik. Sensor ini banyak digunakan pada alat latihan kekuatan, penelitian biomekanika otot, dan pengukuran gaya tarik maupun dorong. ***Load cell*** dapat digunakan

untuk mengukur kekuatan kontraksi otot, gaya tarikan, maupun tekanan yang dihasilkan tubuh selama latihan. Data yang diperoleh memiliki tingkat presisi tinggi sehingga sangat membantu dalam evaluasi performa dan pengembangan program latihan berbasis data ilmiah.

Alat ukur pengukuran gaya dalam biomekanika berkembang dari sistem laboratorium berpresisi tinggi hingga perangkat digital yang lebih fleksibel digunakan di lapangan. Setiap alat memiliki fungsi dan keunggulan masing-masing, namun semuanya bertujuan memperoleh data biomekanika yang akurat untuk meningkatkan performa olahraga, memperbaiki teknik gerakan, dan mengurangi risiko cedera.

Contoh konkrit Pengukuran **Gaya** :

- Atletik: Gaya dorong kaki saat start sprint di blok.



- Bela diri: Gaya pukulan tangan saat sparring, diukur dengan sarung tangan sensor.



- Futsal / Sepak Bola: Gaya kontak kaki pada bola saat menendang.



Penerapan Pengukuran dalam Cabang Olahraga

Olahraga	Variabel yang Diukur	Alat Ukur & Metode	Contoh Praktis
Futsal	Kecepatan sprint	Stopwatch / sensor gerak	Mengukur kecepatan pemain saat sprint mengejar bola
Sepak Bola	Sudut ayunan kaki	Goniometer / video analisis	Mengukur sudut tekukan lutut dan kaki saat menendang bola

Bola Voli	Gaya lompatan	Force plate / sensor tekanan	Mengukur gaya dorong kaki saat jump smash
Atletik	Kecepatan dan gaya	Stopwatch, force plate	Mengukur kecepatan lari dan gaya dorong kaki saat start
Basket	Sudut lutut saat shoot	Motion capture / goniometer	Mengukur sudut sendi lutut saat jump shot
Bela Diri	Gaya pukulan tangan	Sarung tangan sensor gaya	Mengukur kekuatan pukulan tangan dalam sparring

BAB 9

BIOMEKANIKA KUANTITATIF II PENGGUNAAN SOFTWARE KINOVEA UNTUK ANALISIS GERAK

A. SOFTWARE KINOVEA

Kinovea merupakan perangkat lunak (software) analisis gerakan yang banyak digunakan dalam biomekanika olahraga untuk mengamati, merekam, dan mengevaluasi teknik gerakan atlet melalui analisis video. Software ini dirancang khusus untuk membantu pelatih, peneliti, guru olahraga, dan praktisi biomekanika dalam melakukan analisis gerakan secara visual maupun kuantitatif dengan cara yang lebih sederhana dan praktis. Kinovea bersifat *open-source* dan dapat digunakan secara gratis, sehingga menjadi salah satu software biomekanika paling populer dalam dunia pendidikan olahraga dan pelatihan atlet. Software ini memungkinkan pengguna melakukan analisis gerakan secara detail melalui fitur slow motion, pengukuran sudut sendi, pengukuran waktu, analisis lintasan gerak, hingga perbandingan gerakan antarvideo. Menurut Duane Knudson (2007), penggunaan video analisis dalam biomekanika membantu meningkatkan objektivitas observasi gerakan dan memungkinkan evaluasi teknik dilakukan secara lebih akurat dibanding pengamatan visual biasa.

Kinovea menjadi alat yang sangat efektif karena mampu mengintegrasikan analisis biomekanika dengan teknologi digital yang mudah digunakan. Fungsi Software Kinovea dalam Biomekanika Olahraga digunakan untuk:

- Menganalisis teknik gerakan atlet
- Mengukur sudut sendi selama gerakan
- Mengukur kecepatan dan waktu gerakan
- Mengevaluasi pola gerak olahraga
- Membandingkan teknik antar atlet

- Membantu proses pembelajaran keterampilan motorik
- Mendukung rehabilitasi cedera olahraga

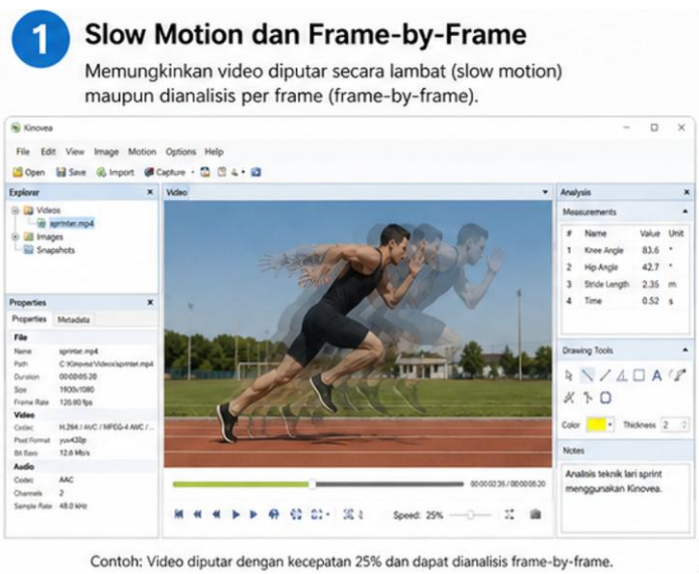
Software ini sering digunakan dalam analisis:
- Sprint
- Smash bola voli
- Tendangan sepak bola
- Teknik lempar
- Gerakan squat
- Lompatan atletik

Melalui analisis video, pelatih dapat melihat kesalahan teknik yang sulit diamati secara langsung karena gerakan olahraga sering berlangsung sangat cepat.

B. FITUR UTAMA KINOVEA

1. Slow Motion dan *Frame-by-Frame*

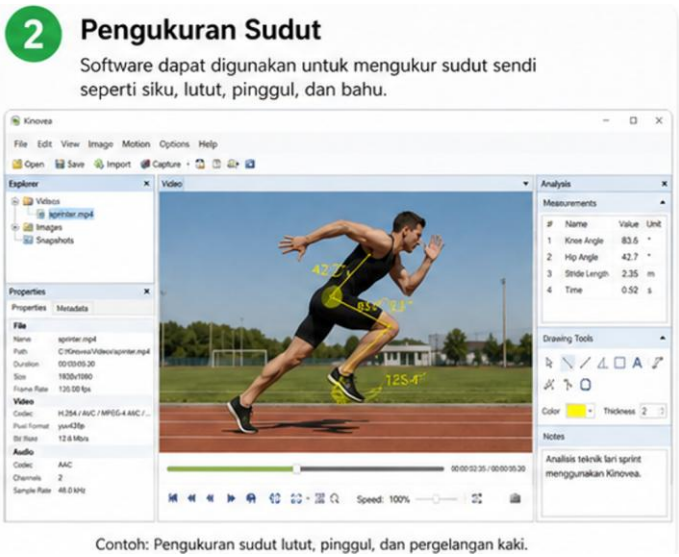
Kinovea memungkinkan video diputar secara lambat (*slow motion*) maupun dianalisis per frame (*frame-by-frame*). Fitur ini membantu pengguna melihat detail gerakan dengan lebih jelas.



Contoh: Video diputar dengan kecepatan 25% dan dapat dianalisis frame-by-frame.

2. Pengukuran Sudut

Software dapat digunakan untuk mengukur sudut sendi seperti siku, lutut, pinggul, dan bahu selama gerakan berlangsung.



Contoh: Pengukuran sudut lutut, pinggul, dan pergelangan kaki.

3. Analisis Waktu dan Kecepatan

Kinovea mampu menghitung waktu gerakan dan memperkirakan kecepatan berdasarkan perpindahan objek dalam video.



Contoh: Menghitung waktu tempuh 10 m dan kecepatan rata-rata.

4. Tracking Gerakan

Fitur tracking memungkinkan lintasan gerak tubuh atau objek dianalisis secara visual.



Contoh: Tracking lintasan gerak titik pada tumit saat sprint.

5. Perbandingan Video

Pengguna dapat membandingkan dua video gerakan secara bersamaan untuk mengevaluasi perbedaan teknik.



Contoh: Membandingkan sudut lutut dan pinggul antara dua teknik sprint.

C. KELEBIHAN DAN KETERBATASAN SOFTWARE KINOVEA

Kelebihan Software Kinovea

Beberapa kelebihan Kinovea antara lain:

- Gratis dan mudah diakses
- Tampilan sederhana dan mudah digunakan
- Cocok untuk pendidikan dan penelitian olahraga
- Mendukung analisis biomekanika dasar hingga menengah
- Dapat digunakan tanpa alat laboratorium mahal

Penggunaan software analisis video seperti Kinovea membantu meningkatkan efektivitas evaluasi teknik olahraga karena data gerakan dapat diamati secara lebih objektif dan sistematis.

Keterbatasan Software Kinovea

Meskipun sangat bermanfaat, Kinovea memiliki beberapa keterbatasan, seperti:

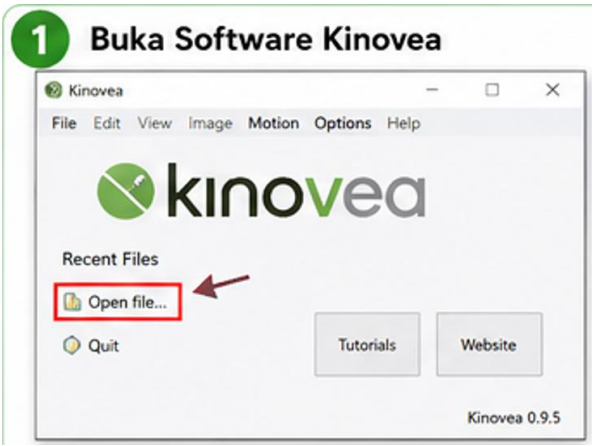
- Analisis 3D terbatas
- Akurasi dipengaruhi kualitas video
- Membutuhkan kalibrasi yang tepat
- Tidak sekompleks sistem *motion capture* laboratorium

Namun demikian, software ini tetap sangat efektif digunakan dalam pembelajaran biomekanika olahraga dan pelatihan teknik dasar atlet.

D. TAHAPAN PENGGUNAAN SOFTWARE KINOVEA

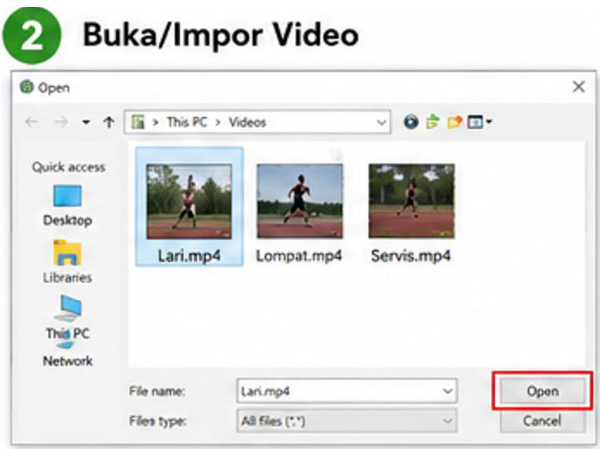
1. Membuka Software Kinovea

Langkah pertama adalah menjalankan aplikasi Kinovea pada komputer atau laptop. Setelah aplikasi terbuka, pengguna memilih menu “Open File” untuk membuka video yang akan dianalisis.



2. Mengimpor atau Membuka Video

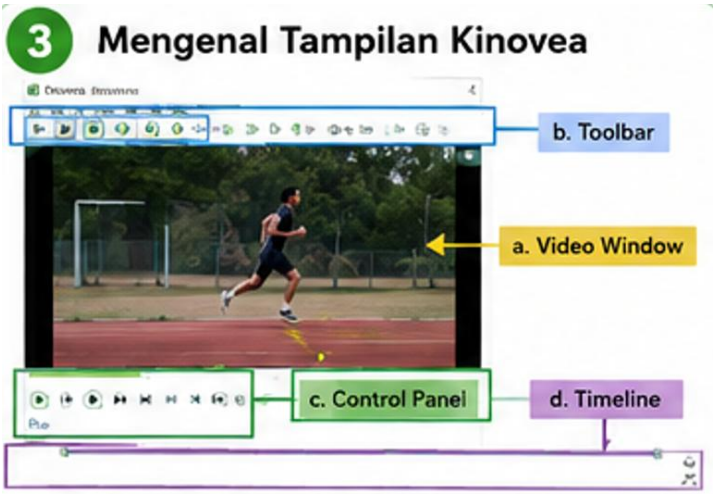
Pilih file video gerakan olahraga yang ingin dianalisis, kemudian klik "Open". Video akan tampil pada jendela utama Kinovea dan siap digunakan untuk analisis biomekanika.



3. Mengenal Tampilan Kinovea

Pengguna perlu memahami bagian utama tampilan software, yaitu:

- *Video Window* : tempat video ditampilkan
- *Toolbar* : berisi alat analisis
- *Control Panel* : tombol *play*, *pause*, dan navigasi frame
- *Timeline* : menunjukkan posisi waktu video



Pemahaman tampilan ini penting agar proses analisis menjadi lebih mudah.

4. Mengatur Kalibrasi (Skala Pengukuran)

Kalibrasi dilakukan agar hasil pengukuran memiliki ukuran nyata dan akurat. Pengguna menggunakan alat *Line Tool*, kemudian membuat garis pada objek yang ukuran sebenarnya sudah diketahui, misalnya 1 meter atau 100 cm. Setelah itu masukkan nilai ukuran sebenarnya pada kolom kalibrasi. Kalibrasi penting untuk: Pengukuran jarak, Kecepatan, Panjang langkah dan Analisis lintasan gerak



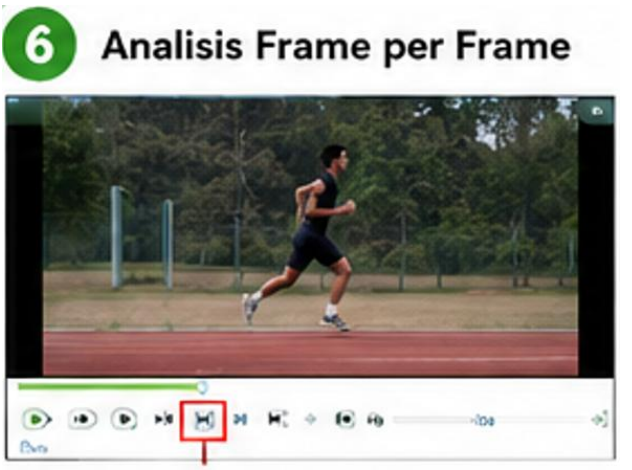
5. Memutar dan Mengatur Kecepatan Video

Video dapat diputar menggunakan tombol *Play*. Pengguna juga dapat memperlambat kecepatan video (*slow motion*) agar detail gerakan lebih mudah diamati. Fitur ini membantu analisis: Sprint, Smash bola voli, Teknik tendangan dan Gerakan lompat



6. Analisis *Frame-by-Frame*

Kinovea memungkinkan video dianalisis per frame menggunakan tombol *Next Frame* atau *Previous Frame*. Metode ini membantu pengguna melihat perubahan posisi tubuh secara detail pada setiap tahap gerakan. Analisis *frame-by-frame* sangat penting dalam biomekanika karena banyak gerakan olahraga berlangsung sangat cepat.



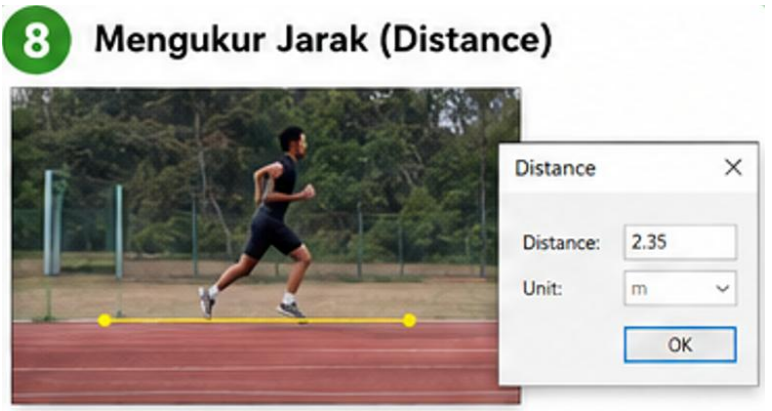
7. Mengukur Sudut (*Angle Measurement*)

Pilih alat *Angle Tool*, lalu klik tiga titik pada bagian sendi tubuh yang ingin diukur, misalnya: Bahu, Siku, Pinggul, Lutut dan Pergelangan kaki Kinovea akan otomatis menampilkan besar sudut gerakan. Fitur ini digunakan untuk: Analisis teknik olahraga, Evaluasi postur danPengukuran ROM (*range of motion*)



8. Mengukur Jarak (*Distance Measurement*)

Gunakan *Line Tool* untuk mengukur jarak perpindahan gerakan. Setelah garis dibuat pada objek yang diukur, Kinovea akan menampilkan nilai jarak secara otomatis. Pengukuran ini digunakan untuk: Panjang langkah sprint, Tinggi lompatan dan Jarak perpindahan tubuh



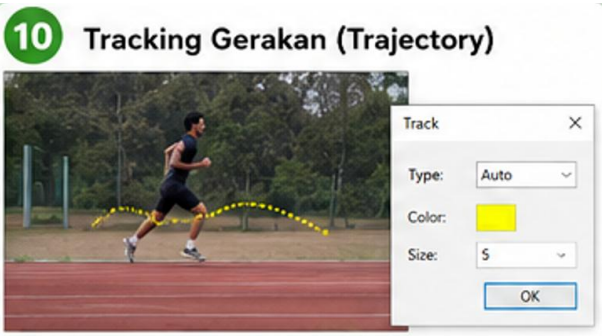
9. Mengukur Waktu (*Time Measurement*)

Pengguna dapat mengukur durasi gerakan menggunakan fitur Time Tool dengan menentukan titik awal dan akhir gerakan pada timeline video. Fitur ini membantu menghitung: Waktu reaksi, Durasi gerakan dan Kecepatan gerak.



10. Tracking Gerakan (*Trajectory Tracking*)

Fitur *Tracking* digunakan untuk melacak lintasan gerak tubuh atau objek secara otomatis. Pengguna memilih titik objek tertentu, kemudian Kinovea akan membuat jalur pergerakan selama video berlangsung. Fitur ini sangat berguna untuk: Analisis lintasan bola, Jalur pusat massa (COM) dan Pola gerak atlet



11. Membandingkan Dua Video

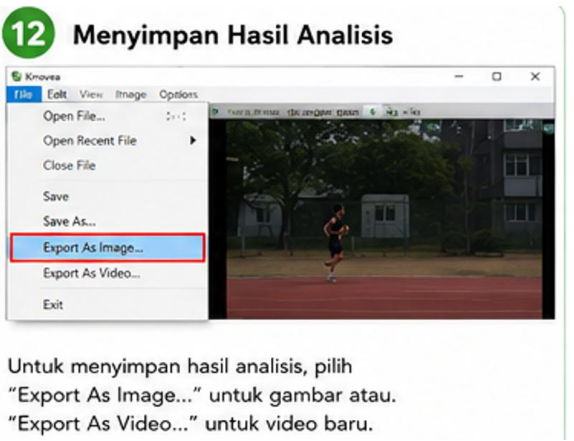
Kinovea memungkinkan dua video ditampilkan secara bersamaan untuk membandingkan teknik gerakan atlet. Fungsi fitur ini:

- Membandingkan atlet profesional dan pemula
- Mengevaluasi perubahan teknik latihan
- Menganalisis kesalahan gerakan

Perbandingan visual membantu pelatih memberikan umpan balik yang lebih objektif.



12. Menyimpan Hasil Analisis
    Setelah analisis selesai, hasil dapat disimpan dalam bentuk:
    - Gambar (*Export as Image*)
    - Video (*Export as Video*)



Hasil analisis ini dapat digunakan untuk:
- Dokumentasi penelitian
- Evaluasi latihan
- Materi pembelajaran biomekanika olahraga

BAB 10

ANALISIS BIOMEKANIKA GERAK LARI DAN LOMPAT

Analisis biomekanika gerak lari dan lompat berfokus pada penerapan prinsip mekanika (kinematika dan kinetika) untuk mengoptimalkan teknik, meningkatkan kinerja, dan meminimalkan risiko cedera. Lari melibatkan siklus ayunan dan tumpuan untuk efisiensi gaya dorong, sementara lompat memaksimalkan *take-off* (tolakan) melalui konversi kecepatan horizontal menjadi vertikal.

A. BIOMEKANIKA GERAK LARI

Biomekanika gerak lari adalah studi tentang mekanika gerakan tubuh manusia, gaya internal/eksternal, serta interaksi faktor fisiologis yang memaksimalkan kecepatan dan efisiensi sambil mengurangi risiko cedera. Gerakan ini melibatkan siklus langkah (*stance* dan *swing phase*), gaya dorong ke belakang (*pawing*), dan fase melayang, di mana tubuh mengandalkan keseimbangan, kekuatan otot, dan rentang gerak sendi yang luas.

a. Fase-fase Gerak lari

Dalam biomekanika olahraga gerak lari merupakan aktivitas lokomotor yang melibatkan koordinasi kompleks antara sistem otot, tulang, sendi, dan sistem saraf untuk menghasilkan perpindahan tubuh secara cepat dan efisien. Gerakan lari terdiri atas beberapa fase yang saling berhubungan dan berlangsung secara berulang dalam satu siklus gerak. Setiap fase memiliki fungsi biomekanis tertentu yang memengaruhi kecepatan, efisiensi gerakan, penggunaan energi, dan risiko cedera. Menurut Peter McGinnis (2013), analisis fase gerak lari sangat penting dalam biomekanika olahraga karena membantu memahami bagaimana tubuh menghasilkan gaya, mempertahankan keseimbangan, dan mentransfer momentum selama

berlari. Secara umum, gerak lari dapat dibagi menjadi fase tolakan, fase ayunan, dan fase kontak tanah.

1. Fase Tolakan (*Propulsion Phase*)



Fase tolakan merupakan tahap ketika kaki memberikan dorongan terhadap permukaan tanah untuk menghasilkan gerakan tubuh ke depan. Dalam fase ini, otot-otot tungkai terutama otot *quadriceps*, *gluteus*, *gastrocnemius*, dan soleus bekerja secara kuat untuk menghasilkan gaya dorong yang maksimal. Fase tolakan terjadi ketika kaki berada di belakang tubuh dan melakukan ekstensi pada sendi pinggul, lutut, serta pergelangan kaki. Dorongan kaki terhadap tanah menghasilkan gaya reaksi tanah (*ground reaction force*) yang mendorong tubuh bergerak ke depan sesuai prinsip Hukum Newton III tentang aksi dan reaksi. Menurut Duane Knudson (2007), efektivitas fase tolakan sangat menentukan kecepatan lari karena semakin besar gaya horizontal yang dihasilkan, maka semakin besar percepatan tubuh ke depan. Selain menghasilkan kecepatan, fase tolakan juga berperan dalam mempertahankan momentum gerak dan efisiensi langkah. Dalam sprint fase tolakan berlangsung sangat eksplosif dengan waktu kontak kaki yang sangat singkat. Atlet elite mampu menghasilkan gaya besar dalam waktu yang cepat sehingga menghasilkan percepatan yang tinggi. Sebaliknya, tolakan yang kurang optimal dapat menyebabkan kehilangan energi dan menurunkan performa lari.

2. Fase Ayunan (*Swing Phase*)





Fase ayunan merupakan fase ketika kaki bergerak ke depan setelah meninggalkan permukaan tanah untuk mempersiapkan langkah berikutnya. Pada fase ini, tungkai bergerak bebas di udara melalui koordinasi gerakan sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Fase ayunan bertujuan membawa kaki kembali ke posisi depan secepat dan seefisien mungkin tanpa mengganggu keseimbangan tubuh. Otot fleksor pinggul bekerja mengangkat paha ke depan, sedangkan lutut melakukan fleksi untuk mengurangi momen inersia sehingga ayunan kaki menjadi lebih cepat. Menurut Anthony Blazevich (2007), fase ayunan yang efisien membantu meningkatkan frekuensi langkah dan mengurangi pengeluaran energi selama berlari. Atlet yang mampu mengontrol ayunan tungkai dengan baik biasanya memiliki pola lari yang lebih cepat dan ekonomis. Selain itu, posisi lengan juga berperan penting pada fase ayunan karena membantu menjaga keseimbangan dan ritme gerakan tubuh. Ayunan lengan yang sinkron dengan gerakan tungkai membantu mengontrol rotasi tubuh selama berlari. Dalam biomekanika sprint, fase ayunan harus dilakukan secara cepat

namun tetap relaks agar tidak meningkatkan ketegangan otot yang berlebihan. Gerakan yang terlalu tegang dapat menghambat efisiensi lari dan meningkatkan konsumsi energi.

3. Fase Kontak Tanah (*Ground Contact Phase*)





Fase kontak tanah merupakan tahap ketika kaki menyentuh permukaan tanah dan menerima beban tubuh. Pada fase ini terjadi interaksi mekanis antara tubuh dan permukaan melalui gaya reaksi tanah (*ground reaction force*). Fase kontak tanah memiliki fungsi penting dalam menyerap benturan, menjaga keseimbangan, dan mempersiapkan tubuh untuk menghasilkan tolakan berikutnya. Ketika kaki menyentuh tanah, otot dan sendi bekerja untuk mengontrol distribusi gaya agar tekanan yang diterima tubuh tidak menyebabkan cedera. Menurut Peter McGinnis (2013), kualitas fase kontak tanah sangat memengaruhi efisiensi lari karena waktu kontak yang terlalu lama dapat mengurangi kecepatan gerak. Atlet sprint elite

biasanya memiliki waktu kontak tanah yang sangat singkat sehingga kehilangan momentum dapat diminimalkan. Pada fase ini, otot hamstring, quadriceps, dan otot betis bekerja secara eksentrik untuk menyerap gaya benturan. Selain itu, posisi kaki saat menyentuh tanah juga sangat penting. Kontak kaki yang terlalu jauh di depan tubuh dapat meningkatkan gaya pengereman (*braking force*) dan mengurangi efisiensi gerakan. Dalam biomekanika olahraga, analisis fase kontak tanah sering digunakan untuk mengevaluasi risiko cedera, terutama pada lutut, pergelangan kaki, dan tendon Achilles. Distribusi gaya yang tidak seimbang atau teknik kontak yang salah dapat meningkatkan tekanan mekanis pada struktur tubuh tertentu.

b. Prinsip Biomekanika Lari

Dalam biomekanika olahraga, performa lari dipengaruhi oleh berbagai prinsip mekanika tubuh yang berkaitan dengan produksi gaya, efisiensi gerakan, koordinasi tubuh, dan penggunaan energi. Prinsip biomekanika membantu menjelaskan bagaimana tubuh menghasilkan kecepatan dan mempertahankan gerakan lari secara optimal. Analisis biomekanika pada lari sangat penting karena sedikit perubahan teknik dapat memengaruhi performa atlet secara signifikan. Menurut Peter McGinnis (2013), biomekanika lari berfokus pada hubungan antara gaya, gerakan tubuh, dan efisiensi mekanik untuk menghasilkan performa maksimal dengan pengeluaran energi yang minimal. Beberapa prinsip utama biomekanika dalam lari meliputi gaya reaksi tanah, sudut sendi saat tolakan, serta keseimbangan antara frekuensi dan panjang langkah.

1. Gaya Reaksi Tanah (*Ground Reaction Force*)

Gaya reaksi tanah (ground reaction force/GRF) merupakan gaya yang diberikan permukaan tanah terhadap tubuh sebagai respons terhadap gaya yang diberikan tubuh ke tanah. Prinsip ini didasarkan pada Hukum Newton III yang menyatakan bahwa setiap aksi akan menghasilkan reaksi yang sama besar dan berlawanan arah. Dalam gerak lari ketika kaki menekan permukaan tanah, tanah memberikan gaya balik yang mendorong tubuh ke depan dan ke atas. Semakin besar gaya horizontal yang dihasilkan secara efektif, maka semakin besar percepatan dan kecepatan lari yang dapat dicapai atlet. Menurut Duane Knudson (2007), gaya reaksi tanah merupakan komponen utama dalam biomekanika lari karena menentukan kemampuan tubuh menghasilkan momentum dan mempertahankan kecepatan gerak. Atlet sprint elite mampu menghasilkan gaya reaksi tanah yang sangat besar dalam waktu kontak yang sangat singkat sehingga

menghasilkan akselerasi yang tinggi. Selain meningkatkan kecepatan, gaya reaksi tanah juga berperan dalam efisiensi lari. Distribusi gaya yang baik membantu mengurangi kehilangan energi selama kontak kaki dengan tanah. Sebaliknya, gaya pengereman (*braking force*) yang terlalu besar dapat memperlambat gerakan dan meningkatkan konsumsi energi. Dalam biomekanika olahraga analisis gaya reaksi tanah sering dilakukan menggunakan *force plate* untuk mengetahui pola gaya yang dihasilkan atlet selama berlari.

2. Sudut Lutut dan Pergelangan Kaki Saat Tolakan

Sudut lutut dan pergelangan kaki saat fase tolakan memiliki pengaruh besar terhadap kemampuan tubuh menghasilkan gaya dorong ke depan. Pada fase ini, sendi lutut dan pergelangan kaki melakukan ekstensi untuk menghasilkan tenaga yang mendorong tubuh bergerak maju. Posisi sudut sendi menentukan efektivitas kontraksi otot dan arah gaya yang dihasilkan. Sudut yang optimal memungkinkan otot bekerja pada panjang dan posisi mekanik terbaik sehingga produksi gaya menjadi lebih maksimal. Menurut Anthony Blazevich (2007), sudut sendi yang tepat saat tolakan membantu meningkatkan efisiensi transfer gaya dari otot ke permukaan tanah. Pada sprint, atlet elite biasanya memiliki ekstensi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki yang sangat kuat dan cepat sehingga menghasilkan gaya propulsi yang besar.

Pergelangan kaki juga berperan penting dalam biomekanika lari karena berfungsi sebagai titik akhir transfer tenaga dari tungkai ke tanah. Gerakan plantar fleksion pada pergelangan kaki membantu menghasilkan dorongan tambahan saat kaki meninggalkan permukaan. Jika sudut lutut atau pergelangan kaki terlalu kecil atau terlalu besar, maka arah gaya dapat menjadi kurang efisien. Hal ini dapat menyebabkan kehilangan tenaga, penurunan kecepatan, dan peningkatan tekanan pada sendi serta otot tertentu. Menurut Susan Hall (2014), koordinasi sudut sendi selama tolakan sangat penting untuk menghasilkan pola gerakan lari yang cepat, stabil, dan ekonomis.

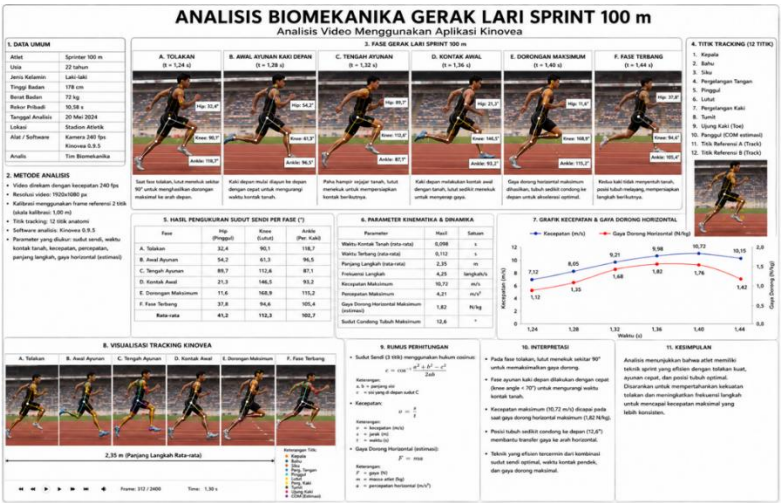
3. Frekuensi dan Panjang Langkah

Kecepatan lari secara biomekanis dipengaruhi oleh dua komponen utama, yaitu frekuensi langkah (*stride frequency*) dan panjang langkah (stride length). Frekuensi langkah adalah jumlah langkah yang dilakukan dalam waktu tertentu, sedangkan panjang langkah adalah jarak yang ditempuh dalam satu langkah. Hubungan antara kedua komponen ini sangat menentukan performa lari. Kecepatan lari dapat meningkat jika atlet

mampu memperbesar panjang langkah, meningkatkan frekuensi langkah, atau mengombinasikan keduanya secara optimal. Namun dalam biomekanika olahraga panjang langkah dan frekuensi langkah harus berada dalam keseimbangan yang tepat. Langkah yang terlalu panjang dapat meningkatkan gaya pengereman saat kaki menyentuh tanah sehingga mengurangi efisiensi lari. Sebaliknya, frekuensi langkah yang terlalu tinggi dengan langkah pendek dapat menyebabkan gerakan menjadi kurang efektif dan meningkatkan penggunaan energi. Menurut Peter McGinnis (2013), pelari elite memiliki kemampuan menyesuaikan panjang dan frekuensi langkah secara efisien sesuai kebutuhan kecepatan dan kondisi perlombaan. Keseimbangan kedua faktor ini membantu menghasilkan gerakan yang cepat tanpa meningkatkan pemborosan energi. Dalam sprint frekuensi langkah cenderung sangat tinggi dengan panjang langkah optimal yang didukung oleh kekuatan otot tungkai dan teknik tolakan yang baik.

c. Contoh Analisis Lari Sprint 100 Meter

1. Fase Tolakan: Lutut Menekuk Sekitar 90° untuk Dorongan Maksimal
   Pada fase tolakan atlet menghasilkan gaya dorong terhadap permukaan tanah untuk menciptakan percepatan ke depan. Salah satu posisi biomekanis penting pada tahap ini adalah sudut lutut sekitar 90°. Posisi tersebut dianggap optimal karena memungkinkan otot quadriceps, hamstring, dan gluteus menghasilkan gaya secara maksimal.
2. Fase Ayunan: Kaki Bergerak Cepat untuk Mengurangi Waktu Kontak Tanah
   Setelah melakukan tolakan, tungkai memasuki fase ayunan (swing phase), yaitu saat kaki bergerak ke depan untuk mempersiapkan langkah berikutnya. Dalam sprint 100 meter, fase ayunan harus berlangsung sangat cepat agar waktu kontak kaki dengan tanah menjadi lebih singkat.
3. Kecepatan Maksimal dan Posisi Tubuh Condong ke Depan
   Kecepatan maksimal dalam sprint dicapai ketika atlet mampu menghasilkan gaya dorong horizontal terbesar dengan efisiensi gerak yang tinggi. Pada tahap ini, tubuh biasanya berada dalam posisi sedikit condong ke depan untuk membantu arah gaya tetap dominan horizontal.



Sprint 100 meter merupakan contoh nyata penerapan prinsip biomekanika olahraga dalam aktivitas manusia. Posisi lutut sekitar 90° saat tolakan membantu menghasilkan gaya dorong maksimal, fase ayunan yang cepat mengurangi waktu kontak tanah, dan posisi tubuh yang sedikit condong ke depan membantu memaksimalkan gaya horizontal untuk mencapai kecepatan tinggi. Analisis biomekanika sprint membantu pelatih dan atlet memahami teknik gerakan secara ilmiah sehingga performa dapat ditingkatkan secara lebih efektif dan risiko cedera dapat dikurangi.

B. BIOMEKANIKA GERAK LOMPAT

Biomekanika gerak lompat merupakan kajian tentang bagaimana tubuh manusia menghasilkan gaya untuk mengangkat tubuh melawan gravitasi sehingga terjadi perpindahan tubuh ke arah vertikal, horizontal, atau kombinasi keduanya. Gerak lompat menjadi salah satu keterampilan dasar dalam banyak cabang olahraga seperti atletik, bola voli, bola basket, sepak bola, dan bulu tangkis. Gerak lompat dianalisis berdasarkan prinsip gaya, momentum, pusat massa (*center of mass/*COM), sudut tolakan, serta koordinasi sistem muskuloskeletal. Tujuan utama analisis biomekanika lompat adalah memahami bagaimana tubuh menghasilkan daya ledak (power) secara maksimal dengan efisiensi gerak yang optimal. Menurut Peter McGinnis (2013), kemampuan melompat dipengaruhi oleh interaksi antara gaya otot, kecepatan gerakan, dan teknik biomekanis yang digunakan atlet saat melakukan tolakan.

a. Pengertian Gerak lompat

Gerak lompat merupakan salah satu bentuk gerakan dasar manusia yang melibatkan perpindahan tubuh dari permukaan tanah ke udara melalui dorongan satu atau dua kaki. Dalam biomekanika olahraga, gerak lompat dipahami sebagai hasil interaksi antara gaya otot, gaya reaksi tanah, momentum tubuh, dan pengaruh gravitasi yang bekerja secara bersamaan untuk menghasilkan gerakan vertikal, horizontal, atau kombinasi keduanya. Secara biomekanis gerakan lompat terjadi ketika tubuh menghasilkan gaya terhadap permukaan tanah melalui kontraksi otot tungkai. Sebagai respons terhadap gaya tersebut, tanah memberikan gaya balik atau ground reaction force yang mendorong tubuh terangkat ke udara. Semakin besar gaya yang dihasilkan dalam waktu singkat, maka semakin besar pula kemampuan tubuh untuk mencapai tinggi atau jarak lompatan yang optimal. Menurut Peter McGinnis (2013), gerak lompat merupakan aktivitas eksplosif yang sangat dipengaruhi oleh kemampuan tubuh menghasilkan daya (power), yaitu kombinasi antara kekuatan dan kecepatan kontraksi otot. Oleh karena itu, kemampuan melompat tidak hanya bergantung pada kekuatan otot tungkai, tetapi juga pada koordinasi gerakan, teknik biomekanis, dan efisiensi transfer energi tubuh.

Dalam biomekanika olahraga gerak lompat melibatkan kerja terintegrasi antara sistem muskuloskeletal dan sistem saraf. Otot-otot utama seperti quadriceps, hamstring, gluteus, gastrocnemius, dan soleus bekerja secara simultan untuk menghasilkan ekstensi pada sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki saat fase tolakan. Gerakan tersebut menghasilkan tenaga yang mengangkat pusat massa (center of mass/COM) tubuh ke udara. Gerak lompat dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan arah perpindahan tubuh. Pada lompat vertikal, tubuh bergerak dominan ke arah atas untuk mencapai ketinggian tertentu, seperti pada block bola voli atau slam dunk bola basket. Sedangkan pada lompat horizontal, tubuh bergerak dominan ke depan untuk mencapai jarak tertentu, seperti pada lompat jauh. Ada pula gerakan lompat yang mengombinasikan arah vertikal dan horizontal sesuai kebutuhan cabang olahraga.

Menurut Duane Knudson (2007) analisis biomekanika gerak lompat penting untuk memahami bagaimana tubuh menghasilkan gaya secara efisien serta bagaimana teknik gerakan memengaruhi performa dan risiko cedera. Teknik tolakan, posisi tubuh di udara, dan cara mendarat menjadi faktor biomekanis yang sangat menentukan keberhasilan lompatan. Selain untuk meningkatkan performa olahraga, kajian biomekanika gerak lompat juga digunakan dalam pencegahan cedera. Gerakan lompat memberikan

tekanan besar pada sendi lutut, pergelangan kaki, dan tendon Achilles, terutama saat fase pendaratan. Oleh karena itu, teknik biomekanika yang benar sangat penting untuk mengurangi distribusi gaya berlebih pada struktur tubuh tertentu.

Menurut Anthony Blazevich (2007) efisiensi gerak lompat dipengaruhi oleh kemampuan atlet mengontrol gaya, momentum, dan posisi pusat massa tubuh selama seluruh fase gerakan. Semakin baik koordinasi biomekanis tubuh, maka semakin optimal pula hasil lompatan yang dapat dicapai. Dengan demikian gerak lompat dalam biomekanika olahraga merupakan aktivitas eksplosif yang melibatkan produksi gaya untuk mengangkat tubuh ke udara melalui koordinasi sistem otot, sendi, dan prinsip mekanika tubuh guna mencapai performa gerak yang efektif, efisien, dan aman.

b. Fase-Fase Gerak Lompat

Dalam biomekanika olahraga, gerak lompat terdiri atas beberapa fase yang berlangsung secara berurutan dan saling berkaitan. Setiap fase memiliki fungsi biomekanis tertentu yang memengaruhi tinggi, jarak, efisiensi gerakan, serta keamanan tubuh saat melakukan lompatan. Analisis terhadap fase-fase gerak lompat sangat penting karena sedikit kesalahan teknik dapat memengaruhi performa atlet maupun meningkatkan risiko cedera. Menurut Peter McGinnis (2013), gerak lompat merupakan rangkaian gerakan kompleks yang melibatkan koordinasi gaya, momentum, dan kontrol tubuh selama fase persiapan, tolakan, melayang, dan pendaratan.

1. Fase Persiapan (Preparation Phase)

Fase persiapan merupakan tahap awal sebelum tubuh melakukan tolakan. Pada fase ini atlet mempersiapkan posisi tubuh untuk menghasilkan gaya eksplosif secara optimal. Secara biomekanis, tubuh biasanya melakukan fleksi pada sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki sehingga posisi tubuh sedikit menurun sebelum melakukan dorongan ke atas atau ke depan. Gerakan menekuk lutut dan pinggul pada fase persiapan memiliki fungsi penting dalam menyimpan energi elastis pada otot dan tendon. Mekanisme ini dikenal sebagai *stretch-shortening cycle,* yaitu proses peregangan otot sebelum kontraksi eksplosif terjadi. Otot yang mengalami peregangan cepat akan menghasilkan kontraksi yang lebih kuat sehingga daya ledak tubuh meningkat.

Menurut Duane Knudson (2007), fase persiapan membantu menciptakan posisi biomekanis yang stabil sehingga tubuh mampu menghasilkan gaya tolakan yang maksimal. Selain itu, posisi pusat massa (center of mass/COM) juga diatur agar keseimbangan tubuh tetap terjaga sebelum melakukan lompatan. Ayunan lengan pada fase ini juga memiliki peran penting karena membantu meningkatkan momentum tubuh. Gerakan lengan yang sinkron dengan tungkai dapat meningkatkan gaya vertikal sehingga tinggi lompatan menjadi lebih optimal.

2. Fase Tolakan (*Take-off Phase*)

Fase tolakan merupakan tahap paling penting dalam gerak lompat karena pada fase inilah tubuh menghasilkan gaya dorong utama untuk mengangkat tubuh ke udara. Secara biomekanis, fase ini ditandai dengan kontraksi eksplosif otot tungkai yang menghasilkan ekstensi pada sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Ketika kaki memberikan tekanan terhadap tanah, tanah memberikan gaya reaksi (*ground reaction force*) yang mendorong tubuh ke atas atau ke depan sesuai arah tolakan. Semakin besar gaya yang dihasilkan dalam waktu singkat, maka semakin besar pula kemampuan atlet mencapai tinggi atau jarak lompatan yang optimal. Menurut Anthony Blazevich (2007), efektivitas fase tolakan dipengaruhi oleh kekuatan otot, kecepatan kontraksi, sudut tolakan, dan koordinasi gerakan tubuh. Sudut tolakan yang tepat membantu mengarahkan momentum tubuh sesuai tujuan gerakan, baik untuk lompatan vertikal maupun horizontal. Pada fase ini, pusat massa tubuh mulai bergerak meninggalkan dasar tumpuan. Posisi tubuh harus tetap stabil agar gaya yang dihasilkan tidak terbuang ke arah yang tidak diperlukan. Dalam olahraga seperti bola voli atau basket, fase tolakan sangat menentukan kemampuan atlet mencapai ketinggian maksimal.

3. Fase Melayang (*Flight Phase*)

Fase melayang terjadi ketika tubuh telah meninggalkan permukaan tanah dan berada di udara. Pada tahap ini, tubuh tidak lagi menghasilkan gaya terhadap tanah sehingga lintasan gerak tubuh sepenuhnya dipengaruhi oleh momentum awal saat tolakan dan gaya gravitasi. Lintasan pusat massa tubuh selama fase melayang mengikuti pola parabola. Atlet tidak dapat mengubah lintasan pusat massa setelah meninggalkan tanah, tetapi masih dapat mengubah posisi segmen tubuh untuk menjaga keseimbangan dan mengontrol rotasi tubuh. Menurut Peter McGinnis (2013), pengaturan posisi tubuh selama fase melayang sangat penting untuk mempertahankan stabilitas dan mempersiapkan pendaratan yang

aman. Pada lompat jauh, atlet biasanya menggerakkan lengan dan tungkai ke depan untuk membantu mempertahankan keseimbangan serta memaksimalkan jarak lompatan. Dalam olahraga seperti bola voli atau basket, fase melayang digunakan atlet untuk melakukan aksi tambahan seperti smash, block, atau slam dunk. Oleh karena itu, kontrol tubuh di udara menjadi aspek biomekanis yang sangat penting.

4. Fase Pendaratan (*Landing Phase*)

Fase pendaratan merupakan tahap ketika tubuh kembali menyentuh permukaan tanah setelah fase melayang selesai. Pada fase ini, tubuh menerima gaya benturan yang cukup besar akibat pengaruh gravitasi dan momentum tubuh saat jatuh. Secara biomekanis otot dan sendi bekerja untuk menyerap gaya benturan agar tekanan pada tubuh tidak menyebabkan cedera. Sendi lutut, pinggul, dan pergelangan kaki biasanya melakukan fleksi untuk memperpanjang waktu penyerapan gaya sehingga benturan dapat dikurangi. Menurut Susan Hall (2014), teknik pendaratan yang baik sangat penting untuk mengurangi tekanan pada ligamen, tendon, dan tulang rawan, terutama pada sendi lutut dan pergelangan kaki. Pendaratan yang terlalu kaku dapat meningkatkan risiko cedera seperti robekan ACL atau cedera pergelangan kaki. Fase pendaratan juga membantu tubuh kembali memperoleh keseimbangan dan stabilitas setelah melakukan gerakan eksplosif. Dalam biomekanika olahraga modern, analisis teknik pendaratan sering digunakan sebagai bagian penting dalam program pencegahan cedera atlet.

c. Prinsip Biomekanika Gerak Lompat

Dalam biomekanika olahraga, gerak lompat dipengaruhi oleh berbagai prinsip mekanika tubuh yang berkaitan dengan produksi gaya, momentum, sudut tolakan, dan kontrol tubuh selama berada di udara. Prinsip-prinsip biomekanika ini menentukan kemampuan atlet menghasilkan lompatan yang tinggi, jauh, efisien, dan aman. Analisis biomekanika lompat sangat penting dalam cabang olahraga seperti atletik, bola voli, bola basket, sepak bola, dan bulu tangkis karena performa atlet sangat dipengaruhi oleh kualitas teknik lompatan. Menurut Peter McGinnis (2013) biomekanika lompat berfokus pada bagaimana tubuh menghasilkan dan mentransfer energi untuk mengangkat pusat massa tubuh melawan gravitasi. Beberapa prinsip utama biomekanika dalam gerak lompat meliputi konversi energi, sudut tolakan, dan pengaturan posisi tubuh selama fase penerbangan. Prinsip biomekanika lompat meliputi:

1. Konversi Energi Kinetik Horizontal Menjadi Energi Potensial Vertikal

Dalam gerak lompat, terutama pada lompat jauh dan lompat tinggi, tubuh harus mampu mengubah energi gerak (energi kinetik) menjadi energi untuk mengangkat tubuh melawan gravitasi (energi potensial). Proses konversi energi ini menjadi salah satu prinsip biomekanika paling penting dalam performa lompatan. Pada fase awalan, atlet membangun kecepatan horizontal melalui gerakan lari. Kecepatan tersebut menghasilkan energi kinetik yang besar. Saat kaki melakukan tolakan terhadap tanah, sebagian energi kinetik horizontal diubah menjadi gaya vertikal yang mengangkat tubuh ke udara.

Efektivitas konversi energi sangat dipengaruhi oleh kekuatan otot tungkai, kecepatan kontraksi otot, serta teknik tolakan. Jika konversi energi berlangsung optimal, maka atlet dapat menghasilkan tinggi atau jarak lompatan yang lebih baik tanpa kehilangan terlalu banyak kecepatan horizontal. Menurut Duane Knudson (2007), kemampuan mengubah momentum horizontal menjadi gerakan vertikal secara efisien merupakan faktor utama keberhasilan dalam olahraga lompat. Atlet elite mampu mempertahankan sebagian besar kecepatan awalan sambil menghasilkan gaya vertikal yang cukup besar saat tolakan.

Pada lompat jauh, konversi energi tidak dilakukan sepenuhnya ke arah vertikal karena atlet tetap membutuhkan momentum horizontal untuk mencapai jarak lompatan maksimal. Sedangkan pada lompat tinggi, proporsi energi vertikal menjadi lebih dominan karena tujuan utama adalah mencapai ketinggian.

2. Sudut Tolakan Ideal

Sudut tolakan merupakan arah gerak tubuh saat meninggalkan permukaan tanah setelah fase tolakan. Dalam biomekanika olahraga, sudut tolakan sangat menentukan lintasan pusat massa tubuh dan hasil akhir lompatan. Pada lompat jauh, sudut tolakan ideal umumnya sekitar 18°–22°. Sudut ini dianggap paling efektif karena mampu mempertahankan kecepatan horizontal sambil tetap menghasilkan komponen gaya vertikal yang cukup untuk memperpanjang waktu melayang di udara. Jika sudut tolakan terlalu tinggi, maka tubuh akan kehilangan terlalu banyak kecepatan horizontal sehingga jarak lompatan berkurang. Sebaliknya, jika sudut terlalu rendah, tubuh tidak memperoleh waktu melayang yang cukup.

Menurut Anthony Blazevich (2007), atlet lompat jauh elite cenderung menggunakan sudut tolakan yang lebih rendah dibanding sudut teoritis proyektil karena kebutuhan mempertahankan momentum horizontal sangat besar. Pada lompat tinggi, sudut tolakan ideal berkisar 60°–70°

karena tujuan utama adalah menghasilkan gaya vertikal untuk mengangkat pusat massa tubuh setinggi mungkin. Atlet harus mengurangi sebagian kecepatan horizontal dan mengalihkannya menjadi gerakan ke atas. Sudut tolakan dipengaruhi oleh:

- kecepatan awalan,
- kekuatan otot,
- posisi tubuh,
- dan koordinasi gerakan saat fase tolakan.

Menurut Susan Hall (2014), sudut tolakan yang tepat membantu meningkatkan efisiensi transfer energi dan mengoptimalkan lintasan tubuh selama fase penerbangan.

3. Pengaturan Tubuh Saat Penerbangan

Fase penerbangan (*flight phase*) terjadi ketika tubuh berada di udara setelah meninggalkan tanah. Pada tahap ini, tubuh tidak lagi dapat menghasilkan gaya tambahan terhadap tanah sehingga gerakan pusat massa tubuh dipengaruhi oleh momentum awal dan gaya gravitasi. Meskipun demikian, atlet masih dapat mengatur posisi segmen tubuh seperti tangan, kaki, kepala, dan batang tubuh untuk menjaga keseimbangan dan mengontrol rotasi tubuh di udara. Pengaturan posisi tubuh ini sangat penting dalam biomekanika lompat karena memengaruhi efisiensi gerakan dan hasil akhir lompatan. Pada lompat jauh atlet biasanya mengangkat lutut dan mengayunkan tangan ke depan agar tubuh tetap seimbang dan posisi kaki siap mencapai titik pendaratan terjauh. Teknik ini membantu memaksimalkan jarak lompatan dan mencegah tubuh jatuh ke belakang saat mendarat. Pada lompat tinggi, atlet mengatur posisi tubuh melengkung saat melewati mistar agar pusat massa tubuh dapat melewati mistar dengan lebih efisien. Menurut Peter McGinnis (2013), pengaturan tubuh selama fase penerbangan membantu mempertahankan stabilitas dan meningkatkan efisiensi biomekanis gerakan lompat. Selain meningkatkan performa, kontrol tubuh di udara juga penting untuk mempersiapkan pendaratan yang aman dan mengurangi risiko cedera akibat posisi tubuh yang tidak stabil.

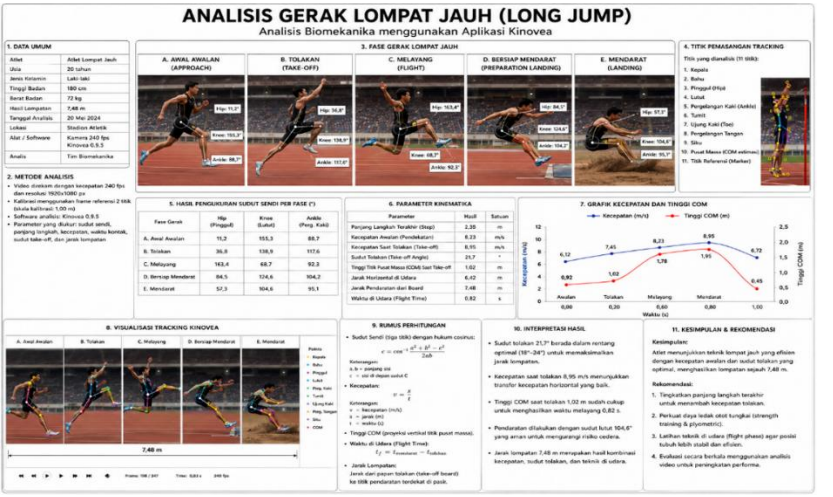
d. Contoh analisis Gerak Lompat Jauh

Lompat jauh merupakan salah satu cabang atletik yang sangat dipengaruhi oleh prinsip biomekanika karena melibatkan kombinasi kecepatan horizontal, gaya tolakan, kontrol tubuh di udara, dan teknik

pendaratan. Tujuan utama lompat jauh adalah mencapai jarak horizontal sejauh mungkin melalui koordinasi gerakan yang efisien pada setiap fase lompatan.

1. Awalan (*Approach Run*)
   Awalan merupakan tahap ketika atlet berlari menuju papan tolakan dengan tujuan membangun kecepatan horizontal yang maksimal sebelum melakukan lompatan. Secara biomekanis, fase ini sangat penting karena kecepatan awalan menjadi sumber utama momentum yang akan digunakan saat tolakan. Atlet harus berlari cepat tetapi tetap menjaga kontrol tubuh dan ritme langkah agar posisi kaki tepat saat mencapai papan tolakan..
2. Tolakan (*Take-off*)
   Fase tolakan merupakan tahap paling penting dalam lompat jauh karena pada fase inilah momentum horizontal diubah menjadi kombinasi gerakan horizontal dan vertikal. Saat kaki menyentuh papan tolakan, atlet menghasilkan gaya besar terhadap tanah sehingga tubuh terdorong ke udara. Secara biomekanis, kaki tolakan melakukan ekstensi cepat pada sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki untuk menghasilkan daya ledak maksimal. Sudut tolakan pada lompat jauh umumnya sekitar 20° karena sudut ini dianggap optimal untuk mempertahankan kecepatan horizontal tanpa kehilangan terlalu banyak momentum ke arah vertikal. Menurut Anthony Blazevich (2007), sudut tolakan yang terlalu tinggi akan mengurangi kecepatan horizontal, sedangkan sudut yang terlalu rendah menyebabkan tubuh tidak memperoleh waktu melayang yang cukup.
3. Penerbangan (*Flight Phase*)
   Fase penerbangan terjadi ketika tubuh berada di udara setelah meninggalkan papan tolakan. Secara biomekanis, lintasan pusat massa tubuh pada fase ini dipengaruhi oleh momentum awal dan gaya gravitasi. Atlet tidak dapat menambah gaya baru di udara, tetapi masih dapat mengatur posisi tubuh untuk menjaga keseimbangan dan memaksimalkan jarak lompatan. Dalam lompat jauh, atlet biasanya mengangkat lutut depan dan mengayunkan tangan ke depan untuk membantu mempertahankan stabilitas tubuh. Gerakan ini membantu mengontrol rotasi tubuh akibat gaya tolakan dan menjaga posisi pusat massa tetap optimal.
4. Pendaratan (*Landing Phase*)
   Fase pendaratan merupakan tahap ketika tubuh kembali menyentuh permukaan pasir. Pada fase ini, kaki depan biasanya menapak terlebih dahulu dengan lutut sedikit ditekuk untuk membantu menyerap

benturan. Secara biomekanis fleksi lutut saat pendaratan berfungsi memperpanjang waktu penyerapan gaya sehingga tekanan pada sendi dan otot dapat dikurangi. Teknik ini membantu mengurangi risiko cedera pada lutut, pergelangan kaki, dan pinggul. Menurut Susan Hall (2014), pendaratan yang baik tidak hanya penting untuk keselamatan atlet tetapi juga membantu memaksimalkan hasil lompatan karena posisi tubuh saat menyentuh pasir memengaruhi titik pengukuran jarak. Atlet harus menjaga agar tubuh tidak jatuh ke belakang setelah kaki menyentuh pasir karena hal tersebut dapat mengurangi hasil lompatan secara resmi. Oleh karena itu, koordinasi tubuh saat pendaratan menjadi bagian penting dalam teknik biomekanika lompat jauh.



Analisis Kuantitatif Lari & Lompat Jauh

Parameter	Lari (Sprint)	Lompat Jauh
Kecepatan	8–12 m/s (sprinter elit)	Awalan lari 7–10 m/s
Sudut Tolakan	70°–90° (lutut)	18°–22° (tolakan dengan kaki)
Gaya Tolakan	Hingga 4 kali berat badan	Gaya horizontal dan vertikal seimbang
Frekuensi Langkah	4–5 langkah per detik	1 langkah sebelum tolakan

Tips Perbaikan Teknik

Gerak	Masalah Umum	Solusi Biomekanika
Lari	Kontak tanah terlalu lama	Latihan peningkatan frekuensi langkah, dan perbaiki sudut dorongan kaki
Lompat Jauh	Sudut tolakan terlalu kecil/besar	Latihan kontrol sudut tolakan dan kekuatan otot tungkai
Lompat Jauh	Pendaratan kurang stabil	Latihan keseimbangan dan pendaratan dengan lutut ditekuk

BAB 11

ANALISIS BIOMEKANIKA GERAK LEMPAR DAN TANGKAP

Analisis biomekanika gerak lempar dan tangkap mengevaluasi bagaimana gaya internal (kontraksi otot, sendi) dan eksternal (gravitasi, hambatan udara) berinteraksi untuk menghasilkan gerakan yang efisien, bertenaga, dan minim cedera

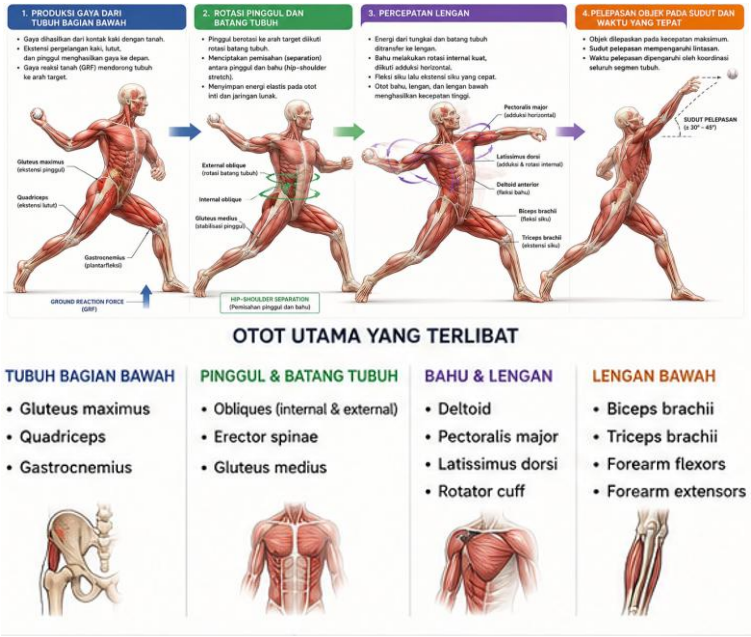
A. BIOMEKANIKA GERAK LEMPAR

Biomekanika gerak lempar merupakan cabang kajian biomekanika olahraga yang mempelajari prinsip mekanika tubuh dalam menghasilkan gerakan melempar secara efektif, efisien, dan aman. Gerak lempar melibatkan koordinasi kompleks antara otot, tulang, sendi, serta sistem saraf untuk menghasilkan gaya dan kecepatan yang dapat memindahkan objek sejauh atau secepat mungkin. Gerakan lempar ditemukan pada berbagai cabang seperti atletik lempar lembing, tolak peluru, baseball, softball, handball, kriket, dan sepak bola saat lemparan ke dalam (*throw in).* Setiap jenis lemparan memiliki karakteristik teknik yang berbeda, tetapi semuanya menggunakan prinsip biomekanika yang sama, yaitu produksi gaya, transfer momentum, rotasi tubuh, dan pelepasan objek pada sudut tertentu. Menurut Peter McGinnis (2013), gerak lempar merupakan contoh gerakan rantai kinetik (kinetic chain movement), yaitu gerakan yang melibatkan transfer energi secara berurutan dari segmen tubuh besar ke segmen tubuh kecil untuk menghasilkan kecepatan maksimal pada objek yang dilempar.

a. Pengertian Gerak Lempar

Gerak lempar adalah gerakan memindahkan suatu objek melalui tangan dengan tujuan menghasilkan jarak, kecepatan, atau akurasi tertentu menggunakan gaya yang dihasilkan tubuh.

Secara biomekanis, gerakan lempar melibatkan:

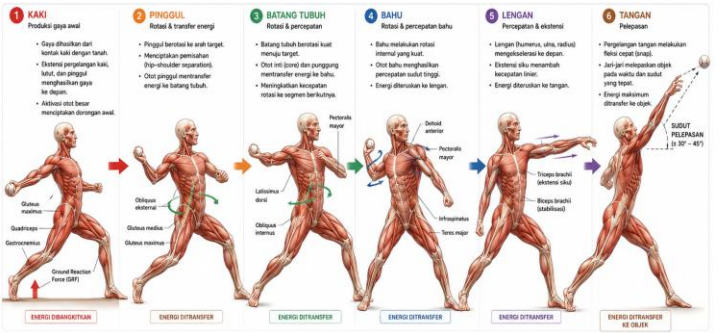


Gerak lempar termasuk gerakan eksplosif karena membutuhkan kombinasi kekuatan, kecepatan, koordinasi, dan keseimbangan tubuh. Menurut Duane Knudson (2007), biomekanika gerak lempar berfokus pada bagaimana tubuh menghasilkan dan mentransfer gaya secara efisien untuk memaksimalkan performa sambil meminimalkan tekanan berlebih pada sendi dan otot. Dengan demikian, gerak lempar dalam biomekanika olahraga merupakan aktivitas manipulatif kompleks yang melibatkan transfer gaya dan momentum melalui koordinasi seluruh tubuh untuk menghasilkan lemparan yang kuat, cepat, akurat, dan efisien.

b. Prinsip Biomekanika dalam Gerak Lempar

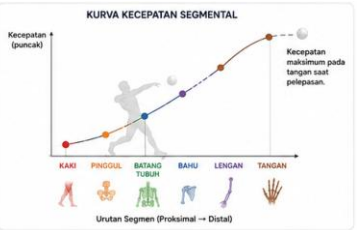
1. Rantai Kinetik (*Kinetic Chain*)

Gerakan lempar menggunakan prinsip rantai kinetik, yaitu transfer energi dari bagian tubuh besar menuju bagian tubuh kecil secara berurutan. Urutan transfer gaya biasanya dimulai dari:



SEKUENS AKTIVASI OTOT (DARI AWAL HINGGA PELEPASAN)

TAHAP	OTOT UTAMA YANG AKTIF	FUNGSI
1 KAKI	Gluteus maximus, Quadriceps, Gastrocnemius	Menghasilkan gaya awal (dorongan dari tanah)
2 PINGGUL	Gluteus medius, Gluteus maximus, Obliquus eksternal	Rotasi pinggul, transfer energi ke batang tubuh
3 BATANG TUBUH	Obliquus internus, Rectus abdominis, Erector spinae, Latissimus dorsi	Rotasi batang tubuh, transfer energi ke bahu
4 BAHU	Pectoralis major, Deltoid anterior, Infraspinatus, Teres major	Rotasi internal bahu, percepatan lengan atas
5 LENGAN	Triceps brachii	Ekstensi siku, menambah kecepatan
6 TANGAN	Flexor carpi ulnaris/radialis, Otot intrinsik tangan	Fleksi pergelangan tangan, pelepasan objek



Jika salah satu bagian rantai kinetik tidak bekerja optimal, maka efisiensi lemparan akan menurun dan risiko cedera meningkat. Menurut Anthony Blazevich (2007), koordinasi rantai kinetik yang baik membantu meningkatkan kecepatan pelepasan objek dan mengurangi beban berlebih pada sendi bahu dan siku.

2. Produksi Gaya dan Momentum

Gerakan lempar membutuhkan produksi gaya besar untuk menghasilkan momentum pada objek. Momentum diperoleh melalui kombinasi massa tubuh dan kecepatan gerak saat melakukan lemparan. Semakin besar gaya yang dihasilkan tubuh, maka semakin besar pula percepatan objek yang dilempar. Oleh karena itu, kekuatan otot tungkai, pinggul, dan bahu sangat penting dalam olahraga lempar.
Dalam biomekanika, momentum linear dirumuskan sebagai:
Keterangan:
p = momentum
m = massa benda
v = kecepatan benda

3. Rotasi Tubuh dan Torsi

Rotasi tubuh merupakan salah satu komponen biomekanika paling penting dalam gerak lempar karena berperan besar dalam menghasilkan kekuatan, kecepatan, dan efisiensi gerakan. Dalam berbagai cabang

olahraga seperti lempar lembing, baseball, softball, handball, dan kriket, gerakan melempar tidak hanya mengandalkan kekuatan lengan, tetapi terutama berasal dari rotasi tubuh yang terkoordinasi secara baik. Rotasi tubuh terjadi melalui gerakan memutar pinggul dan batang tubuh sebelum lengan bergerak melakukan lemparan. Gerakan rotasi ini menghasilkan torsi, yaitu gaya putar yang membantu meningkatkan percepatan objek yang dilempar. Torsi memungkinkan tubuh menghasilkan energi yang lebih besar dibanding hanya menggunakan kontraksi lengan secara langsung.

Dalam biomekanika, torsi dijelaskan melalui hubungan antara gaya dan jarak gaya terhadap sumbu rotasi:

Keterangan:

τ = torsi

r = jarak dari sumbu rotasi

F = besar gaya

ϑ = sudut gaya terhadap lengan gaya

Rumus tersebut menunjukkan bahwa torsi dipengaruhi oleh besar gaya yang dihasilkan otot, panjang lengan gaya, dan sudut gerakan. Semakin besar torsi yang dihasilkan, maka semakin besar kemampuan tubuh menghasilkan percepatan rotasi saat melempar. Dalam gerak lempar rotasi biasanya dimulai dari tubuh bagian bawah. Kaki memberikan dorongan terhadap tanah sehingga menghasilkan gaya reaksi tanah (ground reaction force). Gaya tersebut diteruskan ke pinggul, kemudian batang tubuh, bahu, lengan, hingga tangan melalui mekanisme rantai kinetik (kinetic chain). Transfer energi yang berlangsung secara berurutan ini membantu menghasilkan kecepatan lemparan yang tinggi dengan penggunaan energi yang lebih efisien.

Menurut Susan Hall (2014), kemampuan menghasilkan rotasi tubuh yang cepat dan terkoordinasi sangat menentukan kecepatan lemparan dalam olahraga seperti baseball dan lempar lembing. Atlet yang mampu memutar pinggul dan batang tubuh secara eksplosif biasanya dapat menghasilkan gaya lempar yang lebih besar dibanding atlet yang hanya mengandalkan kekuatan lengan. Rotasi tubuh juga membantu mengurangi beban berlebih pada sendi bahu dan siku. Jika tenaga lempar hanya berasal dari lengan, maka tekanan mekanis pada bahu akan meningkat dan risiko cedera menjadi lebih besar. Sebaliknya, penggunaan rotasi tubuh memungkinkan distribusi gaya berlangsung lebih merata ke seluruh segmen tubuh.

Dalam olahraga lempar lembing rotasi tubuh membantu meningkatkan kecepatan pelepasan lembing sehingga jarak lemparan menjadi lebih jauh. Pada *baseball pitching*, rotasi batang tubuh berperan besar dalam menghasilkan kecepatan bola yang tinggi sekaligus mempertahankan kontrol arah lemparan. Koordinasi rotasi tubuh juga penting dalam menjaga keseimbangan dan stabilitas tubuh selama gerakan. Atlet harus mampu mengontrol pusat massa tubuh agar perpindahan energi berlangsung optimal tanpa kehilangan keseimbangan saat melakukan lemparan. Dengan demikian rotasi tubuh dan torsi merupakan prinsip biomekanika utama dalam gerak lempar karena membantu menghasilkan gaya putar yang besar, meningkatkan efisiensi transfer energi, mempercepat gerakan lemparan, serta mengurangi tekanan berlebih pada sendi tubuh.

4. Sudut Pelepasan (Release Angle)

Sudut pelepasan (*release angle*) merupakan salah satu faktor biomekanika yang sangat penting dalam gerak lempar karena menentukan arah lintasan dan jarak tempuh objek setelah dilepaskan. Sudut pelepasan adalah sudut yang terbentuk antara arah gerak objek saat keluar dari tangan dengan permukaan tanah. Dalam berbagai cabang olahraga lempar, sudut ini berpengaruh langsung terhadap efisiensi transfer gaya dan hasil akhir lemparan. Ketika objek dilepaskan dari tangan atlet, objek tersebut bergerak sebagai gerak proyektil yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi, kecepatan awal, dan arah pelepasan. Kombinasi antara kecepatan pelepasan dan sudut pelepasan menentukan lintasan parabola objek selama bergerak di udara. Dalam teori gerak proyektil sudut optimal untuk mencapai jarak horizontal maksimum adalah sekitar 45°. Pada kondisi ideal tanpa hambatan udara dan dengan tinggi pelepasan yang sama dengan titik pendaratan, sudut tersebut menghasilkan kombinasi terbaik antara komponen kecepatan horizontal dan vertikal.

Namun, dalam biomekanika olahraga, sudut pelepasan aktual sering kali berbeda dari teori tersebut karena gerakan manusia dipengaruhi oleh banyak faktor lain. Menurut Peter McGinnis (2013), sudut pelepasan optimal dalam olahraga ditentukan oleh hubungan antara teknik gerakan, kemampuan atlet menghasilkan kecepatan, dan karakteristik objek yang dilempar. Beberapa faktor utama yang memengaruhi sudut pelepasan antara lain:

1) Jenis Lemparan

Setiap cabang olahraga memiliki kebutuhan biomekanis yang berbeda sehingga sudut pelepasan optimal juga berbeda. Pada lempar lembing, sudut pelepasan biasanya lebih rendah dibanding teori 45° karena atlet

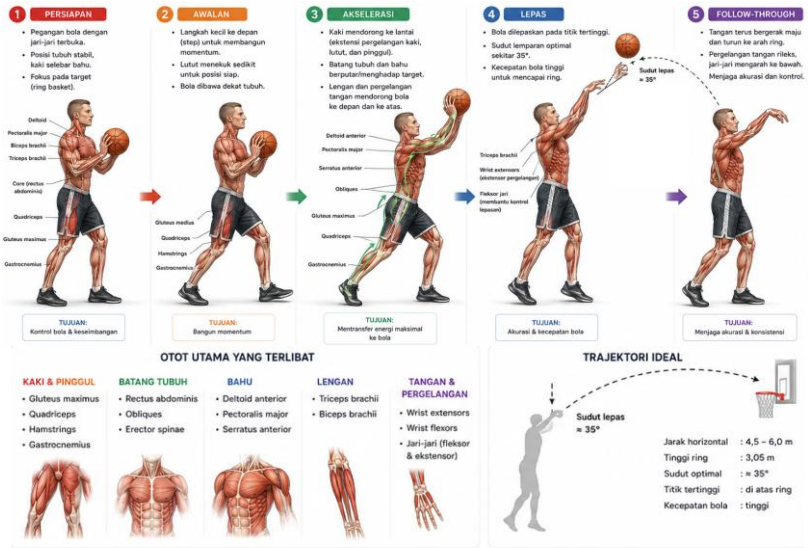
perlu mempertahankan kecepatan horizontal dan memanfaatkan karakteristik aerodinamika lembing. Sebaliknya, pada tolak peluru sudut pelepasan cenderung lebih tinggi karena tujuan utama adalah menghasilkan lintasan parabola yang maksimal.

2) Tinggi Pelepasan
   Tinggi posisi objek saat dilepaskan memengaruhi lintasan gerak proyektil. Atlet yang memiliki tinggi badan lebih besar atau mampu melepaskan objek dari posisi lebih tinggi biasanya tidak memerlukan sudut pelepasan terlalu besar untuk mencapai jarak optimal. Secara biomekanis semakin tinggi titik pelepasan, maka semakin lama objek berada di udara sehingga jarak horizontal dapat meningkat.
3) Kecepatan Objek
   Kecepatan pelepasan merupakan faktor biomekanis utama dalam gerak lempar. Semakin besar kecepatan objek saat dilepaskan, maka semakin besar potensi jarak lemparan yang dihasilkan. Menurut Duane Knudson (2007), atlet sering menggunakan sudut pelepasan yang lebih rendah dari 45° karena mereka mampu menghasilkan kecepatan horizontal yang sangat tinggi. Dalam kondisi tersebut, mempertahankan momentum horizontal lebih menguntungkan dibanding meningkatkan sudut terlalu besar.
4) Teknik Atlet
   Teknik biomekanika atlet sangat menentukan kemampuan menghasilkan sudut pelepasan yang efektif. Koordinasi gerakan tubuh, rotasi pinggul, posisi bahu, dan waktu pelepasan objek memengaruhi arah serta kualitas lintasan lemparan. Atlet elite biasanya memiliki kemampuan mengontrol sudut pelepasan secara sangat presisi sesuai karakteristik cabang olahraga yang diikuti. Teknik yang baik memungkinkan transfer energi berlangsung lebih efisien sehingga objek dapat dilepaskan dengan kecepatan dan arah yang optimal.

Dalam olahraga baseball atau handball, sudut pelepasan yang terlalu tinggi dapat mengurangi kecepatan bola dan menurunkan akurasi. Sebaliknya, pada cabang seperti lempar lembing dan tolak peluru, sudut pelepasan yang tepat sangat menentukan jarak hasil lemparan. Sudut pelepasan dalam biomekanika gerak lempar merupakan faktor penting yang menentukan lintasan dan performa lemparan. Meskipun secara teoritis sudut optimal proyektil sekitar 45°, penerapan dalam olahraga sangat dipengaruhi oleh jenis lemparan, tinggi pelepasan, kecepatan objek, dan teknik biomekanika atlet.

c. Contoh Konkret: Lempar Bola Basket

1. Persiapan: Pegangan bola dengan jari-jari terbuka, posisi tubuh stabil.
2. Awalan: Langkah kecil ke depan untuk membangun momentum.
3. Akselerasi: Lengan dan pergelangan tangan mendorong bola ke depan.
4. Lepas: Bola dilepaskan dengan sudut sekitar 35° dan kecepatan tinggi.
5. *Follow-through*: Tangan terus bergerak maju dan turun untuk menjaga akurasi.



B. BIOMEKANIKA GERAK TANGKAP

Biomekanika gerak tangkap merupakan kajian biomekanika olahraga yang mempelajari prinsip mekanika tubuh saat menerima, menghentikan, atau mengendalikan objek yang bergerak menggunakan tangan maupun bagian tubuh tertentu. Gerakan tangkap melibatkan koordinasi antara

sistem saraf, penglihatan, otot, tulang, dan sendi untuk mengontrol momentum objek agar dapat dihentikan dengan aman dan efektif.

Dalam berbagai cabang olahraga seperti sepak bola, bola basket, bola voli, baseball, softball, handball, dan kriket, kemampuan menangkap sangat penting karena berkaitan dengan kontrol permainan, akurasi, dan keselamatan atlet. Secara biomekanis, gerakan tangkap bukan hanya sekadar menerima objek, tetapi juga melibatkan proses penyerapan gaya, pengurangan kecepatan objek, dan stabilisasi tubuh. Menurut Peter McGinnis (2013), biomekanika gerak tangkap berfokus pada bagaimana tubuh mengontrol gaya dan momentum objek yang datang sehingga energi benturan dapat dikurangi secara efektif.

a. Pengertian Gerak Tangkap

Gerak tangkap adalah gerakan menerima dan mengontrol objek yang bergerak menggunakan tangan atau bagian tubuh tertentu dengan tujuan menghentikan, menguasai, atau mengarahkan kembali objek tersebut. Secara biomekanis, gerakan tangkap melibatkan:

1. Koordinasi Visual dan Motorik

Koordinasi visual dan motorik merupakan kemampuan tubuh mengintegrasikan informasi penglihatan dengan respons gerakan otot saat menangkap objek. Dalam gerakan tangkap, mata berfungsi mendeteksi arah, kecepatan, lintasan, dan waktu datangnya objek, sedangkan sistem saraf mengirimkan sinyal ke otot untuk menggerakkan tangan atau tubuh menuju posisi yang tepat. Koordinasi ini sangat penting karena objek yang bergerak sering memiliki kecepatan tinggi dan lintasan yang berubah-ubah. Tubuh harus mampu melakukan penyesuaian gerakan secara cepat berdasarkan informasi visual yang diterima. Semakin baik koordinasi mata dan tangan, maka semakin tinggi tingkat akurasi tangkapan. Menurut Duane Knudson (2007), koordinasi visual-motorik merupakan dasar utama keterampilan manipulatif dalam olahraga karena memungkinkan atlet merespons gerakan objek secara efisien dan tepat waktu. Dalam olahraga seperti baseball, penjaga gawang sepak bola, atau bola basket, atlet harus mampu memperkirakan titik kontak objek sebelum bola mencapai tangan. Kesalahan kecil dalam persepsi visual dapat menyebabkan kegagalan tangkapan atau kehilangan kontrol terhadap objek.

2. Penyesuaian Posisi Tubuh

Penyesuaian posisi tubuh merupakan proses biomekanis ketika tubuh bergerak untuk menempatkan diri pada posisi paling efektif sebelum menerima objek. Gerakan ini melibatkan perubahan posisi kaki, batang

tubuh, kepala, dan tangan agar tubuh berada pada jalur datangnya objek. Posisi tubuh yang tepat membantu meningkatkan stabilitas dan mempermudah pengontrolan objek saat kontak terjadi. Atlet biasanya memperbesar dasar tumpuan (*base of support*/BoS) dengan membuka posisi kaki agar keseimbangan tubuh lebih stabil. Selain itu, pusat massa tubuh (*center of mass*/COM) harus tetap dijaga berada di dalam dasar tumpuan agar tubuh tidak mudah kehilangan keseimbangan saat menerima gaya benturan dari objek. Menurut Susan Hall (2014), penyesuaian posisi tubuh sebelum kontak membantu meningkatkan efisiensi gerakan dan mengurangi tekanan mekanis pada tubuh saat proses tangkap berlangsung. Dalam olahraga seperti voli atau sepak bola, atlet sering bergerak cepat ke arah bola untuk memperoleh posisi terbaik sebelum melakukan tangkapan atau penerimaan bola.

3. Penyerapan Gaya Benturan

Saat objek menyentuh tangan atau tubuh, terjadi gaya benturan akibat momentum objek yang bergerak. Penyerapan gaya benturan merupakan proses biomekanis untuk mengurangi tekanan yang diterima tubuh agar tangkapan lebih aman dan nyaman. Secara biomekanis gaya benturan dapat dikurangi dengan memperpanjang waktu kontak antara tangan dan objek. Atlet biasanya menekuk siku, menarik tangan mengikuti arah gerak bola, atau mengendurkan sendi saat kontak terjadi. Teknik ini membantu mendistribusikan gaya secara bertahap sehingga tekanan pada tangan dan sendi menjadi lebih kecil.

Prinsip ini berkaitan dengan konsep impuls dalam biomekanika, yaitu semakin lama waktu kontak, maka semakin kecil gaya benturan yang diterima tubuh. Menurut Anthony Blazevich (2007) kemampuan menyerap gaya benturan secara efektif sangat penting untuk menjaga kontrol objek dan mencegah cedera pada tangan, pergelangan tangan, dan siku. Dalam olahraga baseball atau cricket, teknik menarik tangan ke belakang saat menangkap bola membantu mengurangi rasa sakit akibat benturan bola berkecepatan tinggi.

4. Pengontrolan Momentum Objek

Momentum merupakan hasil perkalian massa dan kecepatan objek. Saat menangkap objek yang bergerak, tubuh harus mampu mengurangi atau menghentikan momentum tersebut agar objek dapat dikendalikan dengan baik. Pengontrolan momentum dilakukan melalui koordinasi gerakan tangan, lengan, dan tubuh untuk memperlambat gerakan objek secara bertahap. Jika momentum objek tidak dikontrol dengan baik, bola

dapat terlepas atau tubuh kehilangan keseimbangan saat kontak terjadi. Menurut Peter McGinnis (2013) pengontrolan momentum dalam gerakan tangkap sangat penting karena menentukan kemampuan atlet mempertahankan stabilitas tubuh sekaligus menguasai objek dengan efektif. Dalam olahraga seperti bola *basket* atau *handball*, atlet tidak hanya menangkap bola tetapi juga harus segera mengontrol arah dan posisi bola untuk melakukan gerakan berikutnya. Oleh karena itu, pengontrolan momentum menjadi bagian penting dalam efisiensi permainan. Kemampuan mengontrol momentum membantu mengurangi tekanan berlebih pada sendi tubuh karena gaya benturan dapat disebarkan melalui gerakan tubuh secara lebih merata.

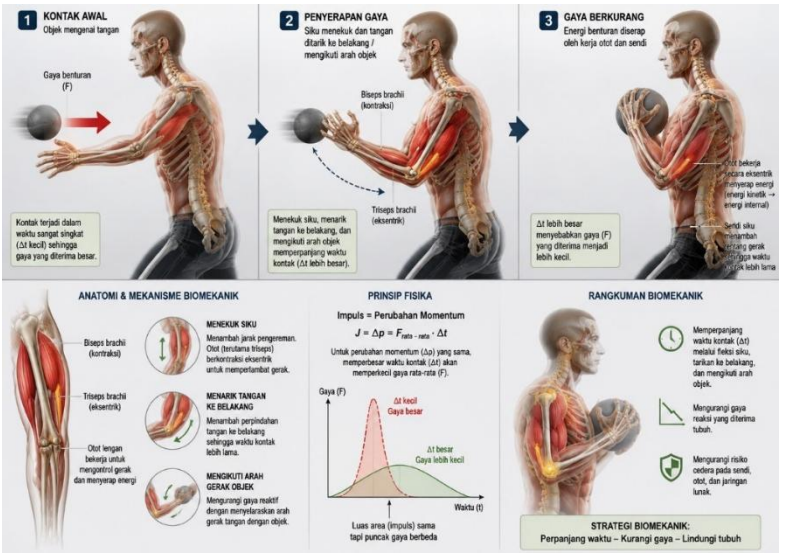
b. Prinsip Biomekanika dalam Gerak Tangkap

1. Penyerapan Gaya (Force Absorption)

Saat objek menyentuh tangan atau tubuh, terjadi gaya benturan yang cukup besar. Untuk mengurangi risiko cedera dan meningkatkan kontrol objek, tubuh harus menyerap gaya tersebut secara bertahap.

Secara biomekanis, penyerapan gaya dilakukan dengan:

- menekuk siku,
- menarik tangan ke belakang,
- atau mengikuti arah gerak objek.



Tindakan ini membantu memperpanjang waktu kontak sehingga gaya benturan berkurang. Menurut Susan Hall (2014), memperpanjang waktu kontak merupakan prinsip penting dalam biomekanika tangkap karena dapat menurunkan besar gaya yang diterima tubuh.

2. Momentum dan Impuls

Objek yang bergerak memiliki momentum yang harus dikurangi saat proses tangkap terjadi. Tubuh menghasilkan impuls untuk menghentikan atau memperlambat objek tersebut. Hubungan impuls dan momentum dijelaskan melalui konsep biomekanika berikut: Prinsip ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara tangan dan objek, maka semakin kecil gaya yang diterima tubuh. Dalam olahraga seperti baseball atau sepak bola, teknik mengikuti arah bola saat menangkap membantu mengurangi gaya benturan secara signifikan.

3. Koordinasi Mata dan Tangan

Gerakan tangkap sangat bergantung pada koordinasi visual dan motorik. Mata berfungsi melacak lintasan objek, sedangkan sistem saraf mengatur respons otot untuk menggerakkan tangan menuju posisi yang tepat. Menurut Anthony Blazevich (2007), koordinasi mata dan tangan sangat menentukan akurasi serta keberhasilan gerak tangkap, terutama pada objek yang bergerak cepat.

Dalam olahraga bola atlet harus mampu memperkirakan:

1) Arah Datang Bola

Arah datang bola merupakan lintasan gerak bola menuju tubuh atlet. Dalam biomekanika olahraga kemampuan memperkirakan arah bola sangat penting karena menentukan posisi tubuh dan gerakan tangan atau kaki saat melakukan respons. Secara biomekanis mata berfungsi melacak lintasan bola sejak bola dilepaskan oleh lawan atau rekan setim. Informasi visual tersebut diproses oleh sistem saraf pusat untuk menentukan arah gerakan tubuh yang diperlukan. Jika atlet mampu membaca arah bola dengan cepat dan tepat, maka tubuh dapat bergerak menuju posisi optimal sebelum kontak terjadi.

Sebaliknya keterlambatan membaca arah bola dapat menyebabkan kesalahan posisi kehilangan keseimbangan, atau kegagalan melakukan kontrol bola. Menurut Susan Hall (2014), kemampuan memperkirakan arah bola membantu meningkatkan efisiensi gerakan karena tubuh dapat mempersiapkan respons motorik lebih awal sebelum bola tiba. Dalam olahraga seperti sepak bola, voli, dan baseball, atlet terus melakukan

penyesuaian posisi tubuh berdasarkan perubahan lintasan bola selama bergerak di udara.

2) Kecepatan Bola

Kecepatan bola merupakan faktor biomekanis yang menentukan waktu reaksi atlet saat melakukan gerakan tangkap atau kontrol bola. Semakin tinggi kecepatan bola maka semakin singkat waktu yang tersedia bagi atlet untuk memberikan respons. Secara biomekanis sistem saraf harus bekerja sangat cepat untuk mengoordinasikan gerakan tubuh sesuai waktu datangnya bola. Atlet yang mampu memperkirakan kecepatan bola dengan baik biasanya memiliki waktu reaksi dan koordinasi gerak yang lebih efektif. Menurut Anthony Blazevich (2007) persepsi terhadap kecepatan objek bergerak sangat penting dalam olahraga karena memengaruhi timing gerakan tubuh dan kualitas kontak dengan bola.

Dalam baseball atau tenis bola dapat bergerak dengan kecepatan sangat tinggi sehingga atlet harus memperkirakan waktu kontak hanya dalam hitungan detik. Kesalahan kecil dalam memperkirakan kecepatan dapat menyebabkan bola gagal ditangkap atau dipukul secara tidak optimal. Kecepatan bola juga memengaruhi besar gaya benturan saat kontak terjadi. Oleh karena itu, atlet perlu menyesuaikan teknik penyerapan gaya agar kontrol bola tetap baik dan risiko cedera dapat dikurangi.

3) Putaran Bola

Putaran bola (spin) merupakan rotasi bola selama bergerak di udara. Dalam biomekanika olahraga, putaran bola memengaruhi arah lintasan, kecepatan, dan perilaku bola saat menyentuh permukaan atau tangan atlet. Putaran dapat menyebabkan perubahan lintasan akibat pengaruh gaya aerodinamika. Bola yang berputar dapat bergerak melengkung, menurun, atau memantul dengan arah yang tidak lurus. Menurut Peter McGinnis (2013), kemampuan membaca putaran bola sangat penting karena membantu atlet memprediksi perubahan lintasan sebelum kontak terjadi. Dalam sepak bola bola dengan efek (*curve ball*) dapat berubah arah saat berada di udara. Pada tenis meja atau baseball, putaran bola memengaruhi kecepatan dan arah pantulan sehingga atlet harus menyesuaikan posisi tangan atau alat pukul dengan cepat. Kemampuan memperkirakan putaran bola membantu atlet menentukan teknik tangkap atau kontrol yang tepat agar bola tidak mudah terlepas atau bergerak tidak terkendali setelah kontak.

4) Titik Kontak Terbaik

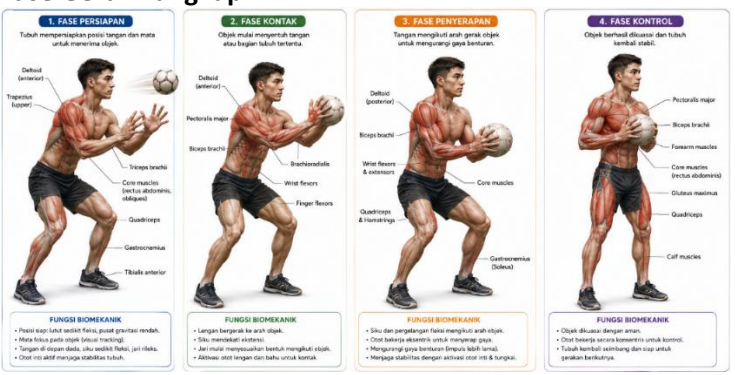
Titik kontak terbaik merupakan posisi dan waktu paling efektif bagi atlet untuk melakukan kontak dengan bola. Dalam biomekanika olahraga, penentuan titik kontak sangat penting untuk menghasilkan kontrol, akurasi, dan efisiensi gerakan yang optimal. Tubuh harus menyesuaikan posisi tangan, kaki, atau alat pukul agar kontak dengan bola terjadi pada posisi paling menguntungkan. Titik kontak yang tepat membantu mengurangi kehilangan energi dan meningkatkan kualitas respons terhadap bola. Menurut Duane Knudson (2007) keberhasilan teknik olahraga sering ditentukan oleh kemampuan atlet memilih timing dan posisi kontak yang tepat terhadap objek bergerak.

Dalam bola basket titik kontak terbaik membantu pemain mengontrol bola saat menerima umpan. Dalam voli, titik kontak menentukan kualitas passing atau smash. Sedangkan pada baseball, titik kontak sangat memengaruhi arah dan kekuatan pukulan. Selain meningkatkan performa, titik kontak yang baik juga membantu mengurangi tekanan berlebih pada sendi dan otot karena gaya benturan dapat diterima tubuh secara lebih stabil dan efisien.

4. Stabilitas dan Keseimbangan Tubuh

Saat melakukan tangkapan tubuh harus berada dalam posisi stabil agar mampu mengontrol gaya benturan tanpa kehilangan keseimbangan. Posisi kaki biasanya sedikit dibuka untuk memperbesar base of support (BoS) sehingga tubuh lebih stabil saat menerima objek. Pusat massa tubuh (*center of mass*/COM) juga dijaga agar tetap berada di dalam dasar tumpuan sehingga keseimbangan tetap terkontrol selama gerakan tangkap berlangsung.

c. Fase-Fase Gerak Tangkap



1. Fase Persiapan
   Tubuh mempersiapkan posisi tangan dan mata untuk menerima objek.
2. Fase Kontak
   Objek mulai menyentuh tangan atau bagian tubuh tertentu.
3. Fase Penyerapan
   Tangan mengikuti arah gerak objek untuk mengurangi gaya benturan.
4. Fase Kontrol
   Objek berhasil dikuasai dan tubuh kembali stabil.

Analisis Gerak Lempar dan Tangkap

Aspek	Lempar Bola Basket	Tangkap Bola Sepak Bola
Sudut pelepasan	Sekitar 35° dengan kecepatan tinggi	Tangan terbuka siap menyerap bola
Transfer energi	Dari kaki → pinggul → bahu → tangan	Keseimbangan tubuh untuk kontrol dan stabilitas
Posisi tubuh	Tubuh condong ke depan untuk arah lemparan	Tubuh tegak dengan lutut sedikit ditekuk
Kontrol otot	Percepatan lengan dengan follow-through	Melemaskan tangan saat kontak bola

Tips Perbaikan Teknik

Gerak	Masalah Umum	Solusi Biomekanika
Lempar	Sudut pelepasan terlalu rendah atau tinggi	Latihan pengaturan sudut dan kekuatan lengan
Tangkap	Tangan kaku saat menerima bola	Latihan relaksasi otot dan koordinasi mata-tangan

BAB 12

ANALISIS BIOMEKANIKA OLAHRAGA AIR, POPULER & OLAHRAGA LOKAL UNGGULAN MASYARAKAT

Ruang Lingkup Materi

- Olahraga air: **Renang**
- Olahraga populer: **Futsal, Sepak Bola, Bola Voli, Atletik**
- Olahraga tradisional/lokal: **Pajura, Patuku, dan Sagi**

A. BIOMEKANIKA RENANG (GAYA BEBAS)

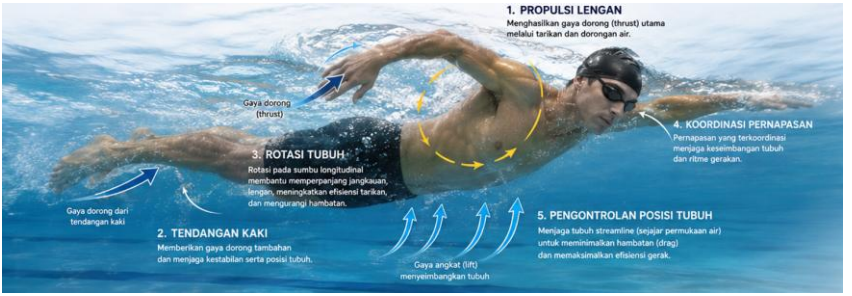
Biomekanika renang gaya bebas merupakan kajian biomekanika olahraga yang mempelajari prinsip mekanika tubuh saat berenang untuk menghasilkan gerakan yang efisien, cepat, dan hemat energi di dalam air. Renang gaya bebas atau *front crawl* adalah gaya renang tercepat karena memungkinkan tubuh bergerak dengan hambatan air yang relatif kecil serta menghasilkan propulsi yang besar melalui koordinasi gerakan lengan, tungkai, dan pernapasan. Renang gaya bebas dipengaruhi oleh interaksi antara gaya dorong (*propulsion*), hambatan air (*drag force*), posisi tubuh, koordinasi gerakan, dan efisiensi energi. Atlet harus mampu menghasilkan gaya dorong maksimal sambil meminimalkan hambatan air agar kecepatan renang meningkat. Menurut James Hay (1993) biomekanika renang bertujuan memahami bagaimana tubuh menghasilkan gaya di dalam air secara efisien melalui koordinasi gerak dan pengaturan posisi tubuh.

Biomekanika renang gaya bebas adalah kajian ilmiah mengenai gerakan tubuh di dalam air berdasarkan prinsip mekanika seperti gaya, momentum, hambatan, dan efisiensi gerak.

Secara biomekanis gerakan renang gaya bebas melibatkan:

- gerakan propulsi lengan,
- tendangan kaki,
- rotasi tubuh,
- koordinasi pernapasan,

serta pengontrolan posisi tubuh terhadap air.



Karena air memiliki resistensi lebih besar dibanding udara, tubuh harus bergerak dengan teknik yang efisien agar energi tidak banyak terbuang selama berenang. Menurut Duane Knudson (2007), biomekanika renang menekankan pentingnya efisiensi mekanis tubuh dalam menghasilkan gaya dorong dan mengurangi hambatan air selama gerakan berlangsung.

a. Prinsip Biomekanika dalam Renang Gaya Bebas

1. Gaya Dorong (*Propulsion*)
   Gaya dorong merupakan gaya yang menggerakkan tubuh ke depan di dalam air. Pada gaya bebas, propulsi utama dihasilkan oleh gerakan lengan dan dibantu oleh tendangan kaki. Gerakan menarik dan mendorong air ke belakang menghasilkan reaksi gaya yang mendorong tubuh maju ke depan sesuai hukum aksi-reaksi Newton. Menurut Peter McGinnis (2013) efektivitas gaya dorong dipengaruhi oleh luas bidang dorong tangan, kecepatan gerakan lengan, dan koordinasi tubuh selama berenang.
2. Hambatan Air (*Drag Force*)
   Hambatan air merupakan gaya resistensi yang menghambat gerakan tubuh di dalam air. Dalam biomekanika renang, hambatan air harus diminimalkan agar kecepatan renang meningkat. Hambatan dipengaruhi oleh: posisi tubuh, luas permukaan tubuh, bentuk gerakan, dan kecepatan renang. Tubuh yang terlalu tegak atau gerakan yang tidak efisien akan meningkatkan hambatan sehingga energi lebih cepat

habis. Menurut Susan Hall (2014), posisi tubuh horizontal membantu mengurangi hambatan air dan meningkatkan efisiensi gerakan renang.

3. Posisi Tubuh (*Body Alignment*)
   Posisi tubuh sangat menentukan efisiensi biomekanika renang gaya bebas. Tubuh harus berada dalam posisi horizontal dan streamline agar hambatan air tetap rendah. Kepala, pinggul, dan kaki harus sejajar mendekati permukaan air. Jika pinggul turun terlalu rendah, hambatan air akan meningkat dan kecepatan renang menurun. Posisi tubuh yang baik membantu pusat massa tubuh tetap stabil selama bergerak di air.
4. Rotasi Tubuh
   Rotasi tubuh pada gaya bebas membantu meningkatkan panjang kayuhan lengan dan efisiensi gerakan. Tubuh biasanya berputar ringan ke kanan dan kiri mengikuti gerakan lengan. Rotasi ini membantu: memperbesar jangkauan kayuhan, mempermudah pernapasan, serta mengurangi tekanan pada bahu. Menurut Anthony Blazevich (2007), rotasi tubuh yang terkoordinasi membantu meningkatkan transfer energi selama gerakan renang.
5. Pernapasan
   Teknik pernapasan dalam gaya bebas harus dilakukan secara ritmis tanpa mengganggu posisi tubuh dan gerakan lengan.Atlet biasanya memutar kepala ke samping saat mengambil napas agar posisi tubuh tetap streamline. Pengangkatan kepala terlalu tinggi dapat meningkatkan hambatan air dan menurunkan efisiensi gerakan.

b. Fase Gerakan Renang Gaya Bebas

1. Fase *Entry*
Tangan masuk ke air dengan posisi lurus di depan tubuh.



2. Fase *Catch*
   Tangan mulai menangkap air untuk memulai propulsi.



3. Fase *Pull*
   Lengan menarik air ke belakang untuk menghasilkan gaya dorong.



4. Fase *Push*
   Tangan mendorong air hingga melewati pinggul.



5. Fase *Recovery*
   Lengan kembali ke depan melalui atas permukaan air.



c. Contoh Analisis Gerak renang (Gaya bebas):

- Sudut masuk lengan: Optimal 30°–45°.
- Panjang langkah renang (stroke length) → makin panjang, makin efisien.
- Frekuensi kaki → terlalu cepat bisa buang energi, terlalu lambat mengurangi stabilitas.

B. BIOMEKANIKA FUTSAL & SEPAK BOLA

Biomekanika futsal dan sepak bola merupakan kajian ilmiah yang mempelajari prinsip mekanika tubuh saat melakukan berbagai gerakan dalam permainan seperti berlari, menendang, menggiring bola, melompat, berputar, berubah arah, dan menjaga keseimbangan tubuh. Analisis biomekanika digunakan untuk memahami bagaimana tubuh menghasilkan gerakan yang efektif, efisien, dan aman selama pertandingan maupun latihan. Dalam futsal dan sepak bola, pemain harus mampu melakukan gerakan dengan kecepatan tinggi, koordinasi yang baik, serta kontrol tubuh

yang optimal. Oleh karena itu, biomekanika memiliki peran penting dalam meningkatkan performa teknik sekaligus mengurangi risiko cedera olahraga.



Biomekanika futsal dan sepak bola adalah ilmu yang mempelajari gerakan tubuh pemain berdasarkan prinsip mekanika seperti gaya, momentum, keseimbangan, pusat massa, percepatan, dan torsi selama aktivitas permainan. Secara biomekanis gerakan pemain melibatkan:

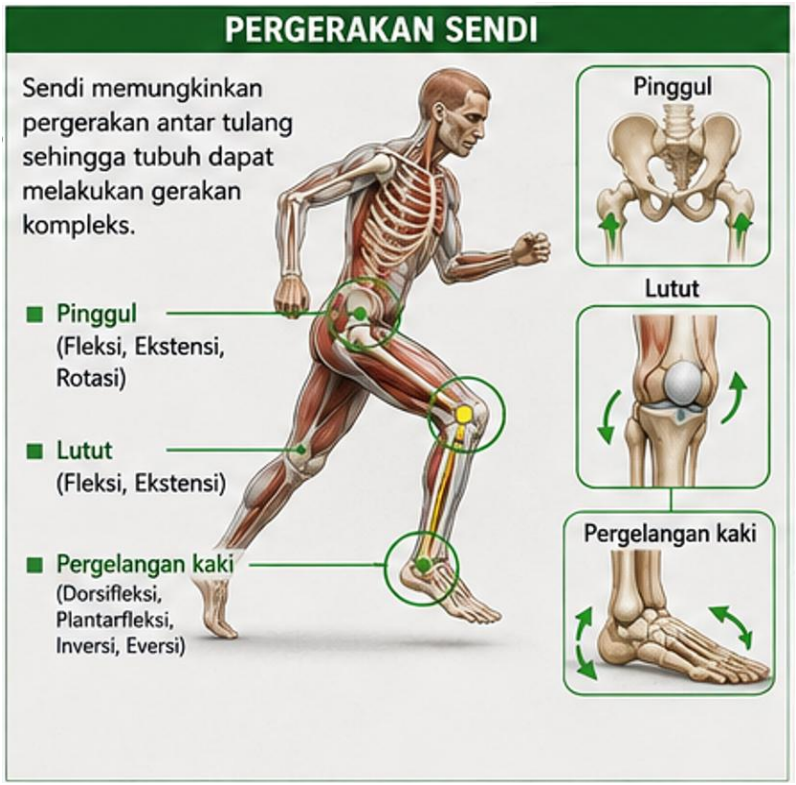
- Kerja otot

  Kerja otot merupakan dasar utama yang memungkinkan tubuh menghasilkan gerakan selama permainan. Otot bekerja melalui proses kontraksi dan relaksasi untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan tulang dan sendi. Gerakan seperti berlari, menendang, melompat, menggiring bola, dan berubah arah semuanya bergantung pada koordinasi kerja berbagai kelompok otot tubuh. Otot berfungsi menghasilkan gaya melalui tarikan terhadap tulang yang bekerja sebagai sistem tuas tubuh. Ketika pemain melakukan sprint, otot quadriceps dan gluteus menghasilkan gaya dorong besar untuk mempercepat tubuh ke depan. Saat menendang bola, otot hamstring, quadriceps, dan otot pinggul bekerja secara eksplosif untuk menghasilkan kecepatan ayunan kaki yang tinggi.



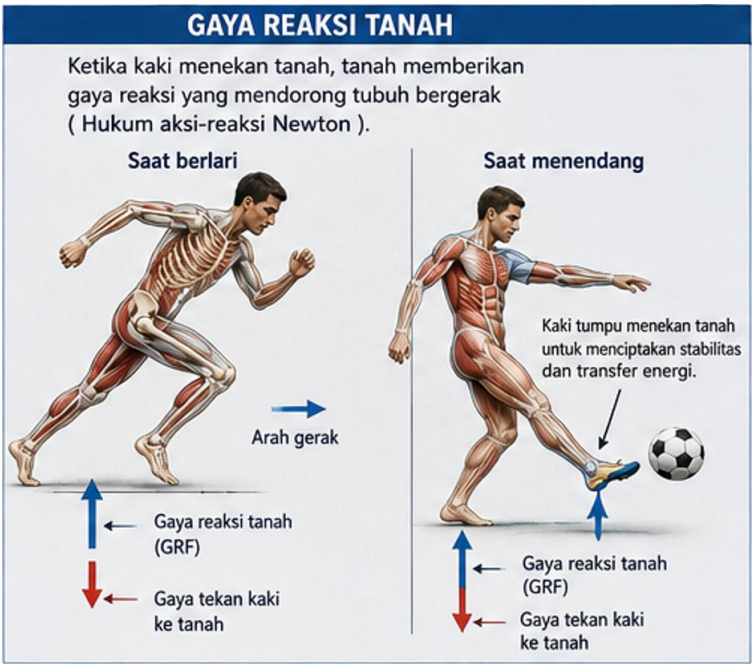
Menurut Anthony Blazevich (2007), efektivitas gerakan olahraga sangat dipengaruhi oleh kemampuan otot menghasilkan gaya secara cepat dan terkoordinasi. Dalam sepak bola dan futsal, kontraksi otot eksplosif sangat penting karena permainan berlangsung dengan tempo cepat dan membutuhkan perubahan gerakan secara mendadak. Selain menghasilkan gerakan, otot juga berfungsi menjaga stabilitas tubuh dan melindungi sendi dari tekanan berlebih selama aktivitas olahraga.

- Pergerakan sendi
  Pergerakan sendi merupakan komponen biomekanis yang memungkinkan tubuh bergerak secara fleksibel dan terarah selama permainan futsal dan sepak bola. Sendi berfungsi sebagai titik pergerakan antar tulang sehingga tubuh dapat melakukan berbagai gerakan kompleks seperti menendang, berlari, berputar, dan melompat.



Sendi lutut, pinggul, dan pergelangan kaki menjadi bagian yang paling dominan dalam futsal dan sepak bola karena terus digunakan untuk menghasilkan gerakan dinamis. Saat menendang bola, sendi pinggul melakukan fleksi dan rotasi, lutut melakukan ekstensi, sedangkan pergelangan kaki membantu mengarahkan kontak dengan bola. Menurut Susan Hall (2014), kualitas pergerakan sendi memengaruhi efisiensi biomekanika tubuh dan kemampuan menghasilkan gerakan yang cepat serta stabil. Pergerakan sendi yang baik membantu pemain menghasilkan jangkauan gerak lebih luas, meningkatkan kelincahan, serta mengurangi risiko cedera akibat keterbatasan mobilitas tubuh.

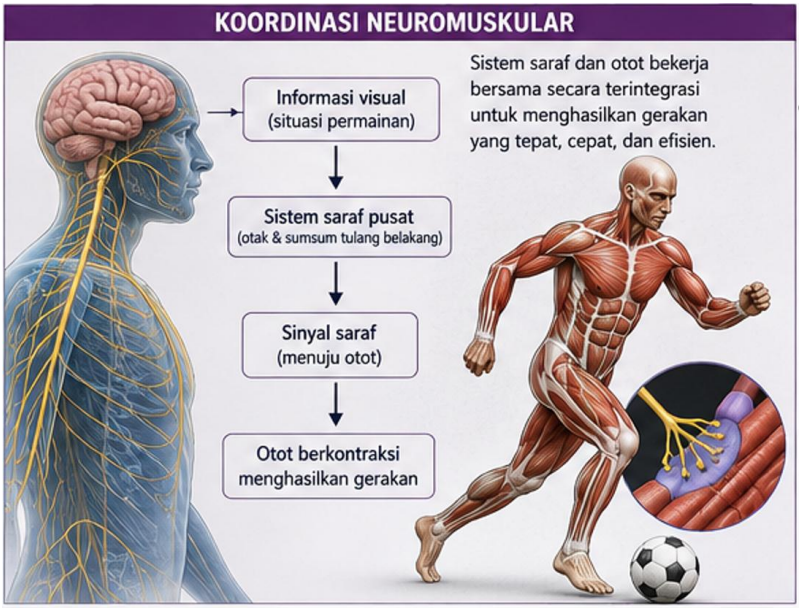
- Gaya reaksi tanah
  Gaya reaksi tanah merupakan gaya yang diberikan permukaan lapangan terhadap tubuh ketika kaki memberikan tekanan ke tanah. Prinsip ini berasal dari hukum aksi-reaksi Newton, yaitu setiap gaya aksi akan menghasilkan gaya reaksi yang sama besar tetapi berlawanan arah.



Dalam biomekanika fusal dan sepak bola, gaya reaksi tanah sangat penting karena menjadi sumber utama gerakan tubuh. Saat pemain berlari atau melompat, kaki menekan permukaan lapangan sehingga tanah memberikan gaya dorong yang membantu tubuh bergerak. Semakin besar gaya yang diberikan ke tanah, semakin besar pula percepatan atau kekuatan gerakan yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemain dengan kemampuan menghasilkan gaya reaksi tanah yang tinggi biasanya memiliki sprint lebih cepat dan lompatan lebih baik.Menurut Peter McGinnis (2013), gaya reaksi tanah memainkan peran penting dalam produksi gaya horizontal dan vertikal selama aktivitas olahraga. Dalam gerakan menendang, kaki tumpu memberikan tekanan terhadap tanah untuk menciptakan stabilitas tubuh dan membantu transfer energi menuju kaki penendang. Jika posisi kaki tumpu tidak stabil, maka efisiensi tendangan akan menurun.

- Koordinasi neuromuskular.
  Koordinasi neuromuskular adalah kemampuan sistem saraf dan otot bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan gerakan yang tepat, cepat, dan efisien. Dalam futsal dan sepak bola, koordinasi neuromuskular sangat penting karena pemain harus mampu merespons

situasi permainan dengan cepat sambil mempertahankan kontrol tubuh dan bola. sistem saraf menerima informasi dari penglihatan, keseimbangan, dan reseptor tubuh, kemudian mengirimkan sinyal ke otot untuk menghasilkan gerakan tertentu. Proses ini memungkinkan tubuh melakukan gerakan kompleks seperti menggiring bola sambil berlari, mengubah arah secara mendadak, atau melakukan tendangan akurat. Menurut Duane Knudson (2007), koordinasi neuromuskular membantu meningkatkan efisiensi gerakan karena otot dapat bekerja secara sinkron sesuai kebutuhan aktivitas olahraga.



Dalam futsal koordinasi neuromuskular sangat terlihat saat pemain melakukan kontrol bola dalam ruang sempit dengan tempo permainan tinggi. Sedangkan dalam sepak bola, kemampuan ini penting saat pemain melakukan kombinasi gerakan seperti sprint, dribbling, dan shooting secara bersamaan. Selain mendukung performa, koordinasi neuromuskular juga membantu mengurangi risiko cedera karena tubuh mampu mengontrol posisi sendi dan distribusi gaya secara lebih baik selama aktivitas olahraga berlangsung.

Gerakan futsal dan sepak bola bersifat dinamis karena pemain terus melakukan perubahan posisi dan arah gerakan sesuai situasi permainan. Menurut Duane Knudson (2007), analisis biomekanika dalam olahraga permainan membantu meningkatkan kualitas teknik gerakan dan efisiensi energi selama aktivitas berlangsung.

a. Analisis Biomekanika Gerakan dalam Futsal dan Sepak Bola

1. Gerakan Berlari

Berlari melibatkan:

- fase tolakan,



- fase ayunan,

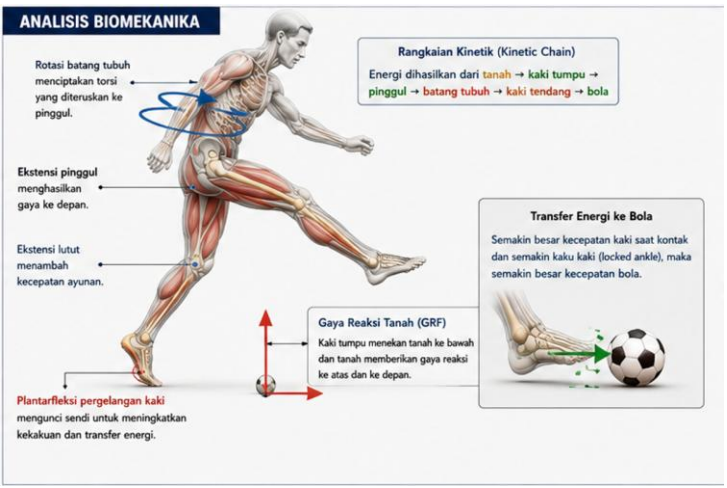


- fase kontak tanah.



Pemain harus menghasilkan gaya horizontal besar untuk mencapai kecepatan tinggi dengan waktu kontak tanah yang singkat.

2. Gerakan Menendang Bola



Gerakan menendang melibatkan:

- awalan,



- ayunan kaki,



- kontak dengan bola,



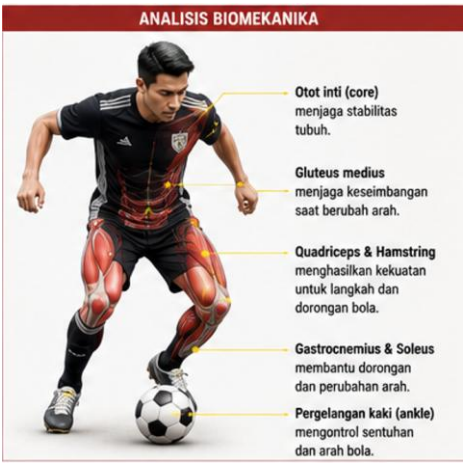
- follow-through.



Kekuatan tendangan dipengaruhi oleh:

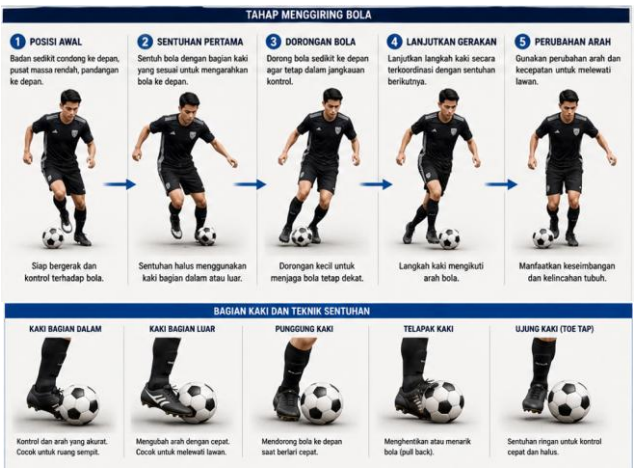
- kecepatan ayunan kaki,
- koordinasi tubuh,
- dan posisi kaki tumpu.

3. Gerakan Menggiring Bola (Dribbling)



Saat menggiring bola, pemain harus menjaga:

- Kontrol bola



- keseimbangan tubuh,

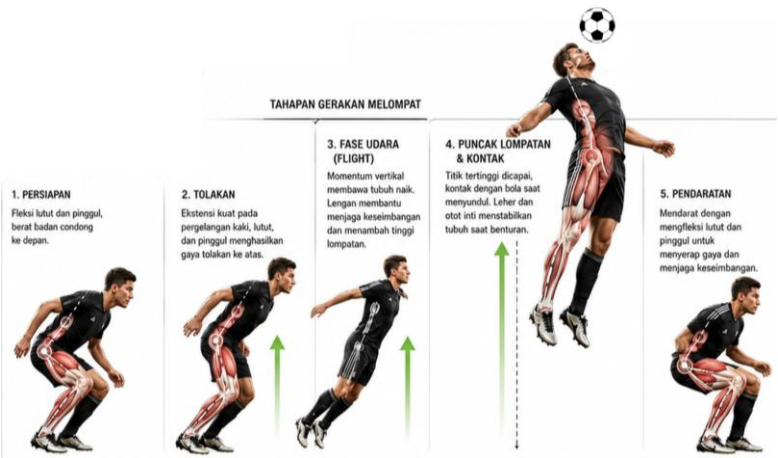


- Koordinasi langkah kaki.



Pusat massa tubuh biasanya diturunkan agar perubahan arah lebih cepat dan stabil.

4. Gerakan Melompat



Melompat digunakan saat duel udara atau menyundul bola.
Gerakan ini melibatkan:

- gaya tolakan,
- momentum vertikal,
- koordinasi lengan serta tungkai.



5. Gerakan Perubahan Arah (*Cutting Movement*)

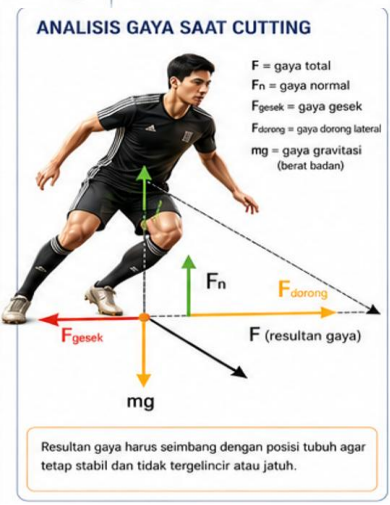


Futsal dan sepak bola membutuhkan kemampuan perubahan arah yang cepat. Biomekanika perubahan arah dipengaruhi oleh:

- gaya gesek,
- posisi pusat massa,
- dan kekuatan otot tungkai.







Teknik perubahan arah yang buruk dapat meningkatkan risiko cedera lutut, terutama cedera ACL.



b. Peran Otot dalam Futsal dan Sepak Bola

Gerakan dalam futsal dan sepak bola melibatkan banyak kelompok otot, terutama:

- quadriceps,
- hamstring,
- gastrocnemius,
- gluteus,



RINGKASAN PERAN OTOT

Kelompok Otot	Peran Utama dalam Permainan
Quadriceps	Ekstensi lutut, menendang, berlari, meloncat, perubahan arah
Hamstring	Ekstensi panggul, fleksi lutut, akselerasi, deselerasi, menjaga stabilitas
Gastrocnemius	Plantar fleksi pergelangan kaki, tolakan, lompatan, sprint
Gluteus	Ekstensi panggul, stabilisasi pinggul, kekuatan dorongan, menjaga postur

Koordinasi kerja otot membantu menghasilkan gerakan eksplosif dan menjaga stabilitas tubuh selama permainan.

C. BIOMEKANIKA BOLA VOLI

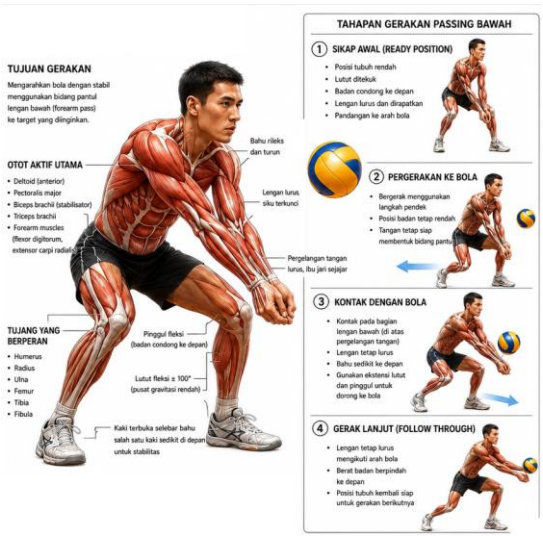
Biomekanika bola voli merupakan kajian ilmiah yang mempelajari prinsip mekanika tubuh saat melakukan berbagai gerakan dalam permainan bola voli seperti servis, passing, smash, blocking, melompat, dan bergerak di lapangan. Analisis biomekanika digunakan untuk memahami bagaimana tubuh menghasilkan gerakan yang efektif, efisien, cepat, dan aman selama pertandingan maupun latihan. Dalam bola voli, pemain harus mampu menghasilkan kekuatan eksplosif, koordinasi gerak yang baik, keseimbangan tubuh, serta ketepatan teknik saat berinteraksi dengan bola. Oleh karena itu, biomekanika sangat penting untuk meningkatkan performa teknik sekaligus mengurangi risiko cedera olahraga. Menurut Duane Knudson (2007), biomekanika olahraga membantu menjelaskan hubungan antara gaya, gerakan, dan fungsi tubuh untuk meningkatkan efisiensi teknik dalam aktivitas olahraga.

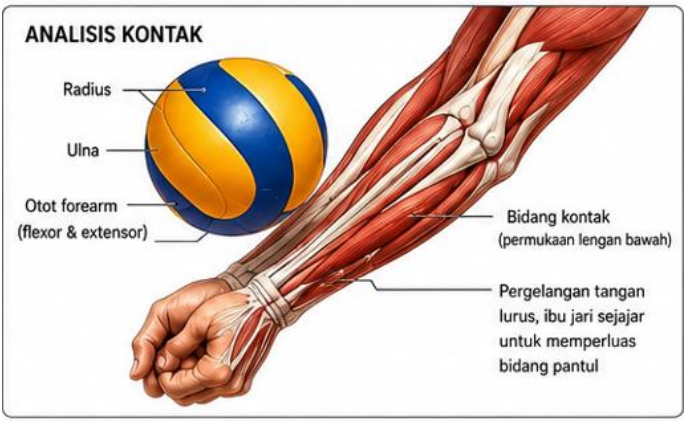
a. Analisis Biomekanika Gerakan dalam Bola Voli

1. Passing

   Passing melibatkan:

   - posisi tubuh rendah,
   - stabilitas kaki,
   - dan kontrol lengan.





KERJA OTOT & SENDI

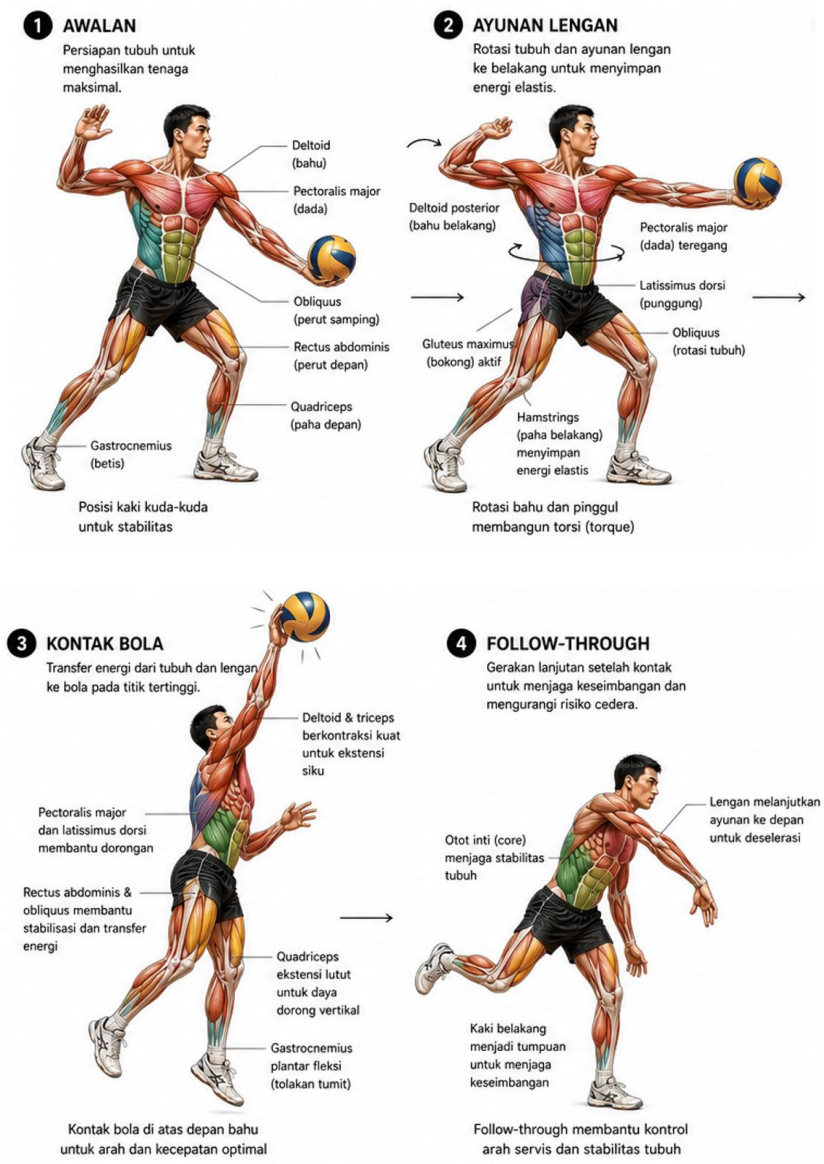
SENDI	GERAKAN	OTOT UTAMA	FUNGSI
Pergelangan Tangan	Stabilisasi	Flexor carpi radialis, Extensor carpi radialis	Menjaga lengan tetap kaku dan rata
Siku	Ekstensi	Triceps brachii	Meluruskan lengan untuk bidang pantul
Bahu	Fleksi ringan & stabilisasi	Deltoid (anterior), Pectoralis major	Mengarahkan lengan ke bola
Pinggul	Fleksi	Gluteus maximus, Quadriceps	Menurunkan posisi tubuh
Lutut	Fleksi/Ekstensi	Quadriceps, Hamstring	Stabilitas dan dorongan ke arah bola
Pergelangan Kaki	Dorsifleksi	Gastrocnemius, Soleus, Tibialis anterior	Menjaga keseimbangan saat bergerak

Gerakan passing bawah menggunakan lengan sebagai bidang pantul untuk mengarahkan bola secara stabil.

2. Servis

   Servis melibatkan:

   - awalan,
   - ayunan lengan,
   - kontak bola,
   - dan follow-through.



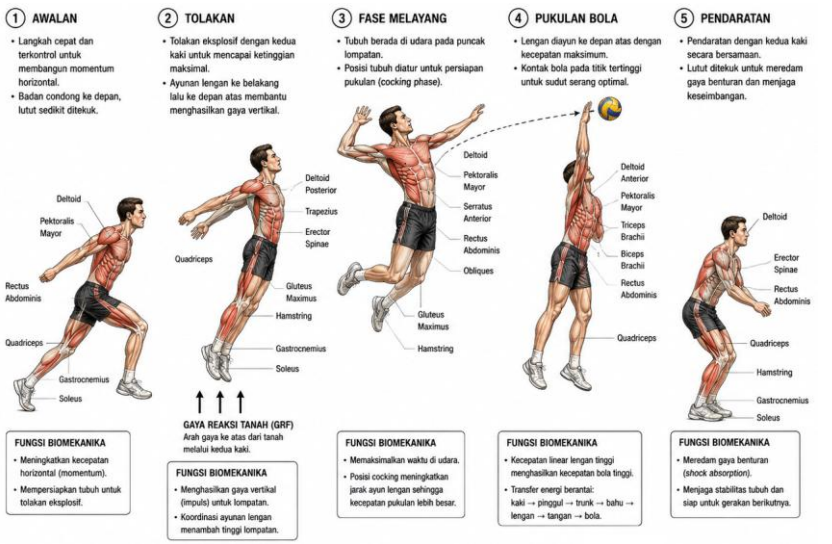
Kecepatan servis dipengaruhi oleh kekuatan rotasi tubuh dan kecepatan ayunan lengan.

3. Smash (Spike)

   Smash merupakan gerakan eksplosif yang melibatkan:

   - awalan,

- tolakan,
- fase melayang,
- pukulan bola,
- dan pendaratan.

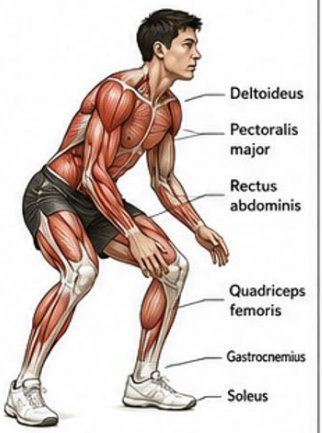


Smash membutuhkan kombinasi kekuatan tungkai, koordinasi tubuh, dan timing yang tepat.

4. Blocking
   Blocking dilakukan untuk menahan serangan lawan di dekat net.
   Gerakan ini melibatkan:
   - lompatan vertikal,
   - koordinasi tangan,
   - dan stabilitas tubuh saat mendarat.

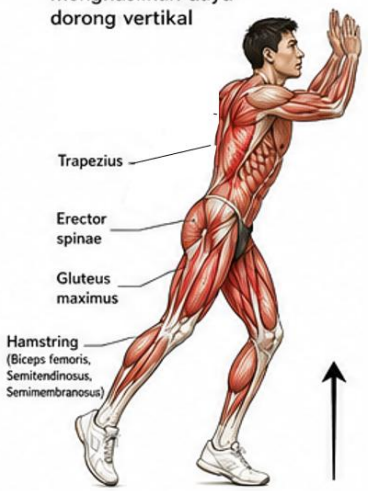
1. POSISI AWAL (SIAP)

- Posisi siku ditekuk
- Lutut fleksi
- Berat badan pada ujung kaki
- Pandangan fokus ke arah lawan



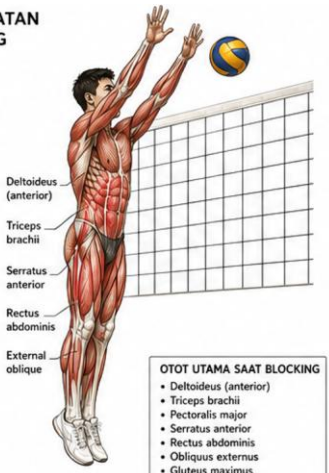
2. AWAL LOMPATAN (TAKE OFF)

- Ekstensi kuat pada pergelangan kaki, lutut, dan pinggul
- Ayunan lengan ke atas untuk membantu menghasilkan daya dorong vertikal



3. PUNCAK LOMPATAN DAN BLOCKING

- Tangan lurus ke atas melewati net
- Jari-jari terbuka lebar untuk menutup area serangan
- Bahu elevasi, tubuh sedikit condong ke depan
- Inti tubuh (core) stabil untuk menjaga kontrol di udara



OTOT UTAMA SAAT BLOCKING

- Deltoideus (anterior)
- Triceps brachii
- Pectoralis major
- Serratus anterior
- Rectus abdominis
- Obliquus externus
- Gluteus maximus
- Quadriceps femoris
- Hamstring
- Gastrocnemius & Soleus

4. PENDARATAN (LANDING)

- Mendarat dengan kedua kaki
- Lutut fleksi untuk meredam benturan
- Pinggul sedikit ke belakang untuk menjaga keseimbangan
- Tubuh tetap stabil dan siap untuk gerakan berikutnya

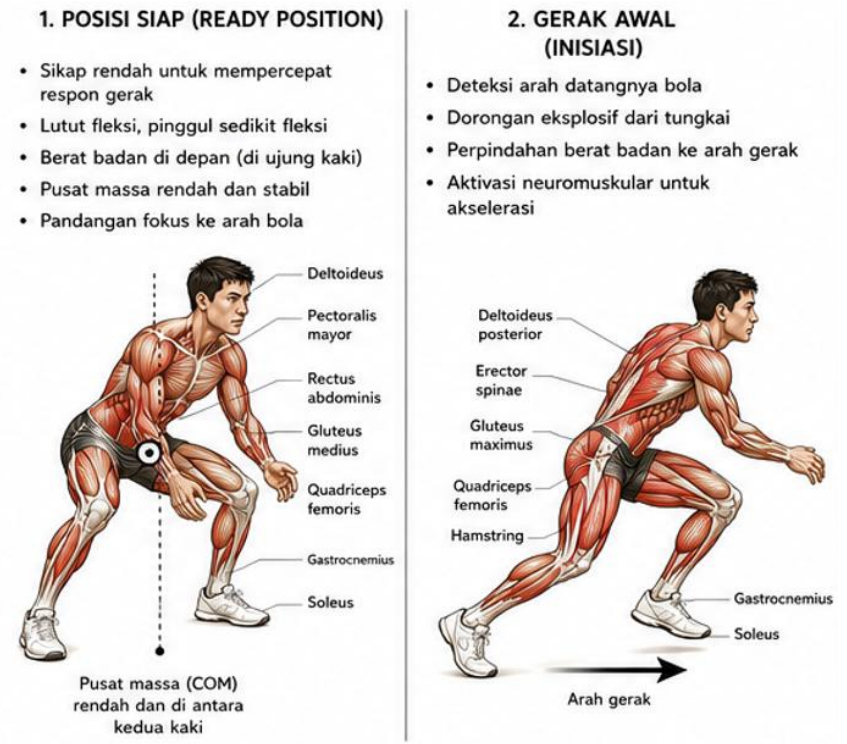


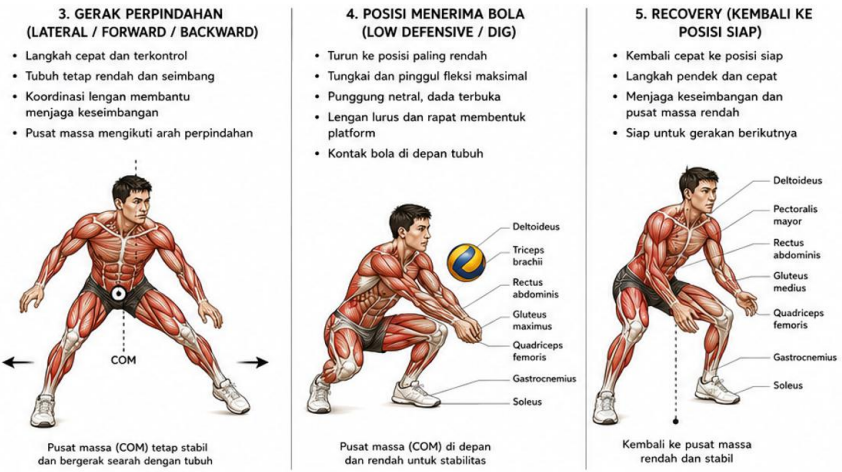
5. Gerakan Bertahan (Defensive Movement)

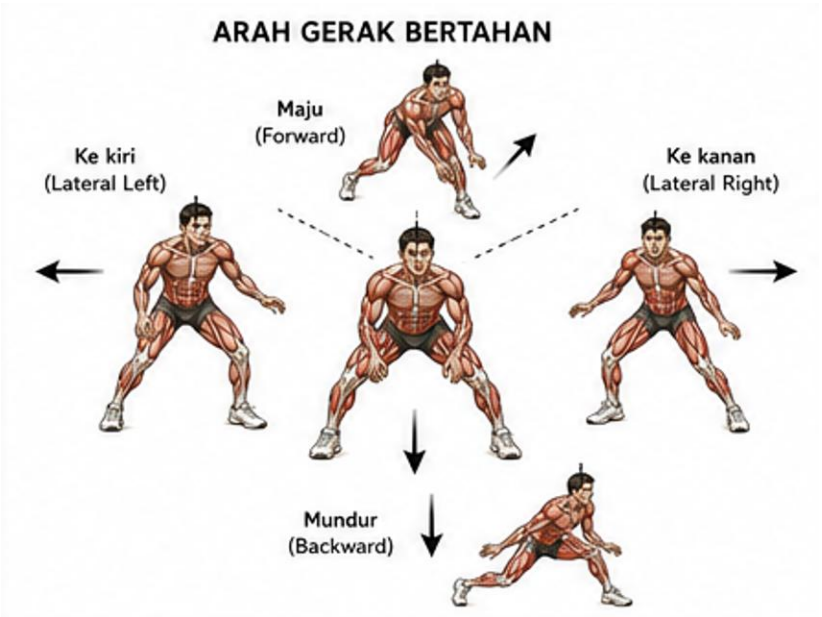
Pemain harus mampu bergerak cepat ke berbagai arah untuk menerima bola.

Biomekanika gerakan bertahan dipengaruhi oleh:

- keseimbangan,
- pusat massa,
- dan koordinasi neuromuskular.



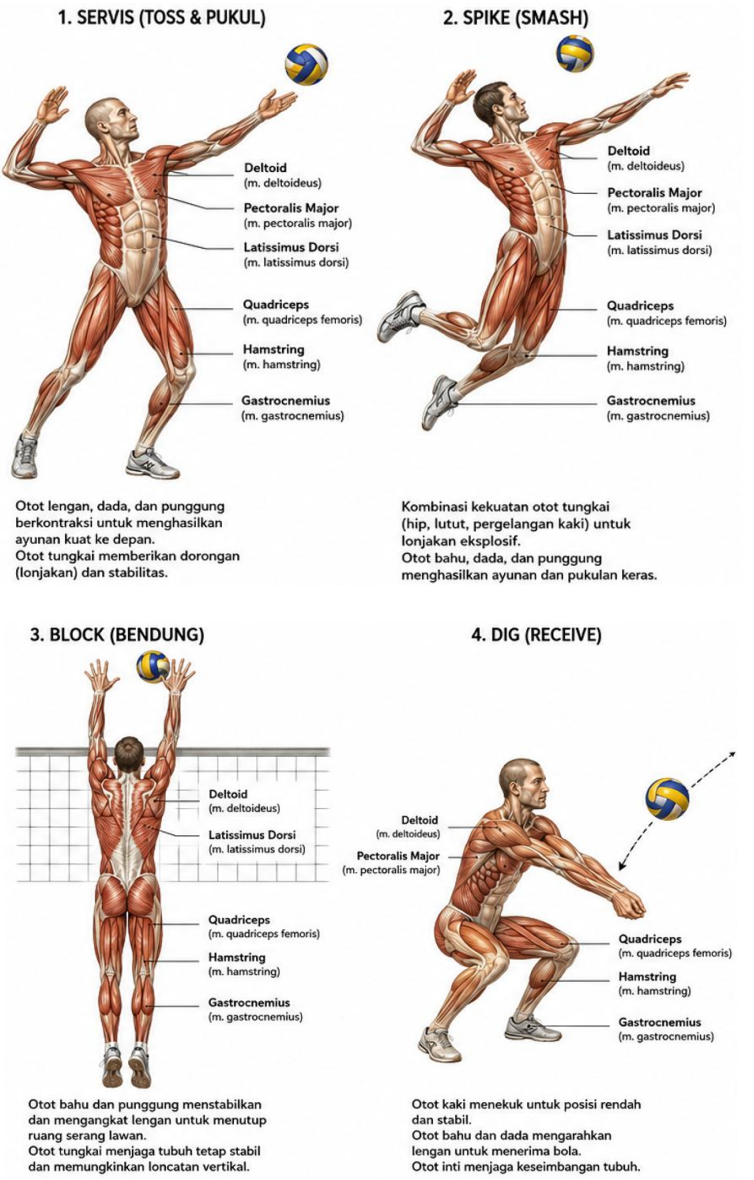




b. Peran Otot dalam Bola Voli

Dalam permainan bola voli, otot berperan sebagai penggerak utama untuk melakukan gerakan eksplosif seperti melompat, memukul (smash), membendung (block), dan mengoper bola. Kekuatan dan daya ledak (power) otot yang baik sangat menentukan akurasi, kecepatan, dan tenaga yang dihasilkan dalam setiap teknik Gerakan bola voli melibatkan banyak

kelompok otot seperti: *quadriceps, hamstring, gastrocnemius, deltoid, pectoralis major, latissimus dorsi*, dan otot inti (*core muscles*).



Ringkasan Peran Otot

Kelompok Otot	Peran Utama dalam Bola Voli	Gerakan yang Dominan
Quadriceps (m. quadriceps femoris)	Ekstensi lutut, menghasilkan dorongan dan lonjakan	Servis, Spike, Block, Dig
Hamstring (m. hamstring)	Fleksi lutut, stabilisasi, kontrol saat mendarat	Semua gerakan
Gastrocnemius (m. gastrocnemius)	Plantar fleksi pergelangan kaki, daya ledak loncatan	Servis, Spike, Block
Deltoid (m. deltoideus)	Abduksi dan fleksi bahu, mengangkat lengan	Servis, Spike, Block, Dig
Pectoralis Major (m. pectoralis major)	Adduksi dan rotasi internal bahu, pukulan kuat	Servis, Spike, Dig
Latissimus Dorsi (m. latissimus dorsi)	Ekstensi dan adduksi bahu, ayunan lengan ke bawah	Spike, Block
Otot Inti (Core Muscles)	Stabilitas trunk, transfer gaya, keseimbangan	Semua gerakan

Koordinasi kerja otot membantu menghasilkan gerakan eksplosif dan menjaga stabilitas tubuh selama permainan.

D. BIOMEKANIKA SPRINT (100)

Biomekanika sprint 100 meter merupakan kajian ilmiah yang mempelajari prinsip mekanika tubuh saat melakukan lari cepat jarak pendek dengan tujuan mencapai kecepatan maksimal dalam waktu sesingkat mungkin. Sprint 100 meter termasuk nomor lari yang sangat mengandalkan kekuatan eksplosif, percepatan, koordinasi gerak, teknik lari, dan efisiensi biomekanis tubuh. Saat sprint atlet harus mampu menghasilkan gaya horizontal besar melalui kaki untuk mempercepat tubuh secara optimal sambil mempertahankan teknik gerakan yang efisien. Oleh karena itu, biomekanika memiliki peran penting dalam meningkatkan

performa sprint serta mengurangi risiko cedera otot dan sendi. Menurut Peter McGinnis (2013), biomekanika sprint berfokus pada bagaimana tubuh menghasilkan gaya propulsi maksimal dengan waktu kontak tanah yang minimal.

a. Analisis Biomekanika Gerakan Lari Sprint

Analisis biomekanika gerakan lari sprint bertujuan untuk memahami bagaimana tubuh menghasilkan kecepatan maksimal melalui koordinasi gerakan, produksi gaya, efisiensi langkah, dan penggunaan energi yang optimal. Dalam sprint, setiap fase gerakan memiliki fungsi biomekanis yang sangat penting untuk menghasilkan percepatan dan mempertahankan kecepatan tinggi hingga garis finis. Menurut Peter McGinnis (2013), performa sprint dipengaruhi oleh kemampuan atlet menghasilkan gaya horizontal besar dengan waktu kontak tanah yang sangat singkat.

Secara biomekanis, analisis sprint meliputi: fase start, fase akselerasi, fase kecepatan maksimal, dan fase finis/deselerasi.

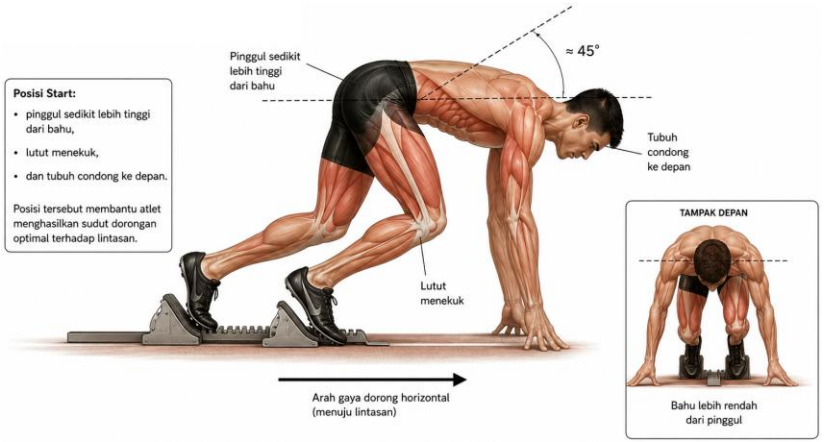


1. Analisis Fase Start

Fase start merupakan tahap awal sprint ketika pelari mulai bergerak dari starting block. fase ini bertujuan menghasilkan gaya dorong horizontal sebesar mungkin untuk mempercepat tubuh dari posisi diam menuju gerakan lari cepat.

Pada posisi start:

- pinggul sedikit lebih tinggi dari bahu,
- lutut menekuk,
- dan tubuh condong ke depan.



Posisi tersebut membantu atlet menghasilkan sudut dorongan optimal terhadap lintasan.

Saat aba-aba diberikan kaki menekan starting block dengan kuat sehingga muncul gaya reaksi tanah yang mendorong tubuh ke depan sesuai hukum aksi-reaksi Newton.

Menurut Susan Hall (2014), efektivitas fase start dipengaruhi oleh:

- waktu reaksi,
- kekuatan otot tungkai,
- dan sudut dorongan tubuh.

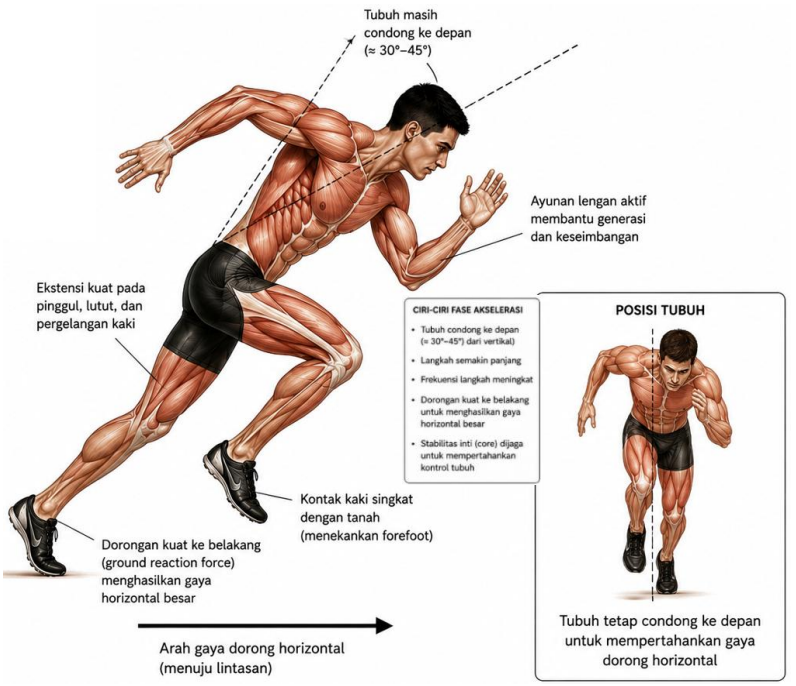
Semakin besar gaya horizontal yang dihasilkan, semakin cepat percepatan awal pelari.

2. Analisis Fase Akselerasi

Fase akselerasi terjadi setelah start ketika pelari mulai meningkatkan kecepatan secara progresif.

Pada fase ini:

- tubuh masih condong ke depan,
- langkah mulai memanjang,
- dan frekuensi langkah meningkat.

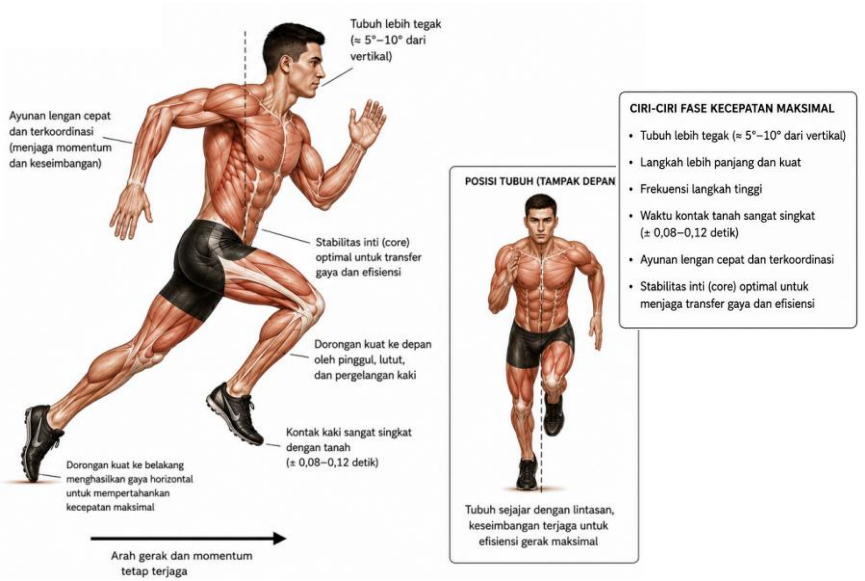


Secara biomekanis pelari harus menghasilkan gaya horizontal besar sambil menjaga stabilitas tubuh. Hubungan percepatan dijelaskan melalui rumus: ”Semakin besar gaya dorong terhadap tanah, maka semakin besar percepatan yang dihasilkan”.

Kontak kaki dengan tanah pada fase ini berlangsung singkat tetapi tetap kuat untuk mempertahankan percepatan tubuh. Menurut Anthony Blazevich (2007), kemampuan menghasilkan gaya eksplosif dalam waktu singkat menjadi faktor utama keberhasilan sprint.

3. Analisis Fase Kecepatan Maksimal

Fase kecepatan maksimal terjadi ketika pelari mencapai kecepatan tertinggi.



Secara biomekanis:

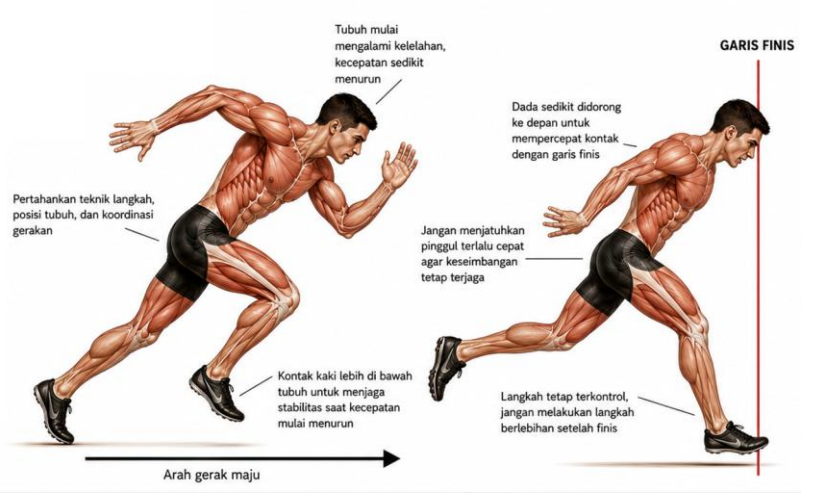
- tubuh menjadi lebih tegak,
- langkah lebih panjang,
- dan waktu kontak tanah semakin singkat.

Pelari berusaha mempertahankan momentum dan efisiensi gerakan agar kecepatan tidak cepat menurun. Pada fase ini ayunan lengan membantu menjaga ritme langkah, otot inti menjaga stabilitas tubuh, dan koordinasi neuromuskular bekerja sangat cepat. Menurut Duane Knudson (2007), sprint maksimal membutuhkan sinkronisasi optimal antara frekuensi langkah dan panjang langkah. Jika langkah terlalu panjang, waktu kontak tanah meningkat dan kecepatan menurun. Sebaliknya, jika langkah terlalu pendek, panjang lintasan gerak menjadi kurang efisien.

4. Analisis Fase Deselerasi dan Finish

Menjelang akhir sprint, tubuh mulai mengalami kelelahan sehingga kecepatan sedikit menurun. Secara biomekanis pelari berusaha mempertahankan:

- teknik langkah,
- posisi tubuh,
- dan koordinasi gerakan agar kehilangan kecepatan dapat diminimalkan.



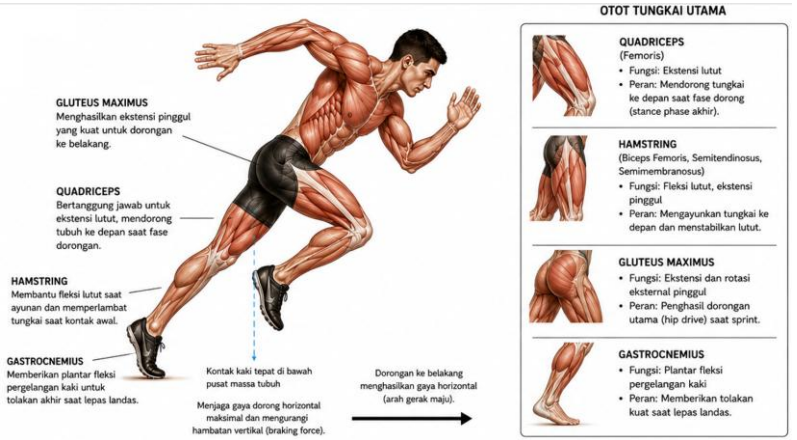
Kelelahan otot menyebabkan:

- penurunan kekuatan dorong,
- penurunan frekuensi langkah,
- dan berkurangnya stabilitas tubuh.



Pada fase finis pelari sering sedikit mendorong dada ke depan untuk mempercepat kontak tubuh dengan garis finis tanpa mengganggu keseimbangan lari.

5. Analisis Gerakan Tungkai



Gerakan tungkai merupakan sumber utama propulsi dalam sprint. Secara biomekanis:

- otot quadriceps membantu ekstensi lutut,
- hamstring membantu fleksi lutut,
- gluteus menghasilkan dorongan pinggul,
- dan gastrocnemius membantu tolakan kaki.



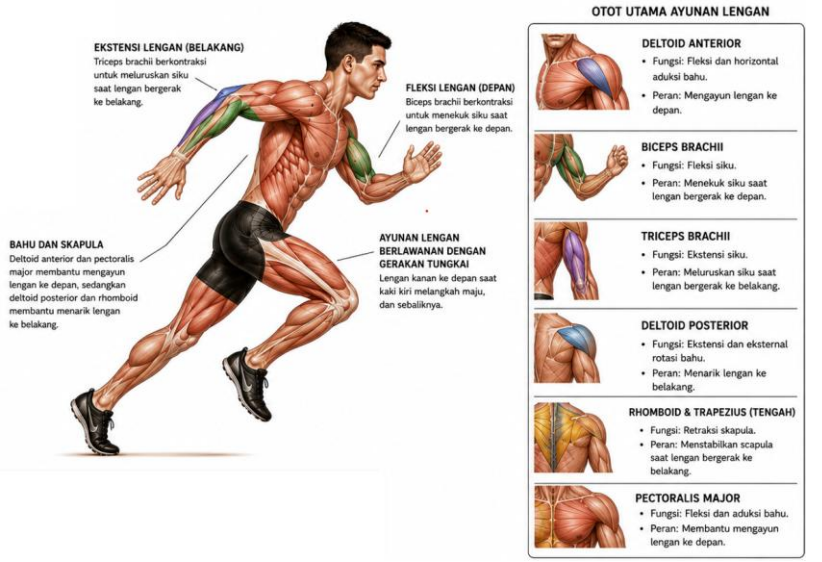


Kaki harus mendarat tepat di bawah pusat massa tubuh agar gaya horizontal tetap optimal dan hambatan gerak berkurang.

6. Analisis Ayunan Lengan

Ayunan lengan membantu menjaga keseimbangan dan ritme sprint. Gerakan lengan yang cepat membantu:

- meningkatkan frekuensi langkah,
- menjaga stabilitas rotasi tubuh,
- dan membantu transfer momentum.



PERAN BIOMEKANIK AYUNAN LENGAN

- Meningkatkan frekuensi langkah dengan mempercepat siklus gerak.
- Menjaga stabilitas rotasi tubuh agar tidak terjadi gerakan bertebih ke samping.
- Membantu transfer momentum dari tubuh bagian atas ke bawah.
- Mengurangi energi yang hilang dan meningkatkan efisiensi sprint.

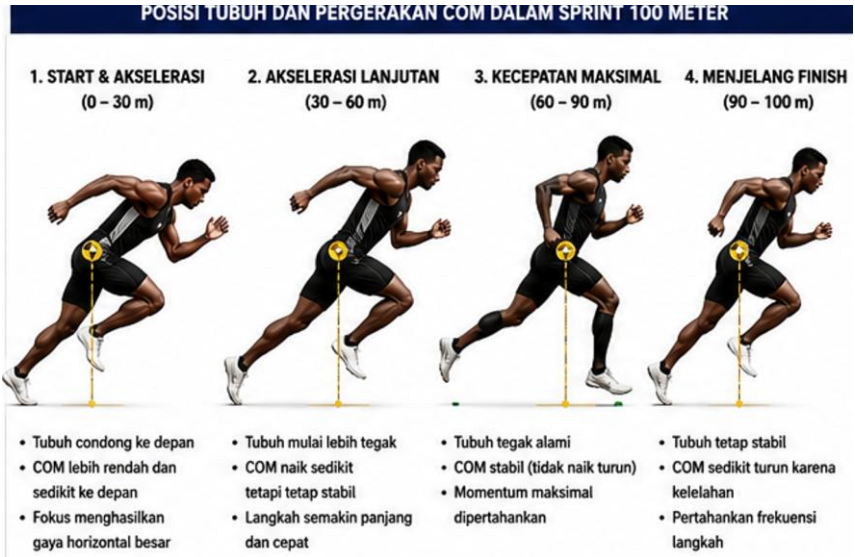


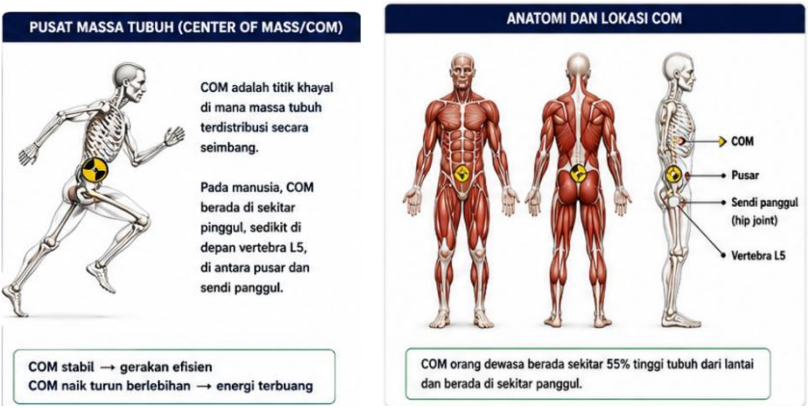
Secara biomekanis ayunan lengan bekerja berlawanan dengan gerakan tungkai untuk menjaga keseimbangan gerak tubuh selama sprint.

7. Analisis Pusat Massa dan Keseimbangan

Pusat massa tubuh (*center of mass*/COM) harus tetap stabil selama sprint agar gerakan tetap efisien. Jika gerakan tubuh terlalu naik turun secara vertikal, energi akan banyak terbuang sehingga kecepatan sprint menurun. Pelari sprint elite menjaga gerakan tubuh tetap efisien dengan:

- langkah cepat,
- posisi tubuh stabil,
- dan kontak tanah yang singkat







E. OLAHRAGA LOKAL TRADISIONAL

Pajura, *Patuku*, dan *Sagi* adalah bentuk olahraga dan permainan tradisional ketangkasan yang lekat dengan budaya masyarakat di Nusa Tenggara Timur (NTT). Ketiganya bukan sekadar adu kekuatan fisik, tetapi juga menjadi media ritual, penyelesaian konflik, dan wujud syukur atas hasil panen.

1. Olahraga Tinju Tradisional Pajura

Olahraga tinju tradisional *Pajura* merupakan salah satu olahraga tradisional khas masyarakat di wilayah Nusa Tenggara Timur, khususnya yang berkembang dalam budaya masyarakat di Pulau Sumba dan beberapa

wilayah sekitarnya. Pajura dikenal sebagai bentuk pertarungan tradisional yang menggabungkan unsur olahraga, keberanian, ketahanan fisik, serta nilai budaya lokal.

Pajura (juga dikenal sebagai ***Patuku***) adalah tradisi tinju tradisional suku Sumba di Nusa Tenggara Timur. Digelar dini hari di pesisir pantai, ritual adu kekuatan ini dilakukan sebagai ajang pembuktian keberanian pria sekaligus rangkaian pelengkap sebelum musim panen raya.

Secara umum *Pajur*a dilakukan oleh dua peserta yang saling bertanding menggunakan pukulan tangan dalam area tertentu dengan aturan adat dan pengawasan tokoh masyarakat atau wasit tradisional. Meskipun menyerupai olahraga tinju modern, Pajura memiliki ciri khas tersendiri karena erat kaitannya dengan tradisi, ritual budaya, dan simbol kehormatan masyarakat setempat. Dalam konteks olahraga, Pajura dapat dikaji melalui pendekatan biomekanika olahraga karena gerakannya melibatkan:

- kekuatan otot,
- koordinasi tubuh,
- keseimbangan,
- kecepatan reaksi,
- momentum pukulan,
- serta stabilitas tubuh.

Menurut kajian biomekanika setiap gerakan pukulan dan pertahanan dalam Pajura merupakan hasil kerja terintegrasi antara sistem muskuloskeletal dan sistem neuromuskular tubuh.

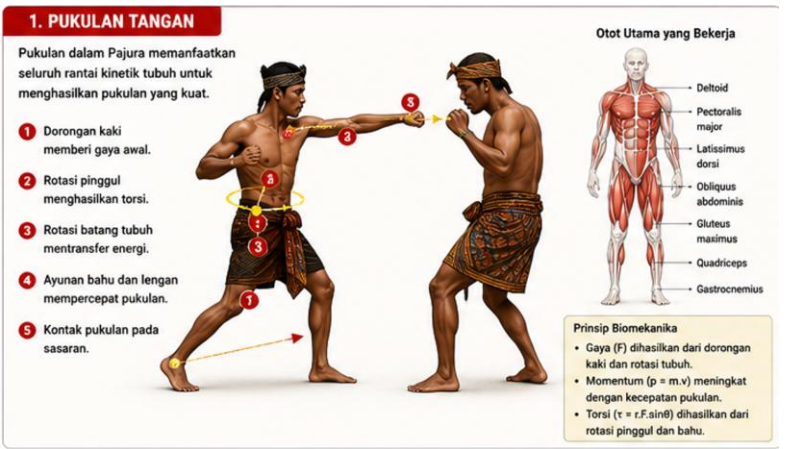
Karakteristik Gerakan dalam Pajura

Gerakan dalam olahraga Pajura didominasi oleh pukulan tangan, gerakan menghindar, langkah kaki, rotasi tubuh, serta pengaturan keseimbangan. Seluruh komponen gerakan tersebut bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan teknik bertarung yang efektif, cepat, dan stabil selama pertandingan berlangsung. Dalam kajian biomekanika olahraga, setiap gerakan pada Pajura melibatkan kerja sama antara sistem otot, tulang, sendi, dan sistem saraf untuk menghasilkan gerakan yang efisien.

a. Pukulan tangan

Gerakan pukulan tangan menjadi teknik utama dalam Pajura. Secara biomekanis, pukulan bukan hanya hasil ayunan lengan semata, tetapi merupakan rangkaian gerakan tubuh yang melibatkan transfer energi dari

bagian bawah tubuh menuju lengan dan tangan. Ketika petarung melakukan pukulan, gaya awal dihasilkan dari dorongan kaki terhadap tanah. Dorongan tersebut menghasilkan gaya reaksi tanah (*ground reaction force*) yang kemudian diteruskan melalui tungkai menuju pinggul dan batang tubuh.



Rotasi pinggul dan batang tubuh membantu meningkatkan torsi atau gaya putar tubuh. Rotasi ini sangat penting karena membantu memperbesar kecepatan ayunan lengan sehingga pukulan menjadi lebih kuat. Semakin cepat rotasi tubuh terjadi, semakin besar momentum yang dapat ditransfer menuju lengan dan tangan saat kontak dengan lawan.

Secara biomekanis gerakan pukulan memanfaatkan prinsip:

- gaya,
- momentum,
- torsi,
- dan transfer energi tubuh.

Momentum pukulan dipengaruhi oleh massa tubuh yang bergerak dan kecepatan gerakan pukulan. Semakin besar kecepatan ayunan tubuh dan lengan, maka semakin besar momentum pukulan yang dihasilkan. Selain itu, torsi yang berasal dari rotasi pinggul membantu meningkatkan efisiensi transfer energi sehingga tenaga pukulan tidak hanya bergantung pada kekuatan otot lengan.

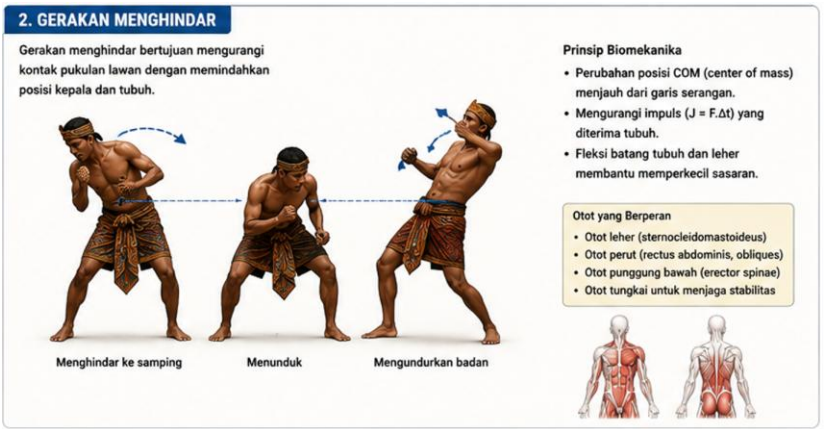
Pukulan yang kuat dalam Pajura tidak hanya berasal dari lengan, tetapi juga dari:

- rotasi pinggul,
- dorongan kaki,
- dan koordinasi batang tubuh.

Menurut Anthony Blazevich (2007), kekuatan pukulan dalam olahraga pertarungan dipengaruhi oleh kemampuan tubuh mentransfer energi secara efisien dari tungkai menuju lengan. Hal ini menunjukkan bahwa pukulan yang efektif memerlukan koordinasi seluruh tubuh, bukan hanya kekuatan lengan semata.

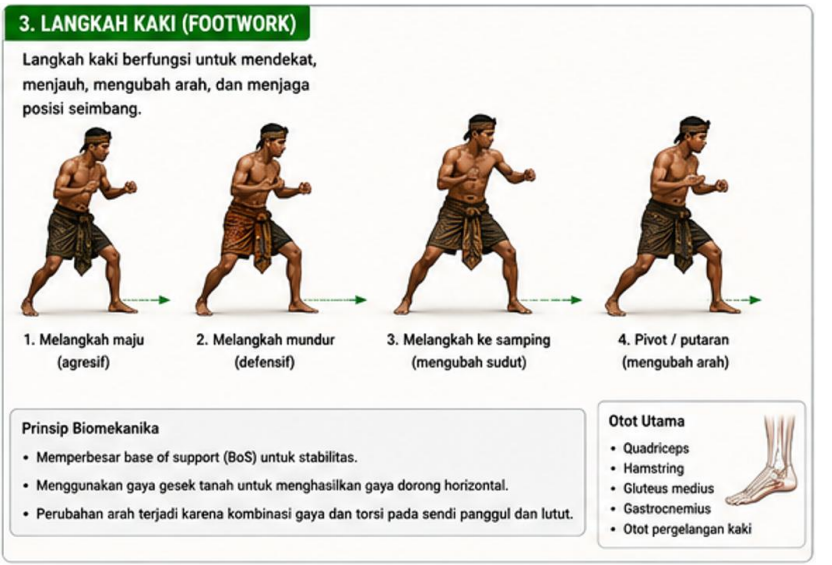
Dalam biomekanika olahraga proses ini dikenal sebagai kinetic chain atau rantai kinetik, yaitu perpindahan energi secara berurutan dari satu segmen tubuh ke segmen berikutnya. Energi dimulai dari kaki, diteruskan ke pinggul, batang tubuh, bahu, lengan, hingga akhirnya mencapai tangan saat pukulan dilakukan.

b. Gerakan menghindar



Gerakan menghindar dalam Pajura juga memiliki peran biomekanis penting. Petarung harus mampu memindahkan posisi tubuh dengan cepat untuk mengurangi kontak pukulan lawan. Gerakan ini membutuhkan koordinasi neuromuskular yang baik, keseimbangan tubuh, serta kemampuan mengontrol pusat massa tubuh (center of mass/COM) agar tubuh tetap stabil saat bergerak.

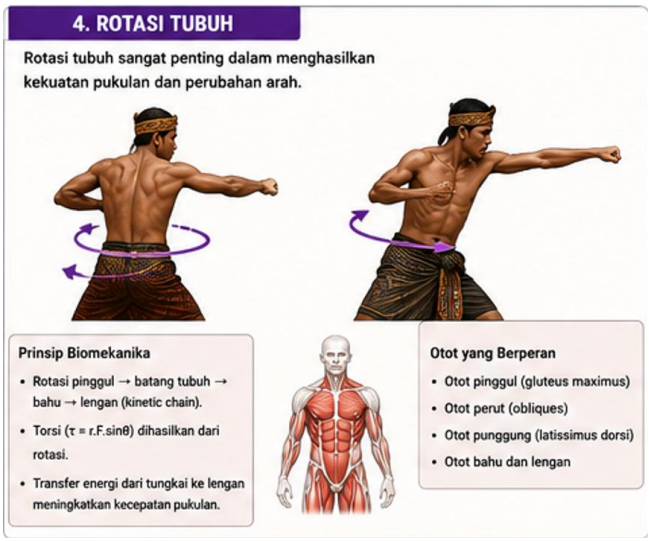
c. Langkah kaki



Langkah kaki atau footwork membantu petarung menjaga posisi, mengatur jarak, dan menciptakan sudut serangan. Secara biomekanis, langkah kaki yang baik membantu memperbesar stabilitas tubuh melalui pengaturan base of support (BoS). Semakin baik posisi kaki, semakin baik pula kemampuan tubuh mempertahankan keseimbangan saat menyerang maupun bertahan.

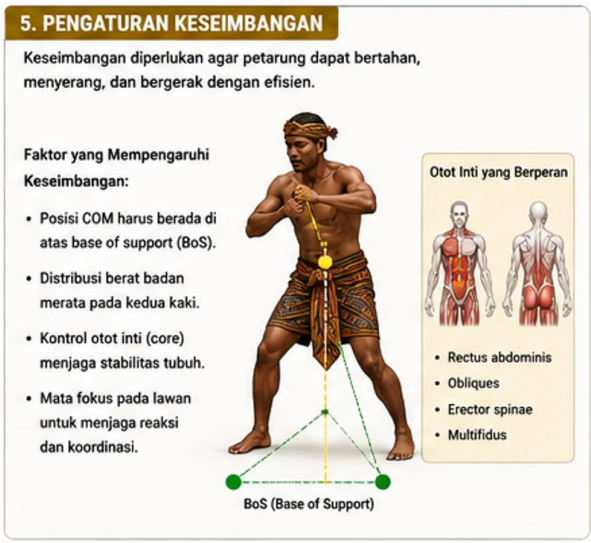
d. Rotasi tubuh

Rotasi tubuh menjadi komponen biomekanika yang sangat penting dalam Pajura karena hampir semua gerakan serangan dan pertahanan melibatkan putaran pinggul dan batang tubuh. Rotasi membantu menghasilkan tenaga, meningkatkan kecepatan gerakan, serta memperbesar efisiensi transfer energi tubuh.



e. Pengaturan keseimbangan

Pengaturan keseimbangan juga sangat penting dalam Pajura. Petarung harus mampu menjaga pusat massa tubuh tetap berada dalam area dasar tumpuan agar tubuh tidak mudah kehilangan stabilitas saat menyerang, menerima benturan, maupun melakukan gerakan menghindar. Keseimbangan yang baik membantu petarung bergerak lebih cepat, efisien, dan aman selama pertandingan berlangsung.



Analisis Biomekanika Gerakan Tinju Tradisional Pajura

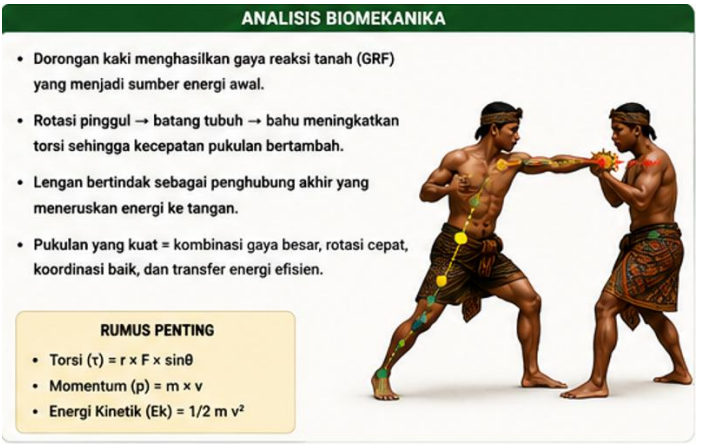
Analisis biomekanika gerakan tinju tradisional Pajura bertujuan untuk memahami bagaimana tubuh menghasilkan gerakan pukulan, pertahanan, dan pergerakan secara efektif melalui prinsip-prinsip mekanika tubuh. Dalam Pajura, gerakan tidak hanya mengandalkan kekuatan fisik, tetapi juga melibatkan koordinasi seluruh tubuh untuk menghasilkan gerakan yang cepat, kuat, stabil, dan efisien.

1) Analisis Gerakan Pukulan

Gerakan pukulan merupakan teknik utama dalam Pajura. Secara biomekanis, pukulan bekerja melalui rangkaian gerakan tubuh yang disebut kinetic chain atau rantai kinetik.

Energi pukulan dimulai dari:

- dorongan kaki ke tanah,
- diteruskan ke tungkai,
- rotasi pinggul,
- batang tubuh,
- bahu,
- lengan,
- hingga tangan.



Saat kaki menekan tanah, muncul gaya reaksi tanah (*ground reaction force*) yang membantu menghasilkan tenaga awal pukulan. Selanjutnya, rotasi pinggul dan batang tubuh meningkatkan torsi sehingga kecepatan ayunan lengan bertambah.

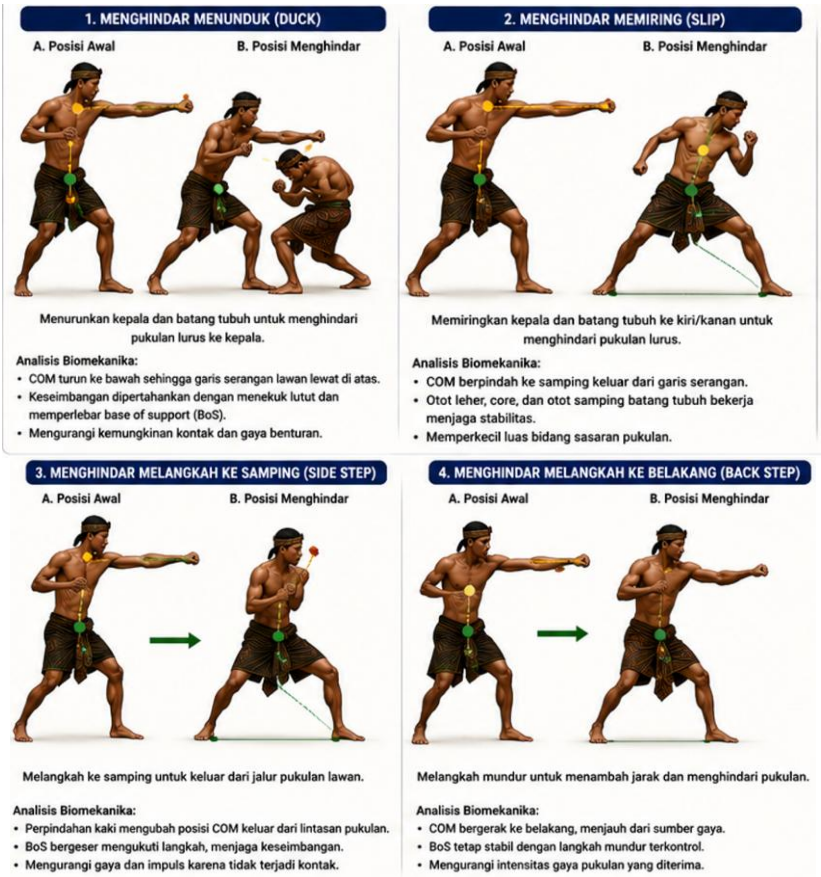
2) Analisis Gerakan Menghindar

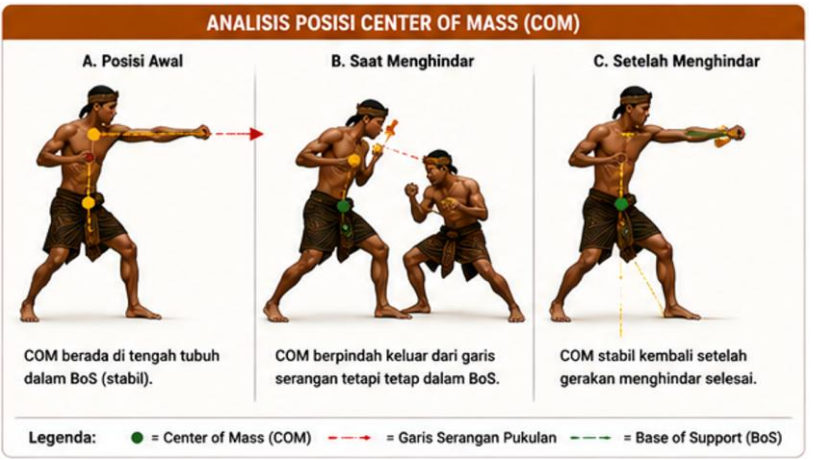
Gerakan menghindar bertujuan mengurangi atau menghindari kontak pukulan lawan. Gerakan ini membutuhkan:

- reaksi cepat,
- keseimbangan tubuh,
- koordinasi otot,
- dan kontrol pusat massa tubuh (*center of mass*/COM).

Petarung biasanya memindahkan posisi kepala dan tubuh melalui:

- gerakan menunduk,
- memiringkan badan,
- atau melangkah ke samping.

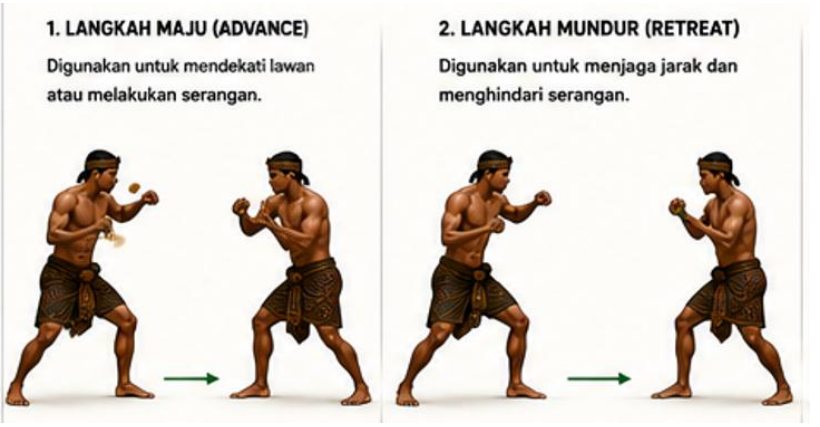


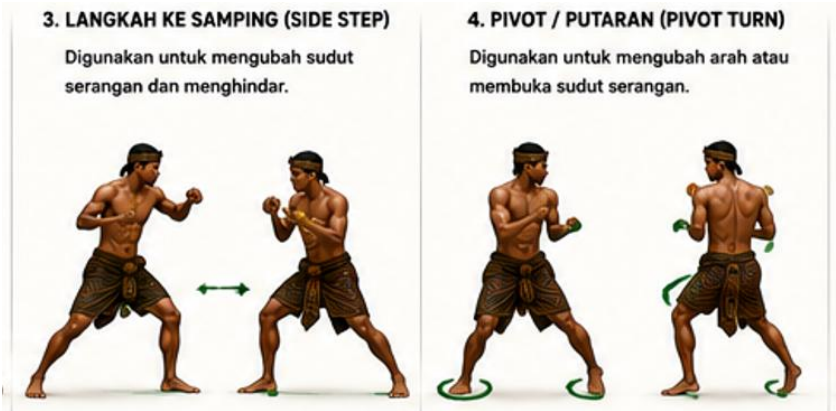


Gerakan menghindar membantu mengurangi gaya benturan langsung terhadap tubuh sehingga risiko cedera menjadi lebih kecil.

3) Analisis Langkah Kaki (*Footwork*)

Langkah kaki memiliki fungsi biomekanis penting dalam Pajura karena membantu: menjaga keseimbangan, mengatur jarak, menciptakan sudut serangan, dan mendukung gerakan bertahan.







Secara biomekanis posisi kaki menentukan luas dasar tumpuan (base of support/BoS). Semakin baik posisi kaki, semakin stabil tubuh saat bergerak maupun saat menerima benturan.
Gerakan langkah kaki melibatkan:

- otot *quadriceps*,
- *hamstring*,
- *gastrocnemius,*
- dan otot inti tubuh.

Langkah kaki yang baik membantu tubuh bergerak cepat tanpa kehilangan keseimbangan.

2. Olahraga Tradisional Sagi

Sagi adalah olahraga sekaligus ritual tinju adat tradisional masyarakat Soa di Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur (NTT). Tradisi ini dilaksanakan sebagai ungkapan syukur atas panen yang melimpah,

penghormatan kepada leluhur, serta ajang untuk mempererat tali persaudaraan antar-kampung. Sagi tidak hanya memiliki nilai budaya dan ritual, tetapi juga mengandung unsur keterampilan fisik, ketangkasan, keseimbangan, koordinasi tubuh, dan strategi gerak. Gerakan dalam Sagi dapat dikaji secara ilmiah melalui pendekatan biomekanika olahraga karena melibatkan prinsip mekanika tubuh saat bergerak dan berinteraksi dengan lawan.

Analisis Gerak Tinju Adat Sagi

a. Posisi Kuda-Kuda dan Stabilitas Tubuh
   Pada awal pertarungan, petinju Sagi menggunakan posisi kaki terbuka dengan lutut sedikit fleksi. Posisi ini berfungsi menjaga pusat gravitasi tetap stabil. Analisis biomekanika:
   - Basis tumpuan diperlebar untuk meningkatkan keseimbangan
   - Otot quadriceps dan gastrocnemius bekerja mempertahankan postur
   - Otot core menjaga kestabilan batang tubuh
   - Fleksi lutut membantu absorpsi gaya saat menerima pukulan

   Gerakan ini mengikuti prinsip stabilitas dinamis dalam biomekanika olahraga.
b. Fase Awalan Pukulan
   Petarung mulai memutar pinggul dan bahu sebelum melontarkan pukulan.
   Analisis biomekanika:
   - Terjadi rotasi trunk untuk menghasilkan momentum
   - Energi dimulai dari tungkai bawah menuju tubuh bagian atas
   - Pinggul menjadi pusat transfer gaya
   - Otot gluteus dan oblique menghasilkan rotasi tubuh

   Gerakan rotasi ini meningkatkan power pukulan melalui prinsip kinetic chain.
c. Fase Akselerasi Pukulan
   Pada fase ini lengan bergerak cepat menuju sasaran. Analisis biomekanika:
   - Sendi bahu melakukan gerak horizontal flexion
   - Siku melakukan ekstensi cepat
   - Pergelangan tangan mempertahankan stabilitas pukulan
   - Otot deltoid, triceps brachii, dan pectoralis major bekerja dominan

Kecepatan pukulan dipengaruhi oleh:

- sudut rotasi pinggul,
- percepatan lengan,
- dan koordinasi neuromuskular.

d. Fase Kontak dengan Lawan

Saat pukulan mengenai target, tubuh harus mampu mempertahankan keseimbangan. Analisis biomekanika:

- Otot inti mengontrol stabilitas tubuh
- Sendi bahu dan siku menahan reaksi benturan
- Gaya reaksi dari lawan diserap melalui fleksi lutut dan pinggul
- Kepala dan leher menjaga alignment tubuh

Jika koordinasi buruk, petarung mudah kehilangan keseimbangan atau mengalami cedera.

e. Gerakan Menghindar dan Reaksi

Petarung Sagi sering melakukan: gerakan lateral, mundur cepat, dan rotasi tubuh untuk menghindari pukulan. Analisis biomekanika:

- Melibatkan agility dan reaction time
- Otot hamstring dan calf muscle bekerja cepat
- Sistem vestibular membantu orientasi tubuh
- Pergeseran pusat massa membantu perubahan arah

Gerakan ini membutuhkan koordinasi sensorik dan motorik yang tinggi.

f. Risiko Cedera Biomekanik

Gerakan pukulan tradisional tanpa pelindung modern meningkatkan risiko:

- cedera metakarpal,
- dislokasi bahu,
- cedera pergelangan tangan,
- memar jaringan lunak,
- dan cedera kepala.

Faktor penyebab:

- teknik pukulan kurang efisien,
- stabilitas buruk,
- dan kontak langsung berulang.

g. Analisis Otot Dominan

Kelompok otot utama yang bekerja dalam tinju adat Sagi :

Kelompok Otot	Fungsi
Deltoid	Menggerakkan bahu saat memukul
Triceps brachii	Ekstensi siku
Pectoralis major	Dorongan pukulan
Latissimus dorsi	Stabilitas dan tarikan lengan
Rectus abdominis dan oblique	Rotasi tubuh
Gluteus	Transfer tenaga dari pinggul
Quadriceps	Stabilitas tungkai
Gastrocnemius	Dorongan kaki dan keseimbangan

BAB 13

PENERAPAN BIOMEKANIKA DALAM PENCEGAHAN CEDERA

Penerapan biomekanika dalam pencegahan cedera adalah analisis prinsip mekanika (gaya dan gerak) terhadap tubuh manusia untuk mengurangi risiko kerusakan otot, sendi, dan tulang. Hal ini dilakukan dengan mengidentifikasi postur tubuh yang berisiko, mengoreksi teknik gerakan, dan merancang program latihan yang tepat guna memperkuat stabilitas.

A. PERAN BIOMEKANIKA DALAM PENCEGAHAN CEDERA

Biomekanika memiliki peran yang sangat penting dalam pencegahan cedera olahraga karena biomekanika mempelajari bagaimana tubuh bergerak, menerima gaya, serta menghasilkan gerakan selama aktivitas fisik berlangsung. Dalam olahraga, setiap gerakan tubuh selalu melibatkan interaksi antara otot, tulang, sendi, dan gaya dari luar tubuh seperti gaya gravitasi maupun gaya reaksi tanah. Jika gerakan dilakukan dengan teknik yang tidak tepat, maka distribusi gaya pada tubuh menjadi tidak seimbang dan dapat meningkatkan risiko cedera. Melalui pendekatan biomekanika, gerakan atlet dapat dianalisis secara ilmiah untuk mengetahui apakah teknik yang digunakan sudah efisien, aman, dan sesuai dengan prinsip mekanika tubuh. Analisis ini membantu pelatih maupun atlet memahami bagian tubuh mana yang menerima tekanan paling besar serta bagaimana tubuh bergerak saat melakukan aktivitas olahraga tertentu. Dengan demikian, kesalahan teknik dapat diperbaiki sebelum menyebabkan cedera yang lebih serius.

Cedera olahraga umumnya terjadi akibat beberapa faktor biomekanis seperti teknik gerakan yang salah, beban berlebihan pada otot atau sendi, ketidakseimbangan kekuatan otot, gerakan berulang secara terus-menerus, serta posisi tubuh yang tidak stabil saat bergerak. Sebagai contoh, posisi

lutut yang salah saat mendarat setelah melompat dapat meningkatkan tekanan pada ligamen lutut dan menyebabkan cedera ACL. Demikian juga, gerakan berulang dengan teknik yang kurang tepat dapat menyebabkan cedera akibat penggunaan berlebih (overuse injury) pada tendon maupun otot.

Biomekanika membantu mengidentifikasi faktor-faktor risiko tersebut sejak dini melalui analisis gerakan tubuh, sudut sendi, pola langkah, keseimbangan, dan distribusi gaya selama aktivitas olahraga. Dengan mengetahui sumber kesalahan gerak, atlet dapat melakukan perbaikan teknik, latihan penguatan otot, maupun latihan stabilitas untuk mengurangi risiko cedera. Biomekanika juga membantu meningkatkan efisiensi gerakan sehingga tubuh dapat bekerja dengan penggunaan energi yang lebih baik dan tekanan yang lebih kecil pada jaringan tubuh. Gerakan yang efisien memungkinkan atlet bergerak lebih aman tanpa memberikan beban berlebihan pada sendi, otot, dan ligamen. Menurut Duane Knudson (2007) biomekanika olahraga membantu memahami hubungan antara gaya dan gerakan tubuh untuk meningkatkan performa sekaligus mengurangi risiko cedera. Pendapat tersebut menunjukkan bahwa pemahaman biomekanika tidak hanya penting untuk meningkatkan prestasi olahraga, tetapi juga sangat berperan dalam menjaga keselamatan atlet selama latihan maupun pertandingan. Berikut adalah peran biomekanika dalam pencegahan cedera :

1. Memperbaiki Teknik Gerakan

Salah satu peran utama biomekanika dalam pencegahan cedera adalah membantu memperbaiki teknik gerakan olahraga agar lebih efisien, aman, dan sesuai dengan mekanika tubuh manusia. Dalam aktivitas olahraga, setiap gerakan melibatkan kerja sama antara otot, tulang, sendi, serta gaya yang bekerja pada tubuh. Jika teknik gerakan dilakukan secara tidak tepat, maka distribusi gaya pada tubuh menjadi tidak seimbang dan dapat meningkatkan tekanan pada jaringan tubuh tertentu seperti otot, tendon, ligamen, maupun sendi. Melalui analisis biomekanika, gerakan atlet dapat diamati dan dievaluasi secara ilmiah untuk mengetahui kesalahan teknik yang berpotensi menyebabkan cedera. Analisis tersebut meliputi pengamatan terhadap posisi tubuh, sudut sendi, pola gerakan, keseimbangan, serta arah dan besar gaya yang terjadi selama aktivitas olahraga. Dengan demikian, pelatih dan atlet dapat mengetahui bagian gerakan mana yang kurang efisien atau berisiko tinggi terhadap cedera.

Sebagai contoh dalam olahraga lompat, posisi lutut yang bergerak terlalu ke dalam saat mendarat dapat meningkatkan tekanan pada ligamen lutut dan berisiko menyebabkan cedera ACL. Pada olahraga lari, teknik

langkah yang salah dapat menyebabkan tekanan berlebih pada pergelangan kaki, lutut, atau pinggul. Sementara dalam olahraga lempar, teknik rotasi tubuh yang tidak tepat dapat menyebabkan cedera bahu dan punggung bawah.

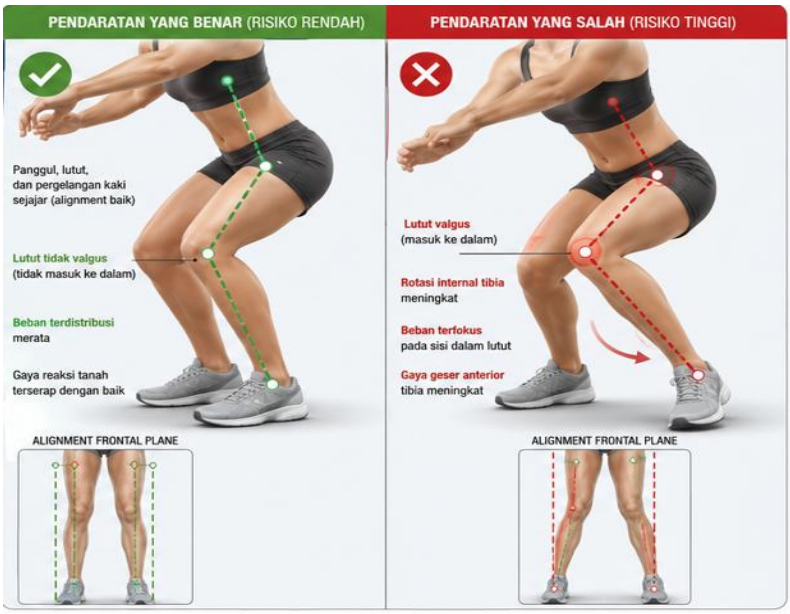
Biomekanika membantu memperbaiki teknik tersebut melalui latihan gerak yang benar sehingga distribusi gaya pada tubuh menjadi lebih merata dan efisien. Gerakan yang efisien memungkinkan tubuh menghasilkan performa optimal dengan penggunaan energi yang lebih baik dan risiko cedera yang lebih rendah. Melalui analisis biomekanika, pelatih dan atlet dapat mengevaluasi: sudut gerak sendi, posisi tubuh, pola gerakan, dan distribusi gaya untuk memperbaiki teknik olahraga secara tepat. Menurut Susan Hall (2014) teknik gerakan yang sesuai dengan prinsip biomekanika membantu mengurangi tekanan berlebih pada sistem muskuloskeletal sehingga tubuh dapat bergerak lebih aman dan efektif selama aktivitas olahraga.

2. Mengurangi Beban Berlebih pada Tubuh

Biomekanika berperan penting dalam mengurangi beban berlebih pada tubuh selama aktivitas olahraga. Dalam setiap gerakan olahraga, tubuh selalu menerima berbagai gaya seperti gaya gravitasi, gaya reaksi tanah (ground reaction force), gaya gesekan, dan gaya dari kontraksi otot. Jika tubuh menerima gaya yang terlalu besar atau berulang secara terus-menerus tanpa teknik yang benar, maka risiko cedera pada otot, sendi, tendon, maupun ligamen akan meningkat.

Melalui pendekatan biomekanika distribusi gaya pada tubuh dapat dianalisis untuk mengetahui apakah beban gerakan sudah tersebar secara merata atau justru terpusat pada bagian tertentu. Ketika distribusi gaya tidak merata, beberapa bagian tubuh akan menerima tekanan berlebihan sehingga lebih mudah mengalami cedera. Oleh karena itu, biomekanika membantu memperbaiki pola gerakan agar tekanan pada tubuh dapat dikurangi. Sebagai contoh saat atlet melakukan pendaratan setelah melompat, tubuh menerima gaya benturan yang cukup besar dari permukaan tanah. Jika teknik pendaratan dilakukan dengan lutut terlalu kaku atau posisi tubuh tidak stabil, maka gaya benturan akan langsung diterima oleh sendi lutut dan pergelangan kaki. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko cedera seperti cedera ACL, nyeri lutut, maupun cedera pergelangan kaki. Sebaliknya, jika pendaratan dilakukan dengan lutut sedikit menekuk dan posisi tubuh seimbang, maka gaya benturan dapat diserap secara bertahap oleh otot dan sendi sehingga tekanan pada tubuh menjadi lebih kecil.


BIOMEKANIKA: POSISI LUTUT YANG SALAH SAAT MENDARAT MENINGKATKAN RISIKO CEDERA ACL (ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT)
ANATOMI LUTUT (TAMPAK ANTERIOR)
Quadriceps (Vastus medialis)
Femur
Patella
Ligamentum collaterale laterale (LCL)
Meniskus lateral
Tibia
Fibula
Ligamentum collaterale mediale (MCL)
Meniskus medial
LIGAMEN LUTUT (TAMPAK INTERNA)
PCL (Posterior Cruciate Ligament)
ACL (Anterior Cruciate Ligament)
ACL mencegah tibia bergeser ke depan dan rotasi internal terhadap femur.


PENDARATAN YANG BENAR (RISIKO RENDAH)
Panggul, lutut, dan pergelangan kaki sejajar (alignment baik)
Lutut tidak valgus (tidak masuk ke dalam)
Beban terdistribusi merata
Gaya reaksi tanah terserap dengan baik
ALIGNMENT FRONTAL PLANE
PENDARATAN YANG SALAH (RISIKO TINGGI)
Lutut valgus (masuk ke dalam)
Rotasi internal tibia meningkat
Beban terfokus pada sisi dalam lutut
Gaya geser anterior tibia meningkat
ALIGNMENT FRONTAL PLANE



Biomekanika juga membantu mengurangi beban berlebih melalui pengaturan posisi tubuh, sudut gerak sendi, keseimbangan, serta koordinasi gerakan yang tepat. Gerakan yang efisien memungkinkan tubuh menggunakan energi secara optimal tanpa memberikan tekanan berlebihan pada jaringan tubuh. Latihan biomekanika membantu memperkuat otot-otot penyangga tubuh sehingga kemampuan tubuh dalam menyerap dan mendistribusikan gaya menjadi lebih baik. Otot yang kuat dan koordinasi gerak yang baik membantu menjaga stabilitas sendi serta mengurangi tekanan berlebihan selama aktivitas olahraga berlangsung. Menurut Susan Hall (2014) distribusi gaya yang baik pada tubuh membantu mengurangi tekanan berlebih pada sistem muskuloskeletal sehingga risiko cedera dapat diminimalkan selama aktivitas olahraga.

3. Meningkatkan Keseimbangan dan Stabilitas

Biomekanika memiliki peran penting dalam meningkatkan keseimbangan dan stabilitas tubuh selama aktivitas olahraga. Keseimbangan merupakan kemampuan tubuh mempertahankan posisi agar tetap stabil baik saat diam maupun saat bergerak, sedangkan stabilitas berkaitan dengan kemampuan tubuh mempertahankan pusat massa tubuh agar tidak mudah terganggu oleh gaya dari luar. Dalam olahraga, keseimbangan dan stabilitas sangat penting karena hampir semua gerakan membutuhkan kontrol tubuh yang baik untuk menghasilkan gerakan yang aman dan efisien.

Secara biomekanis keseimbangan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti posisi pusat massa tubuh (*center of mass*/COM), luas dasar tumpuan (*base of support*/BoS), serta koordinasi otot dan sistem saraf. Jika pusat massa tubuh berada di dalam area dasar tumpuan, maka tubuh akan lebih stabil. Sebaliknya, jika pusat massa bergerak terlalu jauh keluar dari dasar tumpuan, tubuh menjadi mudah kehilangan keseimbangan dan berisiko mengalami cedera. Biomekanika membantu atlet memahami posisi tubuh yang tepat saat bergerak sehingga keseimbangan dapat

dipertahankan dengan baik. Sebagai contoh, dalam olahraga sepak bola atau futsal, pemain harus mampu menjaga stabilitas tubuh saat berlari, menggiring bola, maupun mengubah arah gerakan secara cepat. Jika keseimbangan tubuh buruk, pemain lebih mudah mengalami salah tumpuan, terjatuh, atau cedera pada lutut dan pergelangan kaki. Biomekanika juga dapat meningkatkan koordinasi gerakan antara otot, sendi, dan sistem saraf. Koordinasi yang baik memungkinkan tubuh merespons perubahan posisi dengan cepat sehingga gerakan menjadi lebih stabil dan terkontrol. Latihan biomekanika seperti latihan keseimbangan, latihan stabilitas inti tubuh (*core stability*), dan latihan koordinasi sangat membantu meningkatkan kemampuan tubuh dalam mempertahankan postur dan kontrol gerakan.

Dalam aktivitas olahraga yang melibatkan perubahan arah, lompatan, maupun kontak fisik, stabilitas tubuh sangat menentukan keselamatan atlet. Tubuh yang stabil mampu menyerap gaya benturan dengan lebih baik sehingga tekanan pada sendi dan jaringan tubuh menjadi lebih kecil. Menurut Duane Knudson (2007) pemahaman biomekanika tentang keseimbangan dan stabilitas membantu atlet menghasilkan gerakan yang lebih efisien sekaligus mengurangi risiko cedera akibat kehilangan kontrol tubuh selama aktivitas olahraga.

4. Mengidentifikasi Ketidakseimbangan Gerak dan Otot

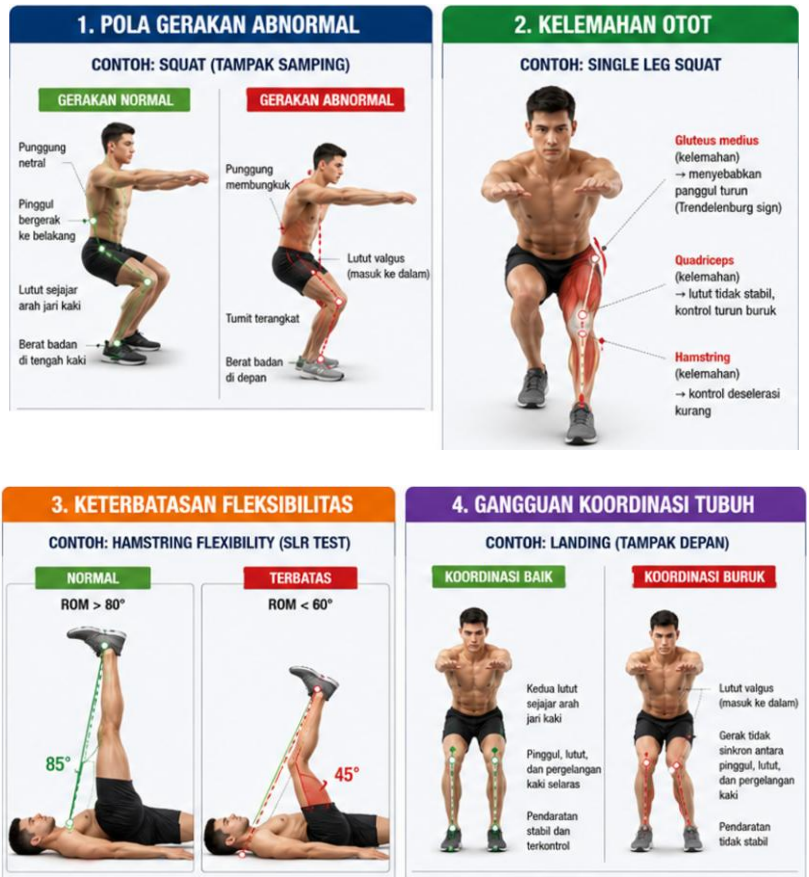
Biomekanika dapat digunakan untuk mendeteksi ketidakseimbangan gerak maupun kelemahan otot tertentu yang berpotensi menyebabkan cedera. Sebagai contoh:

- otot paha depan yang jauh lebih kuat dibanding hamstring dapat meningkatkan risiko cedera lutut,
- atau gerakan tubuh yang tidak simetris dapat menyebabkan tekanan berlebih pada satu sisi tubuh.

Melalui analisis gerak, pelatih dapat mengetahui:

- pola gerakan abnormal,
- kelemahan otot,
- keterbatasan fleksibilitas,
- dan gangguan koordinasi tubuh.

Hasil analisis tersebut digunakan untuk menyusun program latihan korektif dan rehabilitasi yang lebih tepat.



5. Membantu Program Rehabilitasi Cedera

Biomekanika memiliki peran penting dalam membantu proses rehabilitasi cedera olahraga karena biomekanika mampu menganalisis pola gerakan tubuh secara ilmiah selama proses pemulihan. Setelah mengalami cedera, atlet sering mengalami perubahan pola gerak, penurunan kekuatan otot, gangguan keseimbangan, serta keterbatasan fungsi sendi. Jika kondisi tersebut tidak diperbaiki dengan baik, maka risiko cedera berulang akan meningkat ketika atlet kembali beraktivitas olahraga. Melalui analisis biomekanika proses rehabilitasi dapat dilakukan secara lebih terukur dan tepat. Biomekanika membantu mengidentifikasi bagian tubuh yang masih mengalami kelemahan, ketidakseimbangan gerak, atau pola gerakan yang belum kembali normal setelah cedera. Dengan demikian, program latihan rehabilitasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan atlet berdasarkan kondisi biomekanis tubuhnya. Menurut Peter McGinnis (2013), analisis

biomekanika membantu memastikan bahwa fungsi gerak tubuh kembali optimal sehingga proses rehabilitasi dapat berlangsung lebih efektif dan risiko cedera berulang dapat diminimalkan.

Sebagai contoh pada atlet yang mengalami cedera lutut seperti cedera ACL, biomekanika digunakan untuk mengevaluasi: pola berjalan, posisi lutut saat mendarat, distribusi beban tubuh, dan stabilitas gerakan. Jika ditemukan bahwa salah satu kaki masih menerima beban lebih kecil dibanding kaki lainnya, maka latihan rehabilitasi difokuskan untuk memperbaiki kekuatan otot dan keseimbangan tubuh agar distribusi gaya kembali normal.

Biomekanika juga membantu memastikan bahwa gerakan atlet kembali efisien dan aman sebelum kembali bertanding. Gerakan yang belum pulih secara biomekanis dapat menyebabkan kompensasi gerak pada bagian tubuh lain sehingga meningkatkan risiko cedera baru. Oleh karena itu, evaluasi biomekanika sangat penting dalam menentukan kesiapan atlet untuk kembali berolahraga.

Dalam rehabilitasi modern, biomekanika sering didukung oleh teknologi seperti:

- motion analysis,
- video analysis,
- force plate,
- sensor gerak,
- dan electromyography (EMG).

Teknologi tersebut membantu mengukur gerakan, aktivitas otot, serta keseimbangan tubuh secara lebih akurat selama proses pemulihan.

B. JENIS CEDERA UMUM DAN FAKTOR BIOMEKANISNYA

Berikut adalah jenis-jenis cedera yang paling umum terjadi serta faktor biomekanis di baliknya:

1. Cedera Ligamen (Sprain)

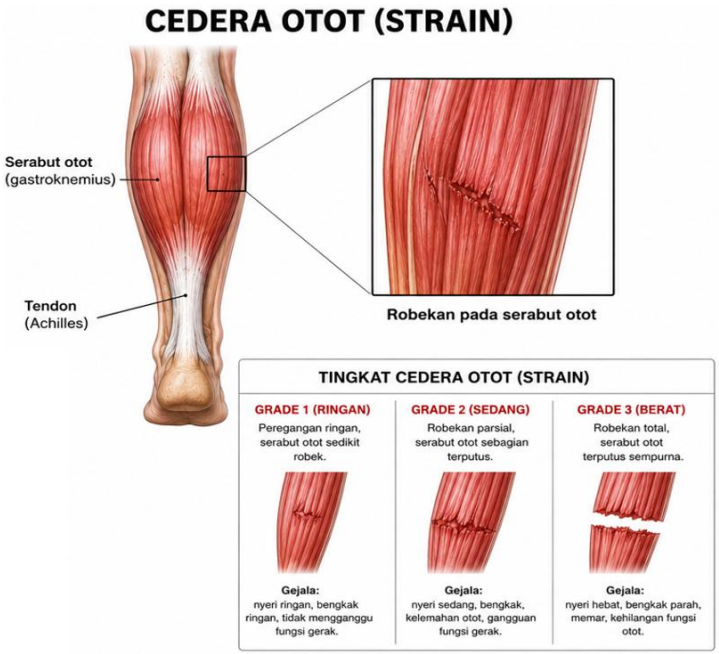
Cedera ligamen atau sprain merupakan cedera yang terjadi pada jaringan ligamen, yaitu jaringan ikat yang menghubungkan tulang dengan tulang pada sendi. Cedera ini biasanya terjadi ketika sendi bergerak melebihi batas gerak anatomi normal sehingga ligamen mengalami peregangan berlebihan atau robekan. Dalam olahraga, cedera sprain sering terjadi pada pergelangan kaki, lutut, dan pergelangan tangan akibat gerakan tiba-tiba, perubahan arah yang cepat, atau salah tumpuan saat mendarat.



Faktor biomekanis yang terlibat adalah sudut gerakan sendi yang melebihi batas anatomis normal. Ketika sendi dipaksa bergerak terlalu jauh akibat gaya dari luar tubuh, ligamen menerima tekanan dan tarikan yang sangat besar sehingga tidak mampu mempertahankan stabilitas sendi. Kondisi ini sering terjadi saat atlet kehilangan keseimbangan atau melakukan gerakan dengan kontrol tubuh yang kurang baik. Analisis biomekanika membantu mengidentifikasi pola gerak yang berisiko menyebabkan cedera sprain sehingga teknik gerakan dapat diperbaiki untuk menjaga stabilitas sendi.

2. Cedera Otot (Strain)

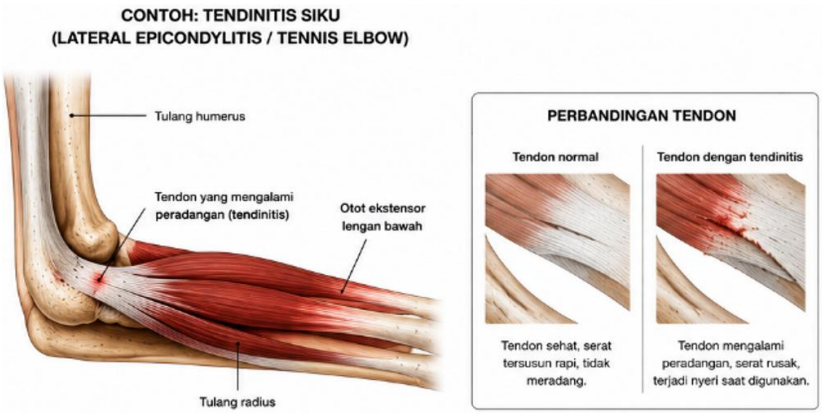
Cedera otot atau strain merupakan cedera yang terjadi akibat peregangan atau robekan pada serabut otot maupun tendon. Cedera ini sering dialami atlet pada otot hamstring, quadriceps, betis, dan punggung bawah, terutama saat melakukan gerakan eksplosif seperti sprint, melompat, atau menendang.



Faktor biomekanis cedera strain terjadi karena tarikan berlebihan saat otot berkontraksi, terutama ketika otot menerima beban besar secara tiba-tiba. Risiko cedera meningkat jika atlet kurang melakukan pemanasan sehingga elastisitas otot belum optimal sebelum aktivitas olahraga dimulai. Ketika otot dipaksa bekerja secara cepat dan kuat tanpa kesiapan yang baik, serabut otot dapat mengalami kerusakan akibat ketidakmampuan menahan gaya tarik yang besar. Biomekanika membantu menganalisis pola kontraksi otot, distribusi gaya, serta koordinasi gerak tubuh agar kerja otot menjadi lebih efisien dan risiko strain dapat dikurangi.

3. Tendinitis / *Overuse Injury*

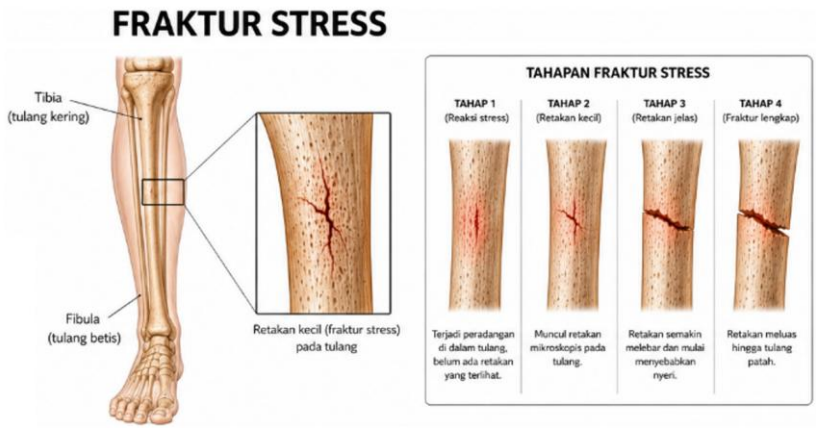
Tendinitis atau *overuse injury* merupakan cedera akibat penggunaan jaringan tubuh secara berulang dalam waktu lama tanpa pemulihan yang cukup. Cedera ini umumnya terjadi pada tendon, yaitu jaringan yang menghubungkan otot dengan tulang. Tendinitis sering dialami atlet pada bahu, siku, lutut, dan pergelangan kaki akibat aktivitas olahraga yang dilakukan secara repetitif.



Cedera ini terjadi karena gerakan repetitif tanpa kontrol biomekanis yang baik. Gerakan yang dilakukan terus-menerus dengan teknik yang kurang tepat menyebabkan tekanan berulang pada tendon sehingga terjadi peradangan dan kerusakan jaringan secara bertahap. Misalnya, teknik servis yang salah dalam bola voli atau teknik lari yang kurang efisien dapat meningkatkan tekanan pada tendon tertentu secara terus-menerus. Analisis biomekanika membantu mengevaluasi pola gerakan repetitif agar distribusi gaya menjadi lebih seimbang dan tekanan berlebihan pada tendon dapat dikurangi.

4. Fraktur Stress

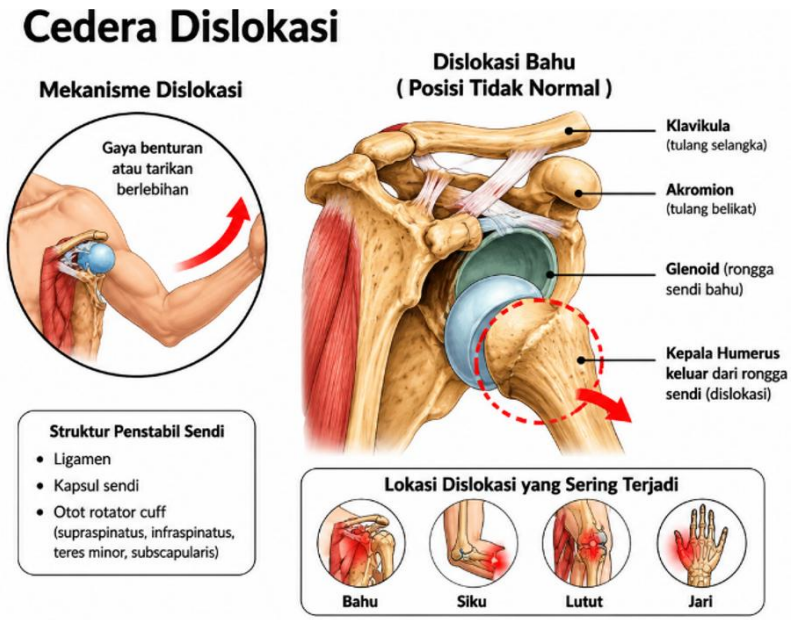
Fraktur stress merupakan cedera berupa retakan kecil pada tulang akibat beban berulang yang diterima tubuh dalam jangka waktu lama. Cedera ini sering terjadi pada atlet lari, lompat, maupun olahraga yang melibatkan benturan berulang pada kaki dan tungkai.



Faktor utama yang terlibat adalah beban aksial berulang, terutama saat melompat dan mendarat. Ketika tubuh menerima gaya benturan secara terus-menerus tanpa waktu pemulihan yang cukup, tulang mengalami tekanan mekanis berulang yang menyebabkan kerusakan mikro pada struktur tulang. Jika kondisi tersebut berlangsung terus-menerus, maka retakan kecil dapat berkembang menjadi fraktur stress. Teknik gerakan yang kurang baik, distribusi beban tubuh yang tidak merata, serta permukaan latihan yang terlalu keras juga dapat meningkatkan risiko cedera ini. Biomekanika membantu memperbaiki pola gerakan dan teknik pendaratan agar gaya benturan dapat diserap lebih efisien oleh tubuh.

5. Cedera Dislokasi

Cedera dislokasi merupakan kondisi ketika tulang keluar atau bergeser dari posisi normalnya pada sendi akibat gaya benturan, tarikan, atau gerakan yang berlebihan. Dislokasi sering terjadi pada sendi yang memiliki mobilitas tinggi seperti bahu, jari, siku, dan lutut. Dalam olahraga, cedera ini biasanya terjadi akibat benturan langsung, jatuh dengan posisi yang salah, atau gerakan memutar yang terlalu kuat.



Dislokasi terjadi ketika gaya yang diterima sendi melebihi kemampuan struktur penstabil sendi seperti ligamen, kapsul sendi, dan otot penyangga. Akibatnya, permukaan tulang pada sendi kehilangan keselarasan normal sehingga sendi menjadi tidak stabil. Risiko dislokasi meningkat apabila atlet mengalami kehilangan keseimbangan, kontak fisik keras, atau melakukan gerakan ekstrem di luar batas anatomis normal. Sebagai contoh pada dislokasi bahu, posisi lengan yang terlalu terbuka dan menerima gaya benturan kuat dapat menyebabkan kepala tulang humerus keluar dari rongga sendi bahu. Pada olahraga kontak seperti sepak bola, futsal, atau bela diri, dislokasi juga dapat terjadi akibat tabrakan atau jatuh dengan posisi tubuh yang tidak stabil.

6. Cedera ACL (Lutut)

Cedera ACL (*Anterior Cruciate Ligament*) merupakan cedera pada ligamen utama lutut yang berfungsi menjaga stabilitas sendi lutut. Cedera ini banyak terjadi pada olahraga yang melibatkan lompatan, perubahan arah cepat, dan pendaratan seperti sepak bola, basket, voli, dan futsal. Cedera ACL sering terjadi akibat posisi lutut valgus, yaitu lutut bergerak ke arah dalam saat mendarat, disertai rotasi berlebihan pada sendi lutut. Posisi tersebut menyebabkan tekanan sangat besar pada ligamen ACL sehingga ligamen dapat mengalami peregangan bahkan robekan. Risiko cedera meningkat jika atlet mendarat dengan lutut terlalu lurus, posisi tubuh tidak stabil, atau kontrol otot paha dan pinggul kurang baik. Analisis biomekanika digunakan untuk mengevaluasi teknik lompatan dan pendaratan agar posisi lutut tetap stabil dan distribusi gaya pada sendi lutut menjadi lebih aman.



Menurut Duane Knudson (2007), pemahaman biomekanika gerakan sangat penting untuk mengurangi tekanan berlebihan pada sistem muskuloskeletal sehingga risiko cedera olahraga dapat diminimalkan.

Contoh konkret pencegahan cedera di cabang olahraga populer disajikan dalam bentuk tabel :

1. Sepak Bola / Futsal

Cedera Umum	Penyebab Biomekanis	Pencegahan
Cedera ACL / lutut	Sudut lutut masuk (valgus) saat mendarat / pivot	Latihan teknik mendarat, latihan penguatan otot paha dan gluteus
Cedera hamstring	Over-stretch saat sprint atau tendang	Peregangan dinamis, aktivasi otot sebelum latihan
Pergelangan kaki terkilir	Posisi tumpuan tidak stabil	Latihan propriosepsi dan keseimbangan

2. Bola Voli

Cedera Umum	Faktor Biomekanika	Pencegahan
Cedera lutut (patellar tendinitis)	Lompatan dan pendaratan berulang	Latihan teknik mendarat dengan lutut menekuk, perkuat otot quadriceps
Cedera bahu (rotator cuff)	Ayunan spike berulang dengan sudut ekstrem	Latihan stabilisasi bahu, kontrol sudut ayun lengan
Cedera jari tangan	Blok tidak tepat waktu atau posisi tangan salah	Latihan teknik blocking dan penguatan jari

3. Atletik (Sprint, Lompat)

Cedera Umum	Penyebab Biomekanik	Pencegahan
Cedera otot betis dan paha	Teknik lari buruk, overstride	Koreksi postur lari, latihan kekuatan otot hamstring
Cedera punggung bawah	Teknik tolakan atau mendarat salah	Latihan core stability, teknik tolakan

4. Renang

Cedera Umum	Faktor Biomekanis	Pencegahan
Bahu perenang ("swimmer's shoulder")	Overuse + sudut rotasi bahu terlalu besar	Teknik pull yang efisien, latihan otot rotator cuff
Pinggang bawah sakit	Overextension saat gaya kupu-kupu	Latihan fleksibilitas dan postur streamline

C. ANALISIS GERAK PENCEGAHAN CEDERA

Analisis gerakan pencegahan cedera adalah proses mengevaluasi postur, biomekanik, dan rutinitas aktivitas fisik guna meminimalkan risiko kerusakan otot, tendon, atau sendi. Pendekatan ini berfokus pada tiga fase utama: persiapan, pelaksanaan gerak, dan pemulihan, yang bertujuan menjaga stabilitas serta fleksibilitas tubuh.

Berikut adalah komponen penting dalam analisis dan penerapan gerakan pencegahan cedera:

1. Fase Sebelum Aktivitas (Persiapan)
   Pemanasan (*Warming Up*): Meningkatkan suhu inti tubuh dan melenturkan jaringan ikat (otot, tendon, ligamen) sebelum melakukan aktivitas berat.Peregangan Dinamis: Gerakan seperti *walking lunges*, leg swings, dan arm circles dilakukan untuk mempersiapkan rentang gerak sendi tanpa memicu kelelahan.
2. Fase Selama Aktivitas (Pelaksanaan)
   Biomekanik yang tepat: Menganalisis postur tubuh agar tetap seimbang, seperti posisi punggung yang tegak saat mengangkat beban atau pendaratan kaki yang benar saat melompat. Hal ini krusial untuk mencegah cedera tulang belakang dan sendi.
   Peningkatan Beban Bertahap: Mencegah cedera akibat penggunaan berlebihan (*overuse syndromes*) dengan menaikkan intensitas latihan secara perlahan.
   Penggunaan Alat Pelindung: Mengenakan perlengkapan yang sesuai dengan standar olahraga (seperti pelindung lutut atau helm) untuk mengurangi dampak benturan.
3. Fase Setelah Aktivitas (Pemulihan)
   Pendinginan (*Cooling Down*): Gerakan ringan untuk membantu menurunkan detak jantung dan mengembalikan sirkulasi darah ke kondisi normal.

Peregangan Statis: Menjaga elastisitas otot dan mengurangi kekakuan pasca-latihan.

Jika terjadi cedera pada jaringan lunak (otot atau ligamen), pertolongan pertama yang dianjurkan adalah Metode RICE:

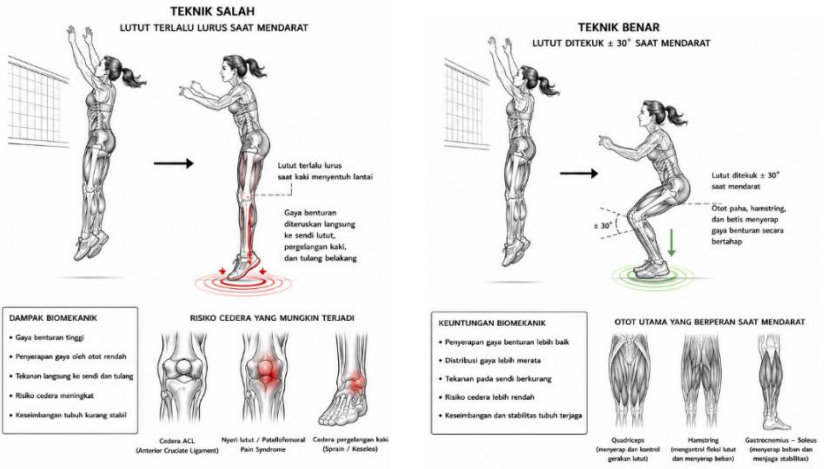
- R (*Rest*): Mengistirahatkan area yang cedera.
- I (*Ice*): Memberikan kompres es untuk mengurangi pembengkakan.
- C (*Compression*): Membebat area yang cedera dengan perban elastis.
- *Elevation*: Memposisikan bagian yang cedera lebih tinggi dari jantung

Berikut adalah contoh analisis gerakan pencegahan cedera :

1. Gerakan Mendarat (Volley)

Pada gerakan mendarat saat melakukan block atau smash dalam olahraga bola voli, kesalahan yang sering terjadi adalah posisi lutut terlalu lurus saat kaki menyentuh lantai. Secara biomekanis kondisi ini menyebabkan gaya benturan dari tubuh langsung diteruskan ke sendi lutut, pergelangan kaki, dan tulang belakang tanpa adanya proses penyerapan gaya yang baik oleh otot. Akibatnya, tekanan pada sendi menjadi sangat besar sehingga meningkatkan risiko cedera seperti cedera ACL, nyeri lutut, maupun cedera pergelangan kaki.

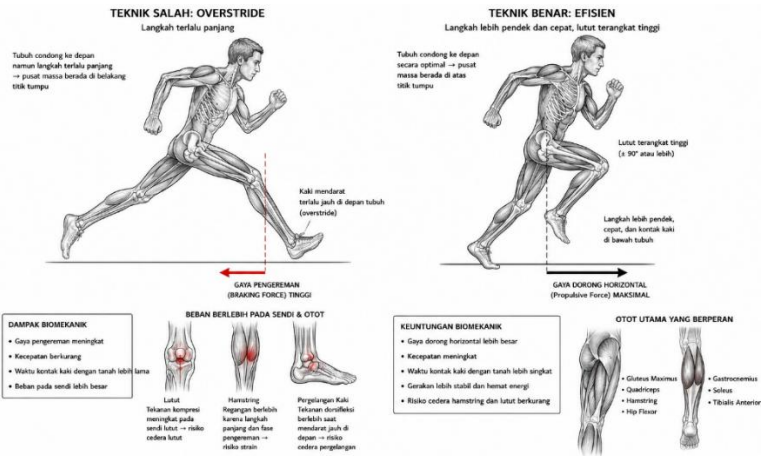
Sebaliknya teknik mendarat yang benar dilakukan dengan posisi lutut sedikit ditekuk sekitar 30°. Posisi ini membantu otot paha, hamstring, dan otot betis menyerap gaya benturan secara bertahap. Dengan demikian, distribusi gaya menjadi lebih merata dan tekanan pada sendi dapat dikurangi. Teknik pendaratan yang baik juga membantu menjaga keseimbangan tubuh dan mengurangi risiko kehilangan stabilitas setelah melompat.



2. Gerakan Sprint (Futsal)

Dalam gerakan sprint pada futsal, kesalahan biomekanis yang sering terjadi adalah langkah terlalu panjang atau *overstride*. Kondisi ini menyebabkan kaki mendarat terlalu jauh di depan tubuh sehingga gaya pengereman meningkat dan kecepatan gerakan menjadi berkurang. Selain itu, langkah yang terlalu panjang meningkatkan tekanan pada lutut, hamstring, dan pergelangan kaki karena tubuh menerima beban secara tidak efisien.

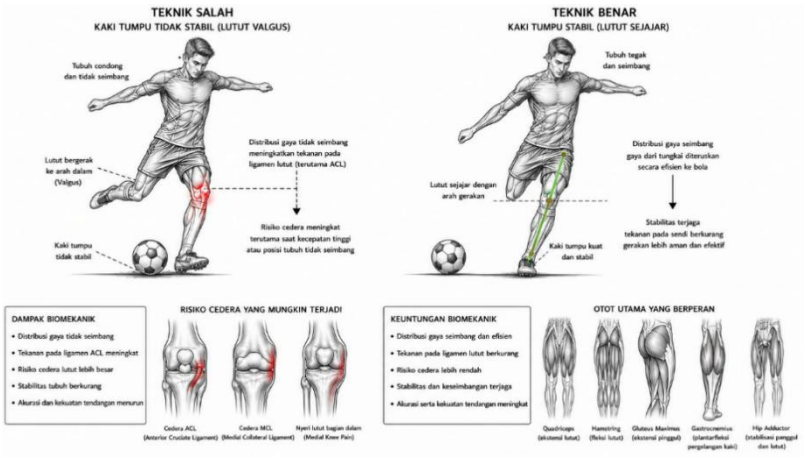
Teknik sprint yang benar dilakukan dengan langkah yang lebih pendek dan cepat disertai lutut yang terangkat lebih tinggi. Secara biomekanis, posisi ini membantu tubuh menghasilkan gaya dorong horizontal yang lebih besar dan mengurangi waktu kontak kaki dengan tanah. Langkah yang efisien memungkinkan tubuh bergerak lebih cepat, stabil, dan hemat energi. Selain meningkatkan performa sprint, teknik ini juga membantu mengurangi risiko cedera otot hamstring dan cedera lutut akibat tekanan berlebih.



3. Gerakan Tendangan Bola

Pada gerakan menendang bola, kesalahan yang sering terjadi adalah posisi tubuh dan kaki tumpu yang tidak stabil sehingga lutut bergerak ke arah dalam (valgus). Secara biomekanis, posisi ini menyebabkan distribusi gaya pada sendi lutut menjadi tidak seimbang dan meningkatkan tekanan pada ligamen lutut, terutama ACL. Risiko cedera akan semakin besar jika tendangan dilakukan dengan kecepatan tinggi atau dalam posisi tubuh yang tidak seimbang.

Teknik yang benar dilakukan dengan kaki tumpu yang kuat dan posisi lutut sejajar dengan arah gerakan. Posisi ini membantu menjaga stabilitas tubuh dan memastikan gaya dari tungkai dapat diteruskan secara efisien menuju bola.



Selain itu keseimbangan tubuh yang baik membantu mengurangi tekanan berlebih pada sendi lutut dan pergelangan kaki sehingga gerakan menjadi lebih aman dan efektif.

DAFTAR REFERENSI

Bartlett, R. (2007). Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns (2nd ed.). Routledge.

Newton, I. (1999). The principia: Mathematical principles of natural philosophy (I. B. Cohen & A. Whitman, Trans.). University of California Press. (Karya asli diterbitkan tahun 1687)

Zatsiorsky, V. M. (2002). Kinetics of human motion. Human Kinetics.

Soeharsono. 2005. "Aplikasi Praktis Biomekanika Dalam Pendidikan Jasmani Dan Olahraga." Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia: 9–30.

Ardiyanto, Hysa, and Widiyanto. 2019. "Prinsip-Prinsip Biomekanika Kualitatif: Upaya Menjembatani Teori Dan Aplikasi Dalam Sport Science." Media Ilmu Keolahragaan Indonesia 9(2): 54–62.

Aristotle. (1984). The complete works of Aristotle (J. Barnes, Ed.). Princeton University Press. (Karya asli sekitar 350 SM)

Bartlett, R. (2007). Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns (2nd ed.). Routledge.

Borelli, G. A. (1989). On the movement of animals (De Motu Animalium). Springer. (Karya asli diterbitkan tahun 1680)

Hall, S. J. (2014). Basic biomechanics (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Knudson, D. (2007). Fundamentals of biomechanics (2nd ed.). Springer.

McGinnis, P. M. (2013). Biomechanics of sport and exercise (3rd ed.). Human Kinetics.

Zatsiorsky, V. M. (2002). Kinetics of human motion. Human Kinetics.

Winter, D. A. (2009). Biomechanics and motor control of human movement (4th ed.). Wiley.

Blazevich, A. J. (2007). *Sports biomechanics: The basics: Optimising human performance*. A & C Black Publishers Ltd.



Dr. Anderias Johannis F. Lumba, M.Pd biasa ada sapa Joni Lumba adalah seorang akademisi berpengalaman yang menjabat sebagai Lektor Kepala dalam bidang pendidikan olahraga. Beliau lahir di Soe, pada tanggal 6 Agustus 1968, dan dikenal sebagai pengajar yang berdedikasi tinggi dalam dunia akademik maupun praktik pembinaan olahraga. Dalam kegiatan perkuliahan, Beliau mengampu beberapa mata kuliah inti yang menjadi fondasi penting dalam kompetensi mahasiswa Pendidikan Jasmani, yaitu Sosiologi dan Antropologi Olahraga, Metodologi Penelitian, Micro Teaching, Biomekanika Olahraga, Ilmu Kepelatihan Dasar, Seminar Penjas, dan Dasar-Dasar Pendidikan Jasmani.

Riwayat pendidikan Dr. Anderias Johannis F. Lumba, M.Pd. Beliau memulai pendidikannya pada jenjang S1 di Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan (STKIP) Cimahi, Bandung, dengan fokus pada Pendidikan Olahraga dan Rekreasi pada tahun 1988–1993. Pada jenjang ini, beliau menulis skripsi berjudul "Perbedaan Tingkat Kesegaran Jasmani Siswa di Pedesaan dan di Perkotaan," sebuah karya awal yang menegaskan minatnya pada kajian kondisi fisik dan perbandingan karakteristik lingkungan terhadap performa jasmani siswa.

Melanjutkan pendidikannya ke jenjang S2, Beliau memilih Pendidikan Olahraga di Universitas Negeri Surabaya (UNESA) pada tahun 1999–2002. Pada tahap ini, ia menulis tesis berjudul "Praktikan Pengalaman Lapangan bagi Calon Guru Pendidikan Jasmani di SMA Negeri I Kupang," yang menyoroti pentingnya pengalaman praktik lapangan dalam membentuk kompetensi mengajar guru pendidikan jasmani. Penelitian ini memperlihatkan kepeduliannya terhadap kualitas pembelajaran, metodologi pendidikan, dan pengembangan calon pendidik olahraga.

Kemudian dilanjutkan pada jenjang S3 di Universitas Negeri Surabaya pada tahun 2007–2010, dengan konsentrasi Ilmu Keolahragaan. Pada jenjang doktoralnya, beliau menulis disertasi berjudul "Analisis Gerak Budaya Pasola dan Berjalan Wanita Penjual Tuak dalam Mengidentifikasi Cabang Olahraga di Provinsi NTT," sebuah karya monumental yang memadukan kajian antropologi gerak, budaya lokal, dan pemetaan potensi olahraga daerah.

Beliau memiliki Lisensi C Nasional sebagai pelatih sepak bola, pengalaman sebagai mantan pemain, dan saat ini aktif sebagai pelatih serta konsultan olahraga. Kombinasi pengalaman dan sertifikasi tersebut mendukung perannya dalam pembinaan dan pengembangan olahraga, khususnya sepak bola.

www.penerbitwidina.com
@penerbitwidina
penerbit widina
penerbitwidina@gmail.com
widina store
widina bookstore

Layanan Pembaca & Penerbitan Buku
0815-7000-699

SCANME

Pendidikan

ISBN 978-634-317-443-1

9 786343 174431