

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Bulu Tangkis

Bulu tangkis atau *badminton* merupakan salah satu cabang olahraga raket yang dimainkan oleh dua orang dalam permainan tunggal (*singles*) atau empat orang dalam permainan ganda (*doubles*), di mana para pemain menggunakan raket untuk memukul sebuah *shuttlecock* yang ringan secara berulang ke area lawan dengan tujuan memenangkan poin melalui reli yang cepat dan dinamis. Permainan ini sangat menekankan pada koordinasi antara mata dan tangan, kecepatan, ketangkasan, dan kebugaran fisik umum karena ritme permainan yang intens serta durasi setiap reli yang relatif singkat namun berulang-ulang sepanjang pertandingan, sehingga membutuhkan kesiapan fisik dan teknis yang tinggi. (Sivamani et al., 2022).

Dalam konteks olahraga modern, penelitian olahraga telah menegaskan bahwa bulu tangkis tidak hanya sekadar permainan teknik, melainkan juga sebuah olahraga yang melibatkan tuntutan fisik dan fisiologis yang kompleks, olahraga ini memerlukan kombinasi kecepatan, kekuatan eksplosif, kelincahan (*agility*), koordinasi motorik halus, serta kesiapan kardiovaskular yang memadai sehingga atlet mampu mengatasi durasi reli yang tinggi dan interval istirahat yang singkat dalam setiap pertandingan. Studi ilmiah di bidang *sport science* menunjukkan bahwa bulu tangkis memerlukan kemampuan fisik yang khas seperti *agility*, daya ledak otot, dan kecepatan reaksi yang optimal untuk mendukung performa atlet di lapangan, yang mencerminkan kompleksitas olahraga ini dari sisi *performance sport science* (Ghorpade et al., 2024).

2.1.1 Teknik dasar permainan bulu tangkis

Menurut penelitian sebelumnya dari (Hamid & Aminuddin, 2019) teknik permainan bulutangkis meliputi beberapa gerakan berikut :

a. Teknik memukul

Teknik ini meliputi *servis, lob, smash, dropshot, cop drive, dan netting*.

Pukulan *servis* adalah hal yang paling dasar dalam teknik memukul karena dapat meningkatkan potensi perolehan poin dalam permainan bulutangkis.

b. Teknik gerakan kaki

Gerakan kaki pemain bulutangkis harus lincah kedepan, samping, dan belakang agar dapat menjangkau *cock* dari lawan. Teknik ini juga perlu dikuasai dengan sering berlatih. *Lunge* menjadi gerakan dominan dalam permainan karena melibatkan koordinasi kompleks antara sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki untuk menghasilkan gaya dorong dan penyerapan dampak yang optimal (Lam *et al.*, 2020).

2.1.2 Biomekanik bulu tangkis

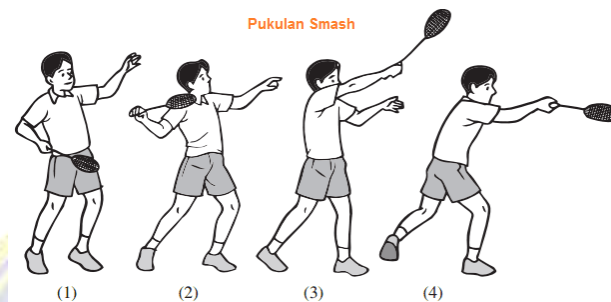
Biomekanik bulu tangkis merupakan kajian yang menganalisis prinsip mekanika tubuh manusia selama melakukan berbagai gerakan spesifik permainan, seperti *lunge, jump smash*, perubahan arah cepat, dan pendaratan satu kaki, yang semuanya menuntut kontrol neuromuskular dan stabilitas postural tingkat tinggi.

Biomekanik bulu tangkis memiliki beberapa komponen, yaitu:

1. Pukulan (*Smash/Lob/Clear*)

Pada komponen pukulan, khususnya *smash* dan *clear*, penelitian biomekanik menunjukkan bahwa efektivitas gerakan sangat bergantung pada koordinasi rotasi batang tubuh, transfer gaya dari tungkai bawah ke ekstremitas

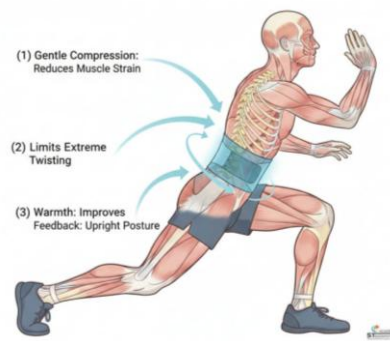
atas, serta kecepatan ayunan lengan untuk menghasilkan kecepatan shuttlecock yang optimal (Comparison et al., 2023). Kekuatan maksimal diperoleh dari rantai kinetik, bukan hanya pergelangan tangan, melainkan rotasi pinggul, bahu, dan diakhiri dengan pronasi lengan bawah yang cepat. Pukulan *smash* efektif memerlukan sudut siku sekitar $126,9^\circ$ dan titik kontak tertinggi untuk akurasi dan kecepatan maksimal.



Gambar 2.1.2 Pukulan *Smash* (Budi, 2022)

2. Gerakan Kaki (*Footwork/Lunge*)

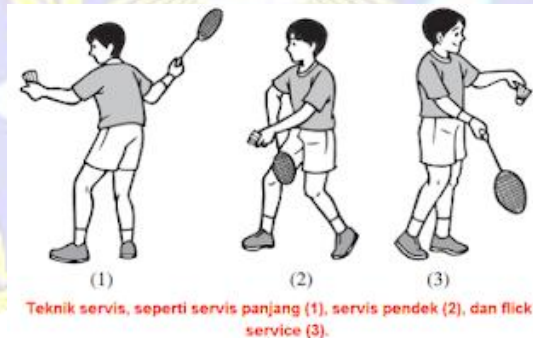
Gerakan *footwork* atau *lunge* merupakan komponen biomekanik paling krusial dalam bulu tangkis karena memungkinkan atlet menjangkau shuttlecock secara cepat dan efisien, terutama pada area depan lapangan. *Lunge* pada bulu tangkis dicirikan oleh langkah panjang ke depan atau ke arah diagonal dengan satu kaki sebagai tumpuan, disertai fleksi signifikan pada sendi pergelangan kaki, lutut, dan pinggul untuk menyerap gaya reaksi tanah dan menjaga stabilitas dinamis (Y. Wang et al., 2024). Melibatkan 15% dari total gerakan permainan. Teknik *lunge* yang benar sangat krusial untuk keseimbangan dan efisiensi, di mana otot ekstremitas atas membantu menjaga stabilitas saat ekstremitas bawah menahan beban.



Gambar 2.1.2 Gambar *Lunge* (Academy, 2025)

3. Servis

Servis merupakan gerakan awal yang menuntut presisi biomekanik tinggi, melibatkan koordinasi gerak halus antara bahu, siku, pergelangan tangan, serta stabilitas postural untuk menghasilkan arah dan kecepatan *shuttlecock* yang konsisten (Hung et al., 2020). Melibatkan perputaran bahu dan pergelangan tangan untuk menghasilkan gaya kontrol, terutama untuk servis pendek yang memerlukan konsistensi, di mana raket harus condong ke bawah dan kok dipukul di bawah pinggang.



Gambar 2.1.2 Servis (Team, 2021)

Penelitian lima tahun terakhir menunjukkan bahwa pola gerak bulu tangkis didominasi oleh aktivitas multiplanar dengan beban tinggi pada ekstremitas bawah, khususnya pada sendi pergelangan kaki, lutut, dan pinggul. rangkaian gerakan *smash lunge* merupakan salah satu pola biomekanik paling krusial dalam

pertandingan tunggal, karena melibatkan transisi cepat dari gerakan eksplosif vertikal ke pendaratan dan deselerasi horizontal, yang meningkatkan tuntutan kontrol gaya reaksi tanah dan stabilitas sendi (Lin et al., 2022).

2.2 Risiko cedera bulu tangkis

Risiko cedera dalam olahraga bulu tangkis relatif tinggi meskipun termasuk olahraga non-kontak, karena melibatkan gerakan eksplosif, lompatan berulang, perubahan arah yang cepat, serta aktivitas *overhead* yang intens. Studi prospektif pada pemain bulu tangkis elit menunjukkan bahwa cedera paling sering terjadi pada ekstremitas bawah, khususnya pergelangan kaki, lutut, dan paha, diikuti oleh cedera bahu dan punggung bawah akibat repetisi *smash* dan *overhead* (Guermont & Drigny, 2021). Tinjauan sistematis terbaru juga menegaskan bahwa faktor risiko utama cedera bulu tangkis meliputi volume latihan yang tinggi, kurangnya pemulihan, riwayat cedera sebelumnya, serta teknik gerak yang tidak optimal (Stepper et al., 2025). Dalam studi retrospektif terhadap 128 atlet junior bulu tangkis Indonesia yang berlomba di National Premier Circuit di Jawa Barat, ditemukan bahwa sebanyak 18 % atlet mengalami cedera dengan total 24 kejadian cedera yang didokumentasikan, di mana cedera akut lebih sering terjadi dibandingkan cedera kronis atau akibat penggunaan berlebihan, dan lebih dari 58% cedera tersebut terjadi pada ekstremitas bawah seperti lutut dan pergelangan kaki yang menghadapi tuntutan biomekanik tinggi dari gerakan lunge dan perubahan arah yang cepat dalam bulu tangkis (Suryanto et al., 2022).

2.2.1 Cedera ligamen

Cedera ligamen merupakan salah satu masalah muskuloskeletal yang sering dialami atlet bulu tangkis, terutama pada ligamen pergelangan kaki dan lutut akibat

gerakan *lunge*, *jump smash*, serta pendaratan satu kaki yang berulang. Penelitian pada atlet bulu tangkis usia muda menunjukkan bahwa cedera ligamen pergelangan kaki tidak hanya sering terjadi, tetapi juga meningkatkan risiko cedera lanjutan pada sendi lain seperti lutut dan bahu, yang berkaitan dengan gangguan stabilitas dan kontrol neuromuskular (Liu et al., 2022). Selain itu, studi biomekanik terbaru mengidentifikasi bahwa pendaratan satu kaki dengan sudut abduksi lutut yang besar dan kontrol pergelangan kaki yang buruk merupakan faktor risiko penting terjadinya cedera ligamen *anterior cruciate ligament* (ACL) pada atlet bulu tangkis, khususnya saat melakukan *jump smash* dan *lunge* berkecepatan tinggi (Yeap et al., 2025).



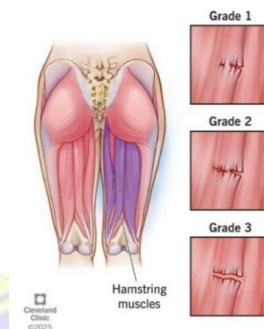
Gambar 2.2.1 Cedera ligamen ACL (Cleveland, 2021)

Temuan lain juga menegaskan bahwa ketidakstabilan pergelangan kaki kronis dapat mengubah biomekanika ekstremitas bawah dan meningkatkan beban pada ligamen lutut, sehingga memperbesar risiko cedera ligamen secara berantai pada atlet bulu tangkis kompetitif (Zhao et al., 2025).

2.2.2 Cedera otot

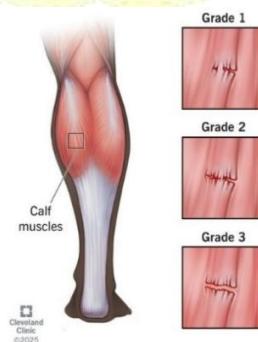
Cedera otot merupakan salah satu jenis cedera yang paling sering dialami oleh atlet bulu tangkis, terutama karena karakteristik olahraga ini yang menuntut gerakan cepat, eksplosif, dan repetitif. Berdasarkan hasil tinjauan oleh Phomsoupha

& Laffaye, (2020), cedera otot sering terjadi akibat kontraksi eksentrik mendadak saat melakukan lompatan, *smash*, atau perubahan arah cepat. Sekitar 19,8% dari seluruh cedera bulu tangkis adalah cedera otot, dengan dominasi pada otot *hamstring* dan otot *gastrocnemius*.



Gambar 2.2.2 Cedera otot hamstring (Cleveland, 2025)

Studi prospektif pada atlet bulu tangkis elit juga menemukan bahwa ketidakseimbangan kekuatan otot bahu berhubungan signifikan dengan peningkatan risiko cedera otot bahu, terutama pada sisi dominan, yang dapat berdampak pada penurunan performa dan peningkatan risiko cedera berulang (Guermont & Drigny, 2021). *Overuse* (akibat penggunaan otot berlebihan) juga menjadi perhatian utama, di mana intensitas latihan yang tinggi tanpa periode pemulihan yang memadai dapat menyebabkan akumulasi stres pada jaringan otot dan tendon (Stepper *et al.*, 2025).

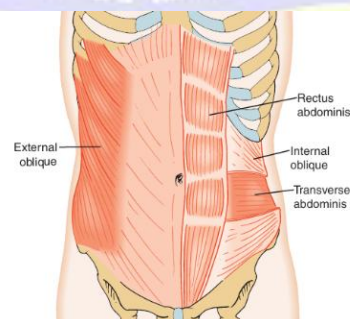


Gambar 2.2.2 Cedera otot gastrocnemius (Cleveland, 2025)

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa risiko cedera pada atlet bulu tangkis sangat dipengaruhi oleh faktor biomekanik, volume latihan, serta kurangnya strategi pencegahan yang efektif. Upaya seperti penguatan otot stabilisator, peningkatan kesadaran teknik gerakan, dan penerapan program pemulihan yang terstruktur dapat menjadi langkah penting untuk menurunkan angka cedera pada populasi atlet muda.

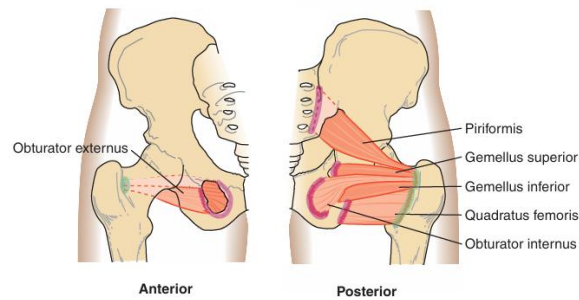
2.3 Stabilitas Inti (*Core Stability*)

Stabilitas inti (*core stability*) memiliki peran penting pada atlet bulu tangkis karena menjadi dasar transfer gaya antara ekstremitas bawah dan atas selama gerakan spesifik seperti lunge, perubahan arah cepat, dan smash. Bukti ilmiah lima tahun terakhir menunjukkan bahwa kekuatan dan stabilitas otot inti termasuk otot trunk dan pelvis berkontribusi signifikan terhadap keseimbangan dinamis, efisiensi rotasi tubuh, serta penurunan risiko cedera muskuloskeletal. Tinjauan sistematis dan meta-analisis terbaru melaporkan bahwa program *core strength training* secara konsisten meningkatkan performa bulu tangkis (kecepatan *smash*, kelincahan, dan keseimbangan) sekaligus berpotensi menurunkan risiko cedera akibat kontrol postur yang lebih baik (Ma et al., 2024).



Gambar 2.3 Otot dinding perut (Bukowski, 2006)

Studi eksperimental lain juga menunjukkan bahwa latihan stabilitas inti secara signifikan meningkatkan keseimbangan dinamis dan kualitas gerak atlet bulu tangkis, yang merupakan faktor protektif terhadap cedera ekstremitas bawah dan punggung bawah (Ibrahim, 2021).



Gambar 2.3 Otot panggul (Bukowski, 2006)

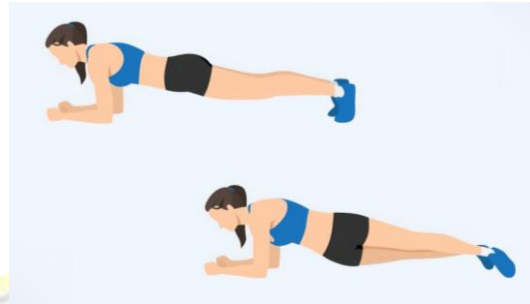
Selain itu, penelitian terkini menegaskan bahwa peningkatan kekuatan inti membantu menjaga stabilitas trunk selama gerakan eksplosif dan rotasional, sehingga mendukung performa optimal sekaligus pencegahan cedera pada atlet bulu tangkis kompetitif (Ma et al., 2024)

2.3.1 Teknik gerakan *Core Stability Exercise*

1. *Plank Hip Dips*

Latihan *plank hip dips* merupakan variasi plank dinamis yang menekankan stabilitas inti melalui gerakan rotasi terkontrol pada pelvis, sehingga secara spesifik mengaktivasi otot *obliquus externus*, *obliquus internus*, *rectus abdominis*, serta *quadratus lumborum*. Bukti ilmiah dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa variasi plank dengan komponen rotasi atau pergeseran panggul menghasilkan aktivasi otot inti yang lebih tinggi dibandingkan plank statis, karena meningkatnya tuntutan kontrol anti-rotasi dan stabilisasi trunk.

Analisis elektromiografi terbaru menunjukkan bahwa variasi plank dinamis secara signifikan meningkatkan aktivasi otot *abdominal lateral* dan otot penstabil batang tubuh, yang berperan penting dalam kontrol postur dan transfer gaya selama aktivitas fungsional dan olahraga (Hiremath et al., 2025).



Gambar 2.3.1 *Plank Hip Dips Exercise* (Jane McGuire, 2023)

Plank dengan gerakan rotasional meningkatkan koordinasi neuromuskular antara otot inti bagian depan dan lateral, menjadikannya latihan yang efektif untuk memperbaiki fungsi biomekanik batang tubuh dan mencegah cedera punggung bawah (Oliva-Lozano & Muyor, 2020).

2. *Mountain Climber Exercise*

Latihan *mountain climber* merupakan bentuk latihan fungsional berbasis berat badan yang efektif untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas otot inti, sekaligus melibatkan otot ekstremitas atas dan bawah secara simultan. Bukti ilmiah dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa *mountain climber* mampu mengaktivasi otot inti seperti *rectus abdominis*, *external oblique*, *erector spinae*, serta fleksor panggul dalam tingkat yang tinggi karena posisi plank dinamis dan gerakan fleksi-ekstensi pinggul yang cepat. Studi elektromiografi menunjukkan bahwa variasi *mountain climber* dengan permukaan tumpuan berbeda secara signifikan memengaruhi tingkat aktivasi

otot inti dan intensitas latihan, sehingga latihan ini efektif digunakan untuk pengembangan stabilitas inti dan daya tahan otot (J. Park et al., 2021)



Gambar 2.3.1 *Mountain Climber Exercise* (shutterstock, 2018)

Latihan seperti *mountain climber* efektif meningkatkan kebugaran kardiorespirasi dan stabilitas inti karena melibatkan aktivasi simultan otot pernapasan dan postural (Pradita & Halimah, 2025). Gerakan ini juga termasuk dalam *closed kinetic chain exercise* yang memperkuat sinergi otot penstabil bahu, panggul, dan tungkai, sehingga bermanfaat untuk pencegahan cedera serta peningkatan performa fungsional tubuh bagian bawah (Kozin et al., 2021).

2.3.2 Efek Biomekanik *Core Stability Exercise*

Secara biomekanik, latihan *mountain climber* dan *plank hip dips* memberikan efek signifikan terhadap sistem *lumbopelvic-hip complex (LPHC)* dan kestabilan batang tubuh. Latihan ini melibatkan kontraksi isometrik dan dinamis pada otot inti untuk menjaga keseimbangan antara gaya internal dan eksternal tubuh. Selama *mountain climber*, gerakan fleksi bergantian pada panggul meningkatkan aktivasi *m. rectus abdominis* dan *m. iliopsoas*, sekaligus menantang koordinasi neuromuskular antara otot penstabil panggul dan bahu. Aktivitas ini

mendukung keseimbangan *kinetic chain* antara ekstremitas atas dan bawah (Multani *et al.*, 2019).

Plank dinamis seperti *hip dips* menimbulkan aktivasi tinggi pada otot miring perut (*m.obliquus externus* dan *internus*), serta otot multifidus, yang berperan dalam rotasi dan stabilisasi tulang belakang (Oliva-Lozano & Muyor, 2020). Rotasi pinggul berulang pada *plank hip dips* menciptakan momen gaya lateral yang menuntut kerja sinergis otot-otot penstabil untuk mempertahankan posisi netral tulang belakang, sehingga meningkatkan kontrol motorik batang tubuh. Variasi plank yang melibatkan gerakan rotasional meningkatkan aktivasi lateral trunk muscles hingga 25–40% lebih tinggi dibandingkan plank statis, menandakan peningkatan kapasitas pengendalian torsional batang tubuh (Hiremath *et al.*, 2025).

Latihan stabilitas inti seperti *plank* dan *mountain climber* dapat memperbaiki biomekanika pendaratan serta menurunkan risiko cedera ekstremitas bawah dengan meningkatkan kekuatan dan proprioepsi pada area panggul (syahputra eko, novianty lily, 2023). Latihan inti pada permukaan stabil (seperti *plank hip dips*) menekankan kontrol postural halus melalui aktivasi segmental tulang belakang, sedangkan variasi dinamis seperti *mountain climber* menambah tantangan kestabilan melalui gaya reaktif yang melibatkan seluruh rantai kinetik (Macwan & Kogje, 2024). Secara keseluruhan, kedua latihan tersebut menghasilkan adaptasi biomekanik berupa peningkatan kestabilan tulang belakang, efisiensi transmisi gaya antarsegmen tubuh, serta optimalisasi koordinasi neuromuskular yang penting untuk pencegahan cedera dan peningkatan performa fungsional.

2.4 Lompatan *Squat* (*Squat Jump*)

Squat Jump adalah latihan plyometrik di mana atlet memulai dari posisi jongkok (lutut dan panggul sedikit fleksi), kemudian melakukan lompatan vertikal maksimal tanpa menggunakan awalan langkah panjang (atau *countermovement* minimal). Latihan ini sering digunakan untuk mengukur dan melatih kemampuan daya ledak “*power*” otot tungkai bawah, termasuk *m.quadriceps*, *m.gluteus*, *m.hamstring* dan *m.gastrocnemius*. Dalam olahraga bulu tangkis, lompatan sering terjadi (misalnya *smash overhead*, lompatan ke depan untuk mengambil *shuttle*) dan kemudian pendaratan atau gerakan cepat ke posisi baru. Latihan *squat jump* meningkatkan kemampuan tungkai untuk menghasilkan gaya vertikal dan mengontrol pendaratan yang cepat yang juga berhubungan dengan kemampuan menjaga atau memperoleh kembali keseimbangan. Peneliti sebelumnya telah menunjukkan bahwa latihan *box jump*, *box shuffle*, dan *squat jump* berpengaruh terhadap kekuatan otot tungkai (Andriyan *et al.*, 2023).

2.4.1 Teknik Gerakan *Squat Jump*

Teknik gerakan *squat jump* dilakukan dengan posisi awal berdiri, kemudian atlet menurunkan tubuh ke posisi squat statis dengan fleksi lutut (sekitar 90°) dan pinggul, sebelum melakukan tolakan vertikal secara eksplosif. Secara biomekanik, teknik yang benar menekankan posisi batang tubuh relatif tegak, distribusi beban merata pada kedua kaki, serta ekstensi pada sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki (*triple extension*) selama fase lepas landas. Penelitian biomekanik terkini menunjukkan bahwa sudut fleksi lutut dan pinggul pada posisi awal sangat

memengaruhi pola aktivasi otot dan produksi daya, di mana sudut fleksi sedang memungkinkan transfer gaya yang lebih efisien (Thompson et al., 2022).



Gambar 2.4.1 *Squat Jump* (istockphoto, 2019)

2.4.2 Efek Biomekanik *Squat Jump*

Latihan *squat jump* menimbulkan efek biomekanik yang signifikan pada sistem neuromuskular dan sendi ekstremitas bawah karena melibatkan fase konsentris eksplosif tanpa *countermovement*, sehingga menuntut produksi gaya dan daya secara cepat. Studi biomekanik terkini menunjukkan bahwa *squat jump* menghasilkan puncak gaya reaksi tanah, momen sendi pinggul dan lutut, serta *rate of force development* yang tinggi, menjadikannya latihan efektif untuk pengembangan daya otot tungkai sekaligus alat evaluasi performa eksplosif (Donahue et al., 2021).

Analisis kinematik dan kinetik pada *loaded jump squat* juga menunjukkan peningkatan kontribusi sendi pinggul dibandingkan lutut seiring bertambahnya beban, yang berdampak pada distribusi kerja otot dan strategi gerak selama fase lepas landas (Thompson et al., 2022). Mekanisme *stretch-shortening cycle* (SSC) dalam latihan *squat jump* berkaitan dengan urutan kontraksi otot yang melibatkan peregangan aktif (*eccentric*) segera diikuti oleh pemendekan aktif (*concentric*) sehingga memungkinkan penyimpanan dan pemanfaatan energi elastis untuk

meningkatkan produksi gaya dan daya pada fase dorongan. Dalam konteks gerakan *squat jump*, otot-tendon ekstremitas bawah mengalami peregangan ketika menurunkan tubuh ke posisi jongkok, yang kemudian diikuti oleh fase transisi singkat sebelum kontraksi konsentris yang eksplosif untuk menghasilkan lompatan ke atas (Seiberl *et al.*, 2021)

2.5 Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis merupakan kemampuan tubuh untuk mempertahankan dan memulihkan stabilitas postural saat bergerak atau ketika menghadapi gangguan eksternal, dan kemampuan ini sangat bergantung pada integrasi sistem sensorik, neuromuskular, serta kontrol motorik pusat. Penelitian lima tahun terakhir menegaskan bahwa keseimbangan dinamis tidak hanya berperan dalam menjaga efisiensi gerak, tetapi juga menjadi faktor penting dalam peningkatan performa dan pencegahan cedera pada atlet maupun individu aktif. Studi eksperimental pada atlet usia sekolah menunjukkan bahwa latihan keseimbangan dinamis jangka pendek mampu meningkatkan stabilitas postural secara signifikan, terutama pada tugas satu kaki dan gerakan multidireksional, karena meningkatnya kemampuan sistem saraf untuk mengatur respons otot terhadap perubahan posisi tubuh (Maudrich *et al.*, 2021). Selain itu, penelitian terbaru mengenai adaptasi kontrol postural akibat latihan spesifik olahraga menunjukkan bahwa latihan yang menuntut keseimbangan dinamis secara berulang dapat menghasilkan strategi kontrol postur yang lebih efisien dan spesifik terhadap tuntutan aktivitas, yang pada akhirnya berkorelasi dengan peningkatan performa olahraga (Behm *et al.*, 2023).

Dalam konteks olahraga, keseimbangan tidak dapat dipahami hanya sebagai kemampuan mempertahankan posisi tubuh secara diam (statis), melainkan harus

mencakup aspek dinamis yang merefleksikan tuntutan gerak nyata saat berolahraga. Sebagian besar aktivitas olahraga melibatkan perpindahan pusat massa, perubahan arah cepat, pendaratan satu kaki, serta respons terhadap gangguan eksternal, sehingga keseimbangan dinamis menjadi komponen yang lebih relevan dibandingkan keseimbangan statis. Penelitian terbaru pada atlet olahraga beregu menunjukkan bahwa kemampuan keseimbangan dinamis memberikan informasi yang lebih sensitif terhadap performa dan risiko cedera dibandingkan tes keseimbangan statis, karena keseimbangan dinamis menilai kontrol postural selama gerakan fungsional yang menyerupai situasi pertandingan (Pontaga et al., 2024).

2.5.1 Komponen Keseimbangan Dinamis

Keseimbangan dinamis merupakan kemampuan kompleks yang tersusun dari beberapa komponen utama yang saling berinteraksi untuk menjaga stabilitas tubuh selama bergerak, yaitu :

1. Sistem Sensorik

Sistem sensorik meliputi visual, vestibular, dan somatosensorik, berfungsi sebagai sumber utama informasi mengenai orientasi tubuh, gerakan kepala, serta posisi segmen tubuh terhadap lingkungan. Sistem visual membantu memperkirakan posisi dan kecepatan gerak relatif terhadap objek sekitar, sementara sistem *vestibular* mendeteksi percepatan linear dan rotasional kepala yang sangat penting saat terjadi perubahan arah atau gangguan mendadak, dan sistem somatosensorik memberikan umpan balik mekanis dari kulit, otot, serta sendi selama kontak dengan permukaan tumpu (Moreno, 2022).

2. Proprioepsi

Proprioepsi, yang secara spesifik berperan dalam mendeteksi posisi sendi, perubahan panjang otot, dan ketegangan tendon melalui reseptor perifer,

sehingga memungkinkan kontrol gerak yang presisi saat pusat massa terus berpindah, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kualitas proprioseptif berkontribusi besar terhadap stabilitas dinamis karena memungkinkan koreksi postural yang cepat dan akurat selama tugas satu kaki dan gerakan multidireksional (Tedeschi, 2023).

3. Sensorimotor

Integrasi sensorimotor di sistem saraf pusat, yaitu proses pengolahan dan penggabungan berbagai input sensorik di otak terutama di batang otak, cerebellum, dan korteks motorik melalui mekanisme *sensory reweighting*, sehingga sistem saraf dapat memprioritaskan sumber informasi yang paling relevan sesuai konteks gerakan dan kondisi lingkungan (Behm et al., 2023).

4. Kontrol Neuromuskular

Kontrol neuromuskular mencakup koordinasi, kekuatan, dan *timing* aktivasi otot, khususnya otot inti dan ekstremitas bawah, untuk mengendalikan pusat massa dan menghasilkan respons postural yang efektif terhadap gangguan selama bergerak, meta-analisis terbaru menunjukkan bahwa peningkatan kontrol neuromuskular melalui latihan terstruktur secara signifikan meningkatkan kemampuan keseimbangan dinamis (Ma et al., 2024).

5. Strategi postural dan biomekanik

Strategi postural dan biomekanik melibatkan pengaturan hubungan antara pusat massa dan *base of support*, penggunaan strategi pergelangan kaki, lutut, dan pinggul, serta kontrol segmental tubuh untuk mempertahankan stabilitas selama tugas fungsional yang kompleks dan berkecepatan tinggi (Neptune, 2019).

6. Kognitif dan antisipatori

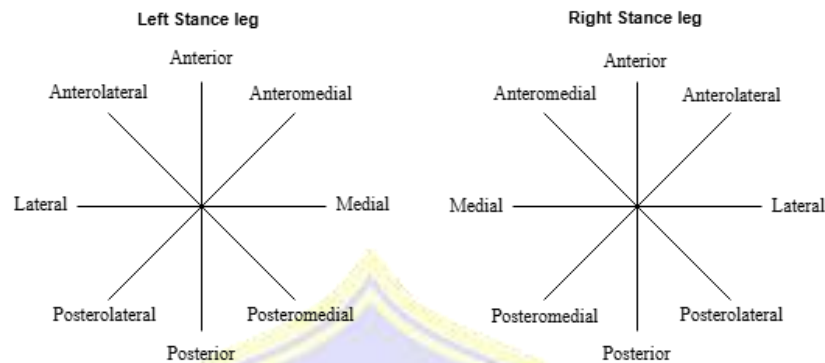
Kognitif dan antisipatori termasuk perhatian, pengalaman gerak, dan *anticipatory postural adjustments*, yang memungkinkan individu memprediksi gangguan dan menyiapkan respons postural sebelum gangguan terjadi, sehingga keseimbangan dapat dipertahankan secara lebih efisien pada situasi dinamis (Behm et al., 2023).

Secara keseluruhan, keseimbangan dinamis merupakan hasil sinergi kompleks antara sistem sensorik, propriosepsi, integrasi saraf pusat, kontrol neuromuskular, strategi biomekanik, dan proses kognitif, yang menjadikannya kapasitas fungsional penting untuk performa olahraga dan pencegahan cedera berbasis bukti ilmiah terkini.

2.6 *Star Excursion Balance Test* (SEBT)

Star Excursion Balance Test (SEBT) merupakan alat asesmen keseimbangan dinamis yang banyak digunakan dalam konteks olahraga dan rehabilitasi untuk mengevaluasi kemampuan kontrol postural fungsional ekstremitas bawah. SEBT dilakukan dengan posisi berdiri satu kaki sebagai kaki tumpu, sementara kaki lainnya menjangkau sejauh mungkin ke beberapa arah (umumnya anterior, posteromedial, dan posterolateral) tanpa kehilangan keseimbangan atau memindahkan kaki tumpu. Tes ini menuntut integrasi berbagai sistem kontrol gerak karena individu harus mempertahankan stabilitas pusat massa di atas *base of support* yang sempit sambil melakukan gerakan menjangkau yang dinamis. Penelitian lima tahun terakhir menegaskan bahwa SEBT merupakan representasi yang valid dari keseimbangan dinamis karena melibatkan komponen proprioseptif, kekuatan dan koordinasi neuromuskular, mobilitas sendi, serta kontrol trunk secara simultan. Tinjauan sistematis terbaru menunjukkan bahwa

performa SEBT sangat sensitif dalam mendeteksi defisit keseimbangan dinamis dan asimetri antar tungkai, yang sering dikaitkan dengan peningkatan risiko cedera ekstremitas bawah pada atlet (Ma et al., 2024).



Gambar 2.5.1 *Stars Excursion Balance Test* (Kanko et al., 2019)

Studi observasional dan eksperimental terkini melaporkan bahwa skor SEBT yang rendah atau adanya asimetri jangkauan antar sisi berhubungan dengan riwayat cedera pergelangan kaki dan lutut, serta mencerminkan gangguan kontrol neuromuskular dan proprioseptif (Tedeschi, 2023). Penelitian lain juga menegaskan bahwa SEBT tidak hanya mengukur keseimbangan, tetapi juga mencerminkan kualitas strategi gerak, seperti kontrol pinggul dan stabilitas trunk, yang sangat relevan dengan tuntutan olahraga dinamis (Pontaga et al., 2024). Oleh karena itu, SEBT dipandang sebagai instrumen asesmen keseimbangan dinamis yang komprehensif, aplikatif, dan berbasis bukti ilmiah terkini, baik untuk skrining risiko cedera, evaluasi performa fungsional, maupun pemantauan hasil program latihan dan rehabilitasi.

2.6.1 Teknik *Star Excursion Balance Test* (SEBT)

Prosedur umum dilakukan dengan menempatkan peserta berdiri pada satu kaki di tengah garis berbentuk bintang yang terdiri dari delapan arah (anterior,

anterolateral, lateral, posterolateral, posterior, posteromedial, medial, dan anteromedial). Peserta kemudian menjangkau sejauh mungkin dengan kaki bebas tanpa kehilangan keseimbangan atau memindahkan kaki tumpuan. Setiap arah dilakukan tiga kali, dan nilai terbaik atau rata-rata digunakan untuk perhitungan skor akhir.

2.6.2 Sistem Penilaian *Star Excursion Balance Test* (SEBT)

Skor SEBT dihitung dengan menormalkan jarak jangkauan terhadap panjang tungkai (*leg length*) peserta, semua performa diukur dan dicatat, administrator tes kemudian dapat menghitung skor performa SEBT atlet menggunakan persamaan sederhana berikut:

- a. Jarak rata-rata di setiap arah (cm) = $\frac{\text{Jangkauan 1} + \text{Jangkauan 2} + \text{Jangkauan 3}}{3}$
- b. Jarak relatif (dinormalisasi) di setiap arah (%) = $\frac{\text{Jarak rata-rata di setiap arah}}{\text{panjang kaki}} \times 100$

Perhitungan ini harus dilakukan untuk kaki kanan dan kiri di setiap arah, sehingga memberi total 16 skor per atlet (Gribble et al., 2013).

2.6.3 Interpretasi data *Star Excursion Balance Test* (SEBT)

Star Excursion Balance Test (SEBT) menggunakan pendekatan kuantitatif dalam mengkategorikan kemampuan keseimbangan dinamis berdasarkan jarak jangkauan yang dicapai peserta saat berdiri dengan satu kaki dan melakukan *reach* ke delapan arah yang berbeda (anterior, anterior-medial, medial, posterior-medial, posterior, posterior-lateral, lateral, dan anterior-lateral), yang selanjutnya dinormalisasi terhadap panjang tungkai untuk mengurangi pengaruh perbedaan ukuran tubuh antar individu.

Nilai *reach* yang lebih jauh mencerminkan kontrol postural dinamis yang lebih baik, sedangkan nilai yang lebih rendah dapat mengindikasikan adanya defisit dalam stabilitas fungsional ekstremitas bawah atau risiko cedera yang lebih tinggi. Untuk interpretasi, jarak jangkauan yang distandarisasi (% dari panjang tungkai) kemudian dibandingkan dengan nilai normatif atau ambang klinis untuk menentukan kategori performa keseimbangan dinamis, seperti keseimbangan normal, menurun, atau berisiko mengalami gangguan neuromuskular (Hyon, Hyouk; Kim, 2014).

Arah	Jarak relatif yang dinormalisasi (dinyatakan sebagai presentase Panjang tungkai bawah)	
	Pria	Wanita
Anterior (A)	79,2 +/- 7,0	76,9 +/- 6,2
Posterior(P)	93,9 +/- 10,5	85,3 +/- 12,9
Medial (M)	97,7 +/- 9,5	90,7 +/- 10,7
Lateral (L)	80,0 +/- 17,5	79,8 +/- 13,7
Anterolateral (AL)	73,8 +/- 7,7	74,7 +/- 7,0
Anteromedial (AM)	85,2 +/- 7,5	83,1 +/- 7,3
Posterolateral (PL)	90,4 +/- 13,5	85,5 +/- 13,2
Posteromedial (PM)	95,6 +/- 8,3	89,1 +/- 11,5

Tabel 2.5.4 Data Nilai Normal *Star Excursion Balance Test*
(CORDUN & ROŞU, 2022)