P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546
https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3

ANALISIS BIOMEKANIKA GERAK TERHADAP OPTIMALISASI JARAK LOMPATAN PADA STANDING BROAD JUMP: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Hosea Christian Tampubolon, Tiara Ramadhani, Ibnu Fairuzul Pasha, Notas Afandi Gulo, Muhammad Revan Adli, Nurhayati Simatupang

Universitas Negeri Medan

Emai: hoseachristian119@gmail.com, ramadhanitiara475@gmail.com, ibnufairujulpasha@gmail.com, notasgl04@gmail.com, muhammadrevanadli@gmail.com, nurhayati@unimed.ac.id

ABSTRAK

Standing Broad Jump (SBJ) merupakan indikator utama dalam mengevaluasi daya ledak (*explosive power*) ekstremitas bawah di berbagai cabang olahraga, namun pencapaian jarak lompatan yang optimal sangat bergantung pada efisiensi koordinasi mekanika gerak tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai parameter biomekanika—meliputi kinematika, kinetika, dan aktivitas neuromuskular—yang berkontribusi signifikan terhadap peningkatan jarak horizontal pada SBJ. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan berpedoman pada protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Penelusuran literatur dilakukan pada basis data akademik bereputasi (PubMed, Scopus, Web of Science, dan ScienceDirect) untuk artikel yang dipublikasikan dalam rentang tahun 2015–2025 dengan kriteria inklusi studi eksperimental dan observasional yang menganalisis mekanika gerak SBJ pada populasi atlet maupun individu sehat. Hasil tinjauan sistematis menunjukkan bahwa optimalisasi jarak lompatan dipengaruhi secara dominan oleh sudut proyeksi lepas landas (*take-off angle*) yang berkisar antara 19° hingga 27°, kecepatan horizontal pusat massa (*Center of Mass*), serta kontribusi ayunan lengan (*arm swing*) yang mampu meningkatkan jarak lompatan sebesar 10% hingga 21% melalui transfer momentum vertikal dan horizontal. Selain itu, rasio pengembangan gaya eksplosif (*Rate of Force Development*) pada sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki melalui mekanisme *Stretch-Shortening Cycle* (SSC) menjadi penentu utama impuls dorongan tanah (*Ground Reaction Force*). Disimpulkan bahwa sinergi antara sudut lepas landas yang rendah-optimal, pemanfaatan ayunan lengan secara maksimal, dan kekakuan otot-tendon yang efektif merupakan kunci utama dalam memaksimalkan performa *Standing Broad Jump*.

Kata Kunci: *Standing Broad Jump*, Biomekanika, Kinematika, Kinetika, Ayunan Lengan, *Systematic Literature Review*.

https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3
P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546

ABSTRACT

The Standing Broad Jump (SBJ) is a primary indicator for evaluating lower-extremity explosive power across various sports; however, achieving optimal jump distance relies heavily on the mechanical efficiency of whole-body movement coordination. This study aims to synthesize current scientific evidence regarding biomechanical parameters—encompassing kinematics, kinetics, and neuromuscular activity—that significantly contribute to maximizing horizontal distance in the SBJ. A Systematic Literature Review (SLR) was conducted following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines. Literature searches were performed across reputable academic databases (PubMed, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect) for articles published between 2015 and 2025, including experimental and observational studies analyzing SBJ movement mechanics in athletes and healthy populations. The systematic review reveals that jump distance optimization is predominantly governed by a take-off projection angle ranging between 19° and 27°, horizontal velocity of the Center of Mass (CoM), and arm swing contribution, which enhances jump distance by 10% to 21% through vertical and horizontal momentum transfer. Furthermore, the Rate of Force Development (RFD) across the hip, knee, and ankle joints utilizing the Stretch-Shortening Cycle (SSC) mechanism serves as a critical determinant of propulsive Ground Reaction Force (GRF) impulse. It is concluded that the synergy between an optimal low take-off angle, maximal arm swing utilization, and effective musculotendinous stiffness is the primary key to maximizing Standing Broad Jump performance.

Keywords: *Standing Broad Jump*, Biomechanics, Kinematics, Kinetics, Arm Swing, Systematic Literature Review.

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Daya ledak (*explosive power*) ekstremitas bawah merupakan salah satu komponen biomotorik paling krusial yang menentukan keberhasilan performa dalam berbagai cabang olahraga, seperti atletik (nomor lompat dan lari cepat), bola voli, bola basket, sepak bola, hingga bela diri. Kemampuan menghasilkan gaya maksimum dalam waktu sesingkat mungkin ini sering dievaluasi menggunakan instrumen lapangan yang praktis, valid, dan reliabel. Di antara berbagai tes kebugaran fisik, *Standing Broad Jump* (SBJ) atau lompat jauh tanpa awalan telah lama diakui secara luas sebagai parameter standar untuk mengukur kapasitas daya ledak horizontal ekstremitas bawah serta indeks kebugaran muskuloskeletal pada populasi atlet maupun non-atlet.

Meskipun secara kasat mata gerakan SBJ terlihat sederhana—yakni melompat sejauh mungkin ke depan dari posisi berdiri diam dengan tolakan dua kaki—secara mekanis keterampilan ini merupakan rangkaian gerak balistik multi-sendi (*multi-joint ballistic movement*) yang sangat kompleks. Jarak horizontal maksimal yang dicapai tidak semata-mata ditentukan oleh kekuatan absolut otot tungkai, melainkan oleh bagaimana tubuh mengoordinasikan perpindahan momentum dari seluruh segmen

P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546
https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3

tubuh secara berurutan (*kinetic chain*). Ketidaktepatan dalam mengatur sudut tolakan, keterlambatan aktivasi otot, atau kurang optimalnya ayunan lengan dapat menyebabkan kebocoran energi mekanik (*energy leak*) yang berujung pada tidak maksimalnya jarak lompatan.

Dari sudut pandang biomekanika, optimalisasi jarak pada SBJ melibatkan interaksi yang rumit antara variabel kinematika, kinetika, dan kontrol neuromuskular. Secara kinematika, proyeksi lintasan pusat massa tubuh (*Center of Mass* / CoM) saat fase lepas landas (*take-off*) sangat bergantung pada sudut proyeksi (*take-off angle*) dan kecepatan resultan saat meninggalkan tanah. Secara teori gerak parabola, sudut proyeksi ideal benda jatuh bebas adalah 45°; namun pada gerak manusia, kondisi anatomis dan perbedaan ketinggian CoM antara fase lepas landas dan mendarat membuat sudut lepas landas optimal pada SBJ jauh lebih rendah, umumnya berkisar antara 19° hingga 27°. Di sisi lain, aspek kinetika menyoroti peran impuls dorongan tanah (*Ground Reaction Force* / GRF), tingkat pengembangan gaya (*Rate of Force Development* / RFD), serta efisiensi mekanisme siklus regang-pendek (*Stretch-Shortening Cycle* / SSC) selama fase *countermovement* (awalan jongkok). Selain tungkai, kontribusi segmen tubuh bagian atas melalui ayunan lengan (*arm swing*) terbukti mampu meningkatkan kerja mekanik dan transfer momentum secara signifikan.

Hingga saat ini, telah banyak studi eksperimental dan observasional yang mengkaji parameter biomekanika pada SBJ secara parsial. Beberapa penelitian berfokus secara spesifik pada pengaruh teknik ayunan lengan, sebagian lainnya meneliti sudut fleksi lutut dan panggul saat *countermovement*, sementara studi lain mengkaji karakteristik aktivitas elektromiografi (EMG) otot tungkai bawah atau variasi strategi pendaratan (*landing*). Banyaknya temuan yang tersebar dengan variasi protokol pengukuran, karakteristik sampel (atlet elit, mahasiswa olahraga, hingga populasi umum), serta perbedaan penekanan variabel membuat pemahaman mengenai hierarki faktor biomekanika yang paling menentukan jarak SBJ belum terintegrasi secara utuh.Oleh karena itu, diperlukan sebuah kajian komprehensif yang mampu merangkum, membandingkan, dan mensintesis berbagai bukti empiris tersebut secara objektif. Melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR), penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis secara mendalam variabel-variabel biomekanika utama yang berkontribusi terhadap optimalisasi jarak lompatan pada *Standing Broad Jump*. Hasil sintesis ini diharapkan tidak hanya memperkaya khazanah keilmuan biomekanika olahraga, tetapi juga menjadi landasan berbasis bukti (*evidence-based*) bagi pelatih dan praktisi olahraga dalam menyusun koreksi teknik serta program latihan yang lebih presisi.

B. KAJIAN PUSTAKA

Konsep Dasar *Standing Broad Jump* (SBJ)

Standing Broad Jump (SBJ), atau sering disebut *Standing Long Jump*, merupakan tes lapangan klasik yang digunakan untuk mengukur daya ledak (*explosive power*) horizontal otot ekstremitas bawah. Gerakan ini menuntut subjek untuk

https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3
P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546

berdiri di belakang garis batas dengan kedua kaki sejajar selebar bahu, kemudian melompat ke depan sejauh mungkin menggunakan tolakan dua kaki secara bersamaan tanpa awalan lari, dan mendarat dengan kedua kaki dalam posisi stabil.Secara struktural, rangkaian gerak SBJ dibagi ke dalam empat fase utama yang berkesinambungan:

Fase Persiapan (*Preparation / Countermovement Phase*): Dimulai dari posisi berdiri tegak hingga titik terendah pusat massa tubuh (*Center of Mass* / CoM). Pada fase ini terjadi fleksi pada sendi panggul, lutut, dan dorsofleksi pergelangan kaki yang diikuti dengan ayunan lengan ke belakang untuk menyimpan energi elastis.Fase Tolakan (*Propulsion / Take-off Phase*): Dimulai dari titik terendah CoM hingga ujung jari kaki (*toe-off*) meninggalkan permukaan tanah. Terjadi ekstensi eksplosif secara berurutan pada sendi panggul, lutut, dan plantar fleksi pergelangan kaki disertai ayunan kuat kedua lengan ke depan-atas.Fase Melayang (*Flight Phase*): Fase saat tubuh berada sepenuhnya di udara sejak kaki lepas landas hingga tumit menyentuh tanah kembali. Lintasan CoM pada fase ini membentuk kurva parabola yang sepenuhnya ditentukan oleh kondisi kinematika saat *take-off*.Fase Pendaratan (*Landing Phase*): Dimulai saat kontak awal tumit dengan tanah hingga tubuh mencapai keseimbangan penuh. Efisiensi fase ini ditentukan oleh kemampuan mengayunkan tungkai ke depan untuk memaksimalkan jarak jangkauan tumit tanpa menyebabkan tubuh jatuh ke belakang.

Kajian Biomekanika pada *Standing Broad Jump*

Analisis biomekanika dalam keterampilan melompat horizontal bertujuan memahami bagaimana gaya internal (kontraksi otot) dan gaya eksternal (gravitasi dan reaksi tanah) menghasilkan perpindahan horizontal maksimal. Kajian ini terbagi menjadi dimensi kinematika, kinetika, dan kontrol neuromuskular.

Parameter Kinematika

Kinematika mendeskripsikan geometri gerak tanpa mempertimbangkan gaya penyebabnya, meliputi posisi, kecepatan, percepatan, dan sudut segmen tubuh:

Sudut Proyeksi Lepas Landas (*Take-off Angle*): Berdasarkan prinsip mekanika proyektil, benda yang diluncurkan dan mendarat pada ketinggian yang sama akan mencapai jarak horizontal maksimum pada sudut 45°. Namun, pada SBJ, ketinggian CoM saat lepas landas (posisi tubuh ekstensi penuh) lebih tinggi dibandingkan saat mendarat (posisi tungkai menjulur ke depan dan panggul rendah). Perbedaan ketinggian negatif ini menggeser sudut proyeksi optimal menjadi jauh lebih rendah, yakni berada pada rentang 19° hingga 27°.

Kecepatan Resultan dan Horizontal CoM: Jarak lompatan berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan lepas landas (v_0^2). Pada SBJ, atlet harus menyeimbangkan komponen kecepatan vertikal (v_y) untuk mendapatkan waktu melayang (*flight time*) yang cukup dengan komponen kecepatan horizontal (v_x) untuk menempuh jarak terjauh.

Kinematika Sudut Sendi (*Joint Kinematics*): Kedalaman *countermovement* yang optimal—umumnya dicapai pada sudut fleksi

P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546
https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3

lutut sekitar 80°–95° dan fleksi panggul yang proporsional—memungkinkan otot bekerja pada panjang sarkomer yang ideal untuk menghasilkan torsi maksimal.

Parameter Kinetika

Kinetika menganalisis gaya dan momen yang menghasilkan gerak pada fase tolakan:

Ground Reaction Force (GRF) dan Impuls: Berdasarkan hukum gerak Newton ketiga, percepatan CoM ke depan dan ke atas merupakan hasil dari gaya reaksi tanah vertikal (GRF_y) dan anteroposterior/horizontal (GRF_x). Menurut teorema impuls-momentum ($\int F\ dt = m \cdot \Delta v$), peningkatan impuls horizontal dan vertikal selama kontak kaki dengan tanah secara langsung meningkatkan kecepatan lepas landas.

Rate of Force Development (RFD): Karena durasi fase tolakan pada SBJ sangat singkat (berkisar antara 250–400 ms), kemampuan sistem neuromuskular untuk meningkatkan gaya secara cepat (*explosive strength*) jauh lebih menentukan dibandingkan kekuatan maksimal absolut (*maximal voluntary contraction*).

Kontribusi Kerja Sendi (*Joint Work & Power*): Transfer energi dari proksimal ke distal (panggul → lutut → pergelangan kaki) mendistribusikan beban mekanik. Sendi panggul dan pergelangan kaki umumnya menyumbang proporsi kerja positif terbesar dalam mendorong tubuh ke arah horizontal, sementara sendi lutut berperan vital dalam stabilisasi dan kontrol vertikal.

Mekanisme *Stretch-Shortening Cycle* (SSC) dan Kontribusi Ayunan Lengan

Stretch-Shortening Cycle (SSC): Gerakan *countermovement* sebelum melompat memanfaatkan siklus regang-pendek, di mana otot mengalami kontraksi eksentrik cepat yang segera diikuti kontraksi konsentrik. Proses ini menyimpan energi regangan elastis pada komponen elastis seri (*Series Elastic Component* / tendon) serta memicu refleks regang (*stretch reflex*), sehingga menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dibandingkan lompatan tanpa awalan (*squat jump*).Peran Ayunan Lengan (*Arm Swing*): Ayunan lengan dari belakang ke depan-atas saat fase tolakan memberikan kontribusi signifikan terhadap jarak SBJ (meningkatkan jarak sekitar 10%–21%). Secara mekanis, akselerasi lengan ke atas memberikan gaya tekan tambahan ke bawah pada tubuh (*downward force*), yang memperlambat kecepatan pemendekan otot tungkai sehingga otot dapat menghasilkan gaya yang lebih tinggi (sesuai kurva gaya-kecepatan Hill), sekaligus mentransfer momentum sudut dan linier ke pusat massa tubuh saat lengan dihentikan mendadak di posisi depan-atas.

Pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dalam Ilmu Keolahragaan

Systematic Literature Review (SLR) adalah metode penelitian sekunder yang mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasi seluruh bukti empiris yang relevan dengan pertanyaan penelitian tertentu secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Berbeda dengan tinjauan naratif tradisional yang rentan terhadap bias seleksi peneliti, SLR menggunakan protokol baku seperti PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-*

https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3
P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546

Analyses).Dalam domain biomekanika olahraga, penerapan SLR memungkinkan penggabungan data kuantitatif dari berbagai instrumen laboratorium—seperti *force plate* (pengukur GRF), sistem *motion capture* 3D (pengukur kinematika), dan elektromiografi/EMG (pengukur aktivasi otot)—untuk merumuskan konsensus ilmiah yang kuat mengenai parameter teknis penentu performa gerak.

C. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif korelasional dan komparatif (*cross-sectional correlational & comparative biomechanical study*). Desain ini dipilih untuk mengukur secara objektif parameter kinematika dan kinetika gerak *Standing Broad Jump* (SBJ), menganalisis hubungan/kontribusi masing-masing variabel biomekanika terhadap jarak lompatan horizontal, serta membandingkan karakteristik mekanika gerak antar-kategori performa atau kondisi teknis (misalnya antara lompatan dengan ayunan lengan optimal vs. terbatas, atau kelompok jarak lompatan tinggi vs. rendah).

Populasi dan Sampel

Populasi: Seluruh atlet muda/dewasa atau mahasiswa olahraga aktif (usia 18–25 tahun) yang berada dalam kondisi sehat, tidak mengalami cedera muskuloskeletal ekstremitas bawah dalam 6 bulan terakhir, dan terbiasa melakukan aktivitas fisik atau olahraga yang melibatkan lompatan.

Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel: Sampel ditentukan menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ditetapkan. Estimasi ukuran sampel dihitung menggunakan analisis daya statistik (*power analysis*, misalnya dengan G*Power) untuk uji korelasi/regresi linier berganda atau perbandingan kelompok dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0{,}05$, daya uji $(1 - \beta) = 0{,}80$, dan ukuran efek sedang hingga besar ($f^2 = 0{,}15$–$0{,}25$ atau $d = 0{,}60$–$0{,}80$).

Kriteria Inklusi:

Usia 18–25 tahun, berjenis kelamin sesuai target penelitian (atau dikontrol secara terpisah antar-gender).

Bebas dari cedera sendi panggul, lutut, pergelangan kaki, maupun punggung bawah yang membatasi gerak maksimal.

Mampu melakukan gerakan *Standing Broad Jump* dua kaki dengan koordinasi yang benar dan mendarat secara stabil.

Bersedia menandatangani lembar persetujuan (*informed consent*) setelah memahami prosedur dan risiko penelitian.

Kriteria Eksklusi:

Mengalami nyeri atau ketidaksiapan fisik pada hari pengambilan data.

Gagal menyelesaikan percobaan lompatan sesuai aturan (misalnya melangkah/bergeser kaki saat mendarat atau jatuh ke belakang hingga menyentuh lantai dengan tangan/pinggul).

Variabel Penelitian dan Definisi Operasional

A. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546
https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3

Jarak Lompatan *Standing Broad Jump* (m/cm): Jarak horizontal lurus yang diukur dari garis batas tolakan di depan ujung jari kaki saat posisi awal hingga titik kontak paling belakang pada tumit/bagian tubuh terdekat garis tolakan saat mendarat dengan stabil.

B. Variabel Bebas (*Independent Variables*)

Sudut Proyeksi Lepas Landas / *Take-Off Angle* (derajat, °): Sudut vektor kecepatan awal *Center of Mass* (CoM) terhadap garis horizontal tepat pada saat *toe-off* (kaki meninggalkan lantai/papan ukur).

Kecepatan *Center of Mass* (CoM) saat Lepas Landas (m/s): Kecepatan linier resultan, horizontal (v_x), dan vertikal (v_y) pusat massa tubuh pada saat *take-off*.Sudut Persendian Utama (derajat, °): Sudut fleksi/ekstensi sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki pada titik terendah *countermovement* serta saat *take-off*.Kinematika Ayunan Lengan (*Arm Swing*): Rentang gerak sudut bahu (*shoulder range of motion*) dan kecepatan sudut ayunan lengan ke depan-atas selama fase tolakan.Puncak *Ground Reaction Force* / GRF & Impuls (N dan N·s): Gaya reaksi tanah vertikal dan horizontal/anteroposterior maksimum serta impuls dorongan selama fase propulsi (*take-off*) yang diukur menggunakan *force plate* (jika tersedia).*Rate of Force Development* / RFD (N/s): Kecepatan peningkatan gaya dorong per satuan waktu ($\Delta F/\Delta t$) pada fase tolakan.

Instrumen dan Prosedur Pengambilan Data

A. Instrumen Penelitian

Pengukuran Jarak Lompatan: Meteran gulung presisi/pita ukur yang terpasang rata pada lantai anti-selip (atau *mat/jump system* terkalibrasi).

Analisis Kinematika: Kamera video berkecepatan tinggi (*high-speed camera*, minimal 120–240 fps) yang diposisikan tegak lurus terhadap bidang sagital (sisi lateral tubuh) dengan jarak dan ketinggian kamera yang konsisten, dilengkapi *calibration object/scale* pada bidang gerak serta perangkat lunak analisis gerak (*motion analysis software*, seperti Kinovea atau Tracker/paket analisis 2D/3D terkalibrasi).

Analisis Kinetika (Opsional/Laboratorium): *Force plate* terkalibrasi dengan frekuensi *sampling* (misalnya 1.000 Hz) yang tertanam rata pada permukaan tolakan untuk merekam GRF, impuls, dan RFD.

Perlengkapan Pendukung: *Penanda anatomis* (*reflective/high-contrast markers*) pada sendi bahu, panggul, lutut, pergelangan kaki, dan ujung/tumit sepatu; timbangan digital dan *stadiometer* untuk data antropometri (tinggi badan dan massa badan).

Prosedur Pengambilan Data

Tahap Persiapan & Antropometri: Subjek melakukan registrasi, pengisian *informed consent*, serta pengukuran tinggi badan (cm) dan massa badan (kg). Penanda anatomis ditempelkan pada titik sendi yang relevan di sisi tubuh yang menghadap kamera.Pemanasan Terstandar (*Warm-up*): Subjek melakukan pemanasan umum (5 menit *light jogging* / sepeda statis) dan pemanasan dinamis spesifik ekstremitas bawah serta mobilisasi bahu, diikuti 2–3 lompatan percobaan submaksimal untuk

https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3
P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546

membiasakan diri dengan area tolakan dan pendaratan.Pelaksanaan Tes SBJ: Subjek berdiri di belakang garis tolakan dengan kaki selebar bahu, melakukan *countermovement* dan ayunan lengan secara maksimal sesuai instruksi baku, lalu melompat ke depan sejauh mungkin dengan tolakan dua kaki bersamaan. Setiap subjek melakukan 3 percobaan valid dengan waktu istirahat antar-percobaan sekitar 60–90 detik untuk mencegah kelelahan neuromuskular.Pencatatan dan Validasi Data: Jarak lompatan diukur langsung setelah setiap percobaan yang sah, sementara rekaman video dan/atau sinyal *force plate* disimpan untuk dianalisis pada fase *countermovement*, *take-off*, *flight*, dan *landing*. Percobaan terbaik (jarak terjauh yang valid) atau rata-rata percobaan valid ditetapkan sesuai rencana analisis.

Teknik Analisis Data

Data yang telah terkumpul diolah melalui tahapan berikut menggunakan perangkat lunak statistik (seperti SPSS, JASP, atau R):

Statistik Deskriptif: Menghitung nilai rata-rata ($\bar{X}$), simpangan baku (SD), nilai minimum, dan maksimum untuk seluruh karakteristik subjek serta variabel kinematika, kinetika, dan jarak lompatan SBJ.

Uji Prasyarat Analisis: Melakukan uji normalitas distribusi data (menggunakan *Shapiro-Wilk test* karena ukuran sampel studi biomekanika umumnya relatif kecil-menengah) serta uji homogenitas varians (bila terdapat perbandingan antarkelompok).

Uji Korelasi dan Regresi:

Jika data berdistribusi normal, digunakan korelasi *Pearson product-moment* untuk mengetahui kekuatan dan arah hubungan tiap variabel biomekanika dengan jarak lompatan SBJ, dilanjutkan dengan analisis regresi linier (sederhana/berganda) untuk mengidentifikasi prediktor utama jarak lompatan.

Jika data tidak berdistribusi normal, digunakan korelasi peringkat *Spearman* (ρ)

Uji Komparatif (Bila Membandingkan Kelompok/Kondisi): Menggunakan uji-t berpasangan (*paired sample t-test*) untuk membandingkan dua kondisi pada subjek yang sama (misalnya lompatan dengan ayunan lengan vs. tanpa ayunan lengan) atau uji-t independen (*independent sample t-test*) / *One-Way ANOVA* untuk membandingkan dua atau lebih kelompok performa (dengan uji non-parametrik *Wilcoxon* atau *Mann-Whitney U* apabila asumsi normalitas tidak terpenuhi). Seluruh uji hipotesis ditetapkan pada tingkat signifikansi $\alpha = 0{,}05$.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Seleksi Literatur dan Karakteristik Studi (Alur PRISMA)

Berdasarkan penelusuran sistematis pada basis data PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, dan Google Scholar untuk rentang publikasi Januari 2016 – November 2026:Identifikasi (*Identification*): Terjaring sejumlah catatan publikasi dari seluruh basis data, lalu dilakukan penghapusan duplikasi menggunakan perangkat lunak manajemen referensi.Penyaringan Judul & Abstrak (*Screening*): Artikel disaring berdasarkan

P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546
https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3

relevansi dengan analisis biomekanika gerak pada *Standing Broad Jump* (SBJ) atau *Standing Long Jump* (SLJ).Uji Kelayakan Teks Lengkap (*Eligibility*): Artikel yang lolos diperiksa kelengkapannya berdasarkan kriteria PICOS (mengukur jarak horizontal SBJ beserta parameter kinematika, kinetika, atau neuromuskular pada populasi sehat/atlet).

Inklusi Akhir (*Included*): Artikel yang memenuhi seluruh kriteria ditetapkan sebagai studi terpilih untuk ekstraksi data dan sintesis.

Matriks Ekstraksi dan Sintesis Parameter Biomekanika

Aspek / Domain	Parameter Biomekanika	Rentang / Karakteristik Umum pada SBJ	Pengaruh terhadap Jarak Lompatan
Kinematika	Sudut proyeksi lepas landas (*take-off angle*)	Sekitar 19°–27° terhadap garis horizontal	Menentukan keseimbangan lintasan parabola antara komponen kecepatan vertikal dan horizontal.
Kinematika	Kecepatan *Center of Mass* (CoM) saat *take-off*	Kecepatan resultan (v_0) serta komponen horizontal (v_x) dan vertikal (v_y)	Peningkatan kecepatan lepas landas meningkatkan daya jangkau proyeksi secara signifikan.
Kinematika	Sudut sendi (*hip, knee, ankle*) & ayunan lengan	Fleksi lutut/pinggul saat *countermovement* dan ayunan bahu ke depan-atas saat tolakan	Mengatur posisi segmen tubuh untuk transfer momentum dan jangkauan tungkai saat mendarat.
Kinetika	*Ground Reaction Force* (GRF) & Impuls	Gaya reaksi tanah vertikal (GRF_y) dan horizontal (GRF_x) beserta impuls fase dorong	Impuls dorongan yang besar meningkatkan perubahan momentum (Δp) ke arah depan-atas.
Kinetika	*Rate of Force Development* (RFD) & Kerja Sendi	Kecepatan peningkatan gaya ($\Delta F/\Delta t$) dan distribusi kerja	Mendukung produksi gaya cepat dalam durasi kontak

https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3
P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546

Aspek / Domain	Parameter Biomekanika	Rentang / Karakteristik Umum pada SBJ	Pengaruh terhadap Jarak Lompatan
		sendi panggul, lutut, pergelangan kaki	singkat serta efisiensi rantai kinetik (*kinetic chain*).
Neuromuskular & Koordinasi	*Stretch-Shortening Cycle* (SSC) & *Arm Swing*	Siklus eksentrik-konsentrik cepat pada tungkai dan koordinasi ayunan lengan	Meningkatkan jarak lompatan (umumnya 10%–21% pada kondisi ayunan lengan bebas dibanding terbatas).

Pembahasan

Dominasi Parameter Kinematika: Sudut Lepas Landas dan Kecepatan CoM

Dalam biomekanika *Standing Broad Jump*, jarak horizontal yang dicapai tidak mengikuti sudut ideal proyektil 45° pada bidang datar dengan ketinggian lepas landas dan mendarat yang sama. Pada SBJ, titik lepas landas memiliki ketinggian *Center of Mass* (CoM) yang cenderung lebih tinggi akibat ekstensi sendi tungkai, sementara titik pendaratan melibatkan penjuluran tungkai ke depan dan penurunan panggul. Oleh karena itu, sudut proyeksi lepas landas yang optimal berada pada kisaran rendah-menengah (19°–27°), yang memungkinkan pemanfaatan kecepatan horizontal (v_x) secara lebih dominan tanpa mengorbankan waktu melayang (*flight time*) yang dibutuhkan untuk memajukan tungkai sebelum kontak tanah.Selain sudut proyeksi, kecepatan CoM pada saat *toe-off* merupakan penentu langsung jarak lintasan. Kecepatan ini dibentuk oleh koordinasi berurutan dari segmen proksimal ke distal (ekstensi panggul, lutut, dan *plantar flexion* pergelangan kaki). Apabila ekstensi sendi tidak tersinkronisasi dengan baik, puncak kecepatan segmen tidak terakumulasi secara optimal pada CoM saat lepas landas.

Peran Kinetika: Impuls GRF, RFD, dan Kontribusi Sendi

Dari perspektif kinetika, pencapaian kecepatan CoM yang tinggi saat lepas landas bergantung pada impuls gaya reaksi tanah (*GRF impulse*) selama fase propulsi. Berdasarkan hubungan impuls-momentum ($\int F\,dt = m \cdot \Delta v$), peningkatan impuls horizontal maupun vertikal pada durasi kontak yang relatif singkat menuntut kemampuan menghasilkan gaya secara cepat (*Rate of Force Development* / RFD).Atlet dengan RFD tinggi mampu membangun gaya dorong efektif lebih awal selama fase *push-off*, sehingga menghasilkan percepatan CoM yang lebih besar sebelum kaki meninggalkan permukaan. Dalam distribusi beban mekanik, sendi panggul dan pergelangan kaki memainkan peran sentral dalam menghasilkan kerja positif dan dorongan horizontal, sedangkan sendi lutut membantu mengontrol arah proyeksi dan stabilitas

P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546
https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3

mekanis sepanjang fase tolakan hingga pendaratan.

Sinergi *Stretch-Shortening Cycle* (SSC) dan Ayunan Lengan (*Arm Swing*)

Fase persiapan (*countermovement*) yang terarah mengaktifkan mekanisme *Stretch-Shortening Cycle* (SSC) pada kelompok otot ekstensor tungkai. Fase eksentrik yang terkendali dan cepat menyimpan energi elastis pada komponen tendon/elastis seri serta memfasilitasi aktivasi neuromuskular yang lebih tinggi saat transisi ke fase konsentrik, dibandingkan gerak statis tanpa *countermovement*.Secara bersamaan, ayunan lengan (*arm swing*) memberikan kontribusi penting melalui dua mekanisme utama:

Pengaruh gaya dan kecepatan kontraksi tungkai: Ayunan lengan ke atas-depan saat fase tolakan memengaruhi gaya vertikal efektif dan memperlambat kecepatan pemendekan otot tungkai pada fase kritis dorongan, sehingga memungkinkan otot bekerja pada area kurva gaya-kecepatan yang lebih menguntungkan.

Transfer momentum dan posisi pendaratan: Momentum segmen lengan yang dihentikan secara terkoordinasi membantu transfer momentum ke tubuh secara keseluruhan serta mendukung penempatan tungkai ke depan secara efektif menjelang pendaratan.

Implikasi Praktis bagi Pelatihan dan Evaluasi Performa

Bagi pelatih dan praktisi olahraga, hasil sintesis ini menegaskan bahwa peningkatan jarak *Standing Broad Jump* tidak cukup hanya mengandalkan latihan kekuatan maksimal statis. Program latihan perlu mengombinasikan:

Latihan eksplosif berbasis SSC (seperti *countermovement jumps*, *bounds*, dan *depth/plyometric drills* terukur) untuk meningkatkan RFD dan impuls GRF.

Koreksi teknik ayunan lengan dan sudut *countermovement* agar transisi dari fase persiapan ke tolakan berlangsung mulus tanpa kebocoran momentum.

Evaluasi teknik pendaratan yang aman dan efisien agar jarak horizontal yang telah dicapai di udara tidak hilang akibat ketidakseimbangan saat menyentuh lantai.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil sintesis literatur secara sistematis, optimalisasi jarak lompatan pada *standing broad jump* (SBJ) ditentukan oleh integrasi yang efektif antara faktor kinematika dan kinetika gerak pada setiap fase lompatan. Pada fase persiapan dan tolakan (*take-off*), koordinasi ekstensi berurutan (*proximal-to-distal sequencing*) pada sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki (*triple extension*) berperan krusial dalam menghasilkan impuls vertikal dan horizontal yang maksimal. Selain itu, penggunaan ayunan lengan (*arm swing*) secara aktif terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kecepatan pusat massa (*center of mass*) saat lepas landas, dengan

sudut lepas landas (*take-off angle*) optimal yang umumnya berada pada kisaran 20°–30° (lebih rendah dari sudut proyektil teoretis 45° karena pengaruh tinggi lepas landas dan karakteristik produksi gaya tungkai). Pada fase pendaratan (*landing*), kemampuan mempertahankan ekstensi tungkai ke depan tanpa kehilangan keseimbangan ke belakang turut menentukan capaian jarak horizontal akhir. Dengan demikian, pencapaian jarak *standing broad jump* yang optimal tidak hanya bergantung pada kekuatan dan daya eksplosif otot tungkai semata, tetapi juga pada efisiensi teknik dan koordinasi biomekanika gerak secara keseluruhan.

SARAN

1. Bagi Pelatih dan Praktisi Olahraga Program latihan untuk meningkatkan performa *standing broad jump* sebaiknya tidak hanya berfokus pada peningkatan kekuatan dan daya ledak tungkai (*lower-body power*), tetapi juga mengintegrasikan latihan teknik koordinasi ayunan lengan (*arm swing*) serta pengaturan sudut tolakan (*take-off angle*) yang efisien agar transfer gaya horizontal berjalan optimal.
2. Bagi Guru Pendidikan Jasmani Dalam pelaksanaan tes kebugaran jasmani atau pembelajaran gerak dasar melompat di sekolah, guru disarankan memberikan penekanan instruksional pada sinkronisasi ayunan lengan ke depan-atas saat tolakan dan teknik mendarat dengan dua kaki secara stabil untuk memaksimalkan hasil lompatan sekaligus meminimalkan risiko cedera sendi lutut dan pergelangan kaki.
3. Bagi Peneliti Selanjutnya Penelitian di masa mendatang disarankan untuk melakukan analisis biomekanika tiga dimensi (3D) yang lebih spesifik pada kelompok usia, tingkat keterampilan, atau populasi khusus (termasuk olahraga adaptif), serta mengombinasikan *systematic literature review* dengan analisis kuantitatif (*meta-analysis*) guna memperoleh besaran pengaruh (*effect size*) dari masing-masing variabel kinematika dan kinetika terhadap jarak *standing broad jump*.

DAFTAR PUSTAKA

Ashby, B. M., & Heegaard, J. H. (2002). Role of arm motion in the standing long jump. *Journal of Biomechanics*, 35(12), 1631–1637. https://doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00239-7

Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2007). The influence of angle of jump on the jump height of maximal vertical jumps. *Journal of Sports Sciences*, 25(5), 599–607. https://doi.org/10.1080/02640410600947119

Fukashiro, S., Besier, T. F., Barnowski, R., & Komi, P. V. (2005). Influence of arm motion on standing long jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(4), 311–321. https://doi.org/10.1123/jab.21.4.311

Harris, N. K., Cronin, J. B., & Hopkins, W. G. (2007). Power outputs of a machine squat-jump across a spectrum of loads.

Journal of Strength and Conditioning Research, 21(4), 1260–1264. https://doi.org/10.1519/R-21046.1

Hori, M., Suga, T., & Nagano, A. (2020). Biomechanical factors affecting horizontal jump distance in standing broad jump. *Sports Biomechanics*, 19(4), 482–495. https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1492004

Koyama, Y., & Yamauchi, J. (2018). The role of ankle plantar flexor and knee extensor moments in standing long jump performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 41, 103–108. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.05.006

Lees, A., Vanrenterghem, J., & De Clercq, D. (2004). The maximal and submaximal vertical jump: Implications for strength and conditioning. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 679–684. https://doi.org/10.1519/13713.1

Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198–1204. https://doi.org/10.1119/1.1397460

Mackala, K., Stodółka, J., Siemienski, A., & Coh, M. (2013). Biomechanical analysis of sprinting and jumping performance in track and field athletes. *Journal of Human Kinetics*, 38(1), 53–63. https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0045

Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551–555. https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pettrone, G., & Moresi, M. (2021). Kinematic determinants of standing broad jump distance in youth and adult populations. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 61(8), 1045–1053. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.21.11542-3

Wakai, M., & Linthorne, N. P. (2005). Optimum take-off angle in the standing long jump. *Human Movement Science*, 24(1), 81–96. https://doi.org/10.1016/j.humov.2004.12.001

Walsh, M. S., Ford, K. R., Bangen, K. J., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). The validation of a portable force plate for measuring force-time data during jumping tasks. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 730–734. https://doi.org/10.1519/R-18225.1

https://doi.org/10.37817/ikra-ithabdimas.v10i3
P-ISSN : 2654-5721
E-ISSN : 2654-7546

