

Analisis Biomekanika Gerak Anggota Tubuh Atas pada Jump Servis dan Spike dalam Permainan Bola Voli

Salmon Runesi^{1*}, Michael Johannes Hadiwijaya Louk¹, Ronal Dwi Ardian Fufu¹ Fera Ratna Dewi Siagian¹ Erwin Sarnoto Neolaka¹, Joppi Huwae²

¹Program Studi Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Cendana, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. ²Universitas San Pedro, Nusa Tenggara Timur, Indonesia.

*Correspondence: runesi.salmon@staf.undana.ac.id

Abstract

This research was conducted in March–May 2025 at Nusa Cendana University (UNDANA), Kupang, with the aim of analyzing the biomechanics of upper limb movements in two basic volleyball techniques, namely jump serve and spike. This research began from the importance of understanding biomechanics in improving performance while preventing shoulder and elbow injuries in university volleyball athletes. The research method used a quantitative descriptive approach with a high-speed video-based motion analysis technique (240 fps) analyzed using Kinovea software. The research sample consisted of 20 volleyball athletes from UKM UNDANA (10 male and 10 female) selected by purposive sampling. Parameters included joint angles, arm swing speed, and upper body segment momentum. The results showed that the optimal shoulder angle in the spike ($165^\circ \pm 4.1$) was greater than the jump serve ($155^\circ \pm 3.6$), with a higher arm swing speed in the spike (18.2 m/s \pm 1.3) than the serve (14.5 m/s \pm 1.1). The arm momentum value for the spike ($7.8 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0.9$) was also greater than the serve ($6.2 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0.7$). An independent t-test showed a significant difference ($p < 0.05$) in these three parameters. In conclusion, the spike exerted greater shoulder tension, a more explosive swing speed, and greater momentum than the jump serve. These results suggest that coaches should design exercises that synchronize movement and strengthen the shoulder muscles.

Keywords: Biomechanics; volleyball; jump serve; spike; upper limb movement

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis biomekanika gerak anggota tubuh atas pada dua teknik dasar permainan bola voli, yaitu *jump serve* dan *spike*. Penelitian ini berangkat dari pentingnya pemahaman biomekanika dalam meningkatkan performa sekaligus mencegah cedera bahu dan siku pada atlet voli. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan teknik *motion analysis* berbasis video berkecepatan tinggi (240 fps) yang dianalisis menggunakan perangkat lunak Kinovea. Sampel penelitian terdiri dari 20 atlet bola voli UKM UNDANA (10 putra dan 10 putri) yang dipilih secara purposive sampling. Parameter yang dianalisis mencakup sudut sendi, kecepatan ayunan lengan, dan momentum segmen tubuh atas. Hasil menunjukkan bahwa sudut bahu optimal pada *spike* ($165^\circ \pm 4,1$) lebih besar dibandingkan *jump serve* ($155^\circ \pm 3,6$), dengan kecepatan ayunan lengan lebih tinggi pada *spike* (18,2 m/s \pm 1,3) dibanding *serve* (14,5 m/s \pm 1,1). Nilai momentum lengan pada *spike* ($7,8 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,9$) juga lebih besar dibanding *serve* ($6,2 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,7$). Uji *t* independen menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada ketiga parameter tersebut. Kesimpulannya, *spike* menuntut fleksibilitas bahu lebih tinggi, kecepatan ayunan lebih eksplosif, dan momentum lebih besar dibanding *jump serve*.

Kata kunci: Biomekanika; bola voli; jump serve; spike; gerak anggota tubuh atas

Received: 25 September 2025 | Revised: 2, 8, 13 Oktober, 10 November 2025

Accepted: 15 November 2025 | Published: 23 November 2025



Jurnal Porkes is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Pendahuluan

Permainan bola voli merupakan salah satu cabang olahraga paling populer di dunia yang menuntut kombinasi keterampilan teknik, taktik, serta kondisi fisik yang prima (Affandi et al., 2020). Dua teknik dasar yang sangat menentukan jalannya pertandingan adalah *servis* dan *spike*. *Spike* merupakan tindakan ofensif paling menentukan dalam voli modern efisiensi serangan yang ditentukan oleh kecepatan bola, sudut masuk, dan penempatan berhubungan langsung dengan probabilitas mencetak poin serta *rally outcome* pada level elite (Pawlak & Mroczek, 2023). Gerakan *spike* yang efektif memerlukan transfer energi yang efisien dari tungkai bawah menuju batang tubuh, hingga ke lengan dan tangan (Rahman et al., 2025).

Ketidakseimbangan atau gangguan pada salah satu mata rantai dalam sistem kinetik tersebut dapat mengurangi keefektifan gerakan dan meningkatkan risiko cedera (Abbas et al., 2024). Variabilitas kecepatan *spike* dijelaskan secara signifikan oleh profil *force velocity* (F–V) atlet; misalnya, *Fo vertical jump*, *Vo sprint*, dan output *bench throw* berkorelasi dengan kecepatan bola (Baena-Raya et al., 2021). Hal ini menegaskan bahwa kekuatan dan daya sistemik dari kaki hingga lengan atas berkontribusi langsung terhadap kecepatan bola (Gupta et al., 2021) sementara itu, *servis* juga berperan strategis sebagai senjata ofensif yang mampu menghasilkan poin langsung (*ace*) maupun memaksa lawan melakukan penerimaan buruk.

Jump serve diketahui menghasilkan kecepatan bola lebih tinggi dibandingkan jenis servis lain karena memanfaatkan momentum angular selama fase udara (Liu et al., 2024). Kecepatan lengan saat kontak dengan bola berhubungan positif dengan momentum angular lengan non-dominan, *forearm*, dan *hand*, yang mencerminkan kompleksitas koordinasi biomekanik tubuh bagian atas (Cavedon et al., 2024). Baik *spike* maupun *servis* menuntut integrasi gerak anggota tubuh atas terutama *shoulder*, *elbow*, dan *wrist* yang optimal untuk menghasilkan kekuatan, akurasi, serta kecepatan bola (Basuki & Kusuma, 2025). Dari perspektif biomekanika, dua keterampilan ofensif tersebut tidak hanya menentukan efektivitas serangan, tetapi juga berkaitan erat dengan risiko cedera akibat beban repetitif dan gaya rotasional tinggi pada sendi bahu (Reeser et al., 2010).

Oleh karena itu, analisis biomekanika gerak anggota tubuh atas pada *jump servis* dan *spike* menjadi penting dalam memahami mekanisme performa optimal serta strategi pencegahan cedera yang berbasis bukti ilmiah. Studi biomekanika modern menyoroti pentingnya pemahaman terhadap *kinematika* (deskripsi gerakan) dan *kinetika* (analisis gaya penyebab gerakan) untuk mendukung efisiensi teknik dan keselamatan atlet (Lee et al., 2024). Penelitian terdahulu menunjukkan adanya perbedaan biomekanika signifikan antara berbagai jenis *servis* dan *spike*. Misalnya, *spike jump* menghasilkan gaya rotasi bahu lebih besar dibandingkan *float serve* atau *roll shot* (Reeser et al., 2010).

Selain itu, faktor jenis kelamin turut memengaruhi karakteristik biomekanika. Studi (Fuchs et al., 2021; Wang et al., 2024) menemukan bahwa profil *force velocity* dan kapasitas mekanik pemain berhubungan dengan kecepatan *spike* dan *serve*, serta menunjukkan adanya variasi dalam strategi transisi dan kontribusi gerak lengan antara atlet pria dan wanita. Perbedaan ini tidak hanya bersumber dari kekuatan otot semata, melainkan juga dari koordinasi teknis dan pola *energy transfer* yang berbeda. Namun demikian, kajian komprehensif yang menganalisis secara bersamaan biomekanika gerak anggota tubuh atas pada teknik *jump servis* dan *spike* dalam konteks atlet Indonesia masih sangat terbatas.

Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada sampel atlet internasional dengan kondisi fasilitas laboratorium canggih. Kondisi tersebut menimbulkan *research gap* dalam konteks penerapan praktis bagi pembinaan olahraga di Indonesia, yang memerlukan pendekatan analisis berbasis video dan perangkat lunak biomekanika yang lebih aplikatif di lapangan. Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah (1) bagaimana pola sudut gerakan, kecepatan segmen, dan momentum gerak anggota tubuh atas saat melakukan *servis* dan *spike* bola voli, dan (2) sejauh mana perbedaan karakteristik biomekanika antara kedua teknik tersebut dapat digunakan sebagai dasar pengembangan metode latihan dan pencegahan cedera bagi atlet voli di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis secara kuantitatif sudut gerakan, kecepatan segmen, serta momentum anggota tubuh atas pada saat *servis* dan *spike* bola voli. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu kepelatihan olahraga serta menjadi acuan empiris dalam pembinaan dan pencegahan cedera pada atlet bola voli Nasional.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan desain komparatif. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh atlet bola voli dari Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Universitas Nusa Cendana (UNDANA), Kupang. Sampel penelitian terdiri dari 20 atlet bola voli aktif (10 putra, 10 putri) UKM UNDANA yang dipilih secara purposive sampling dengan kriteria (1) usia 18-23 tahun, (2) pengalaman bermain minimal 3 tahun, (3) bebas cedera bahu/siku dalam enam bulan terakhir. Instrumen penelitian meliputi kamera high-speed 240 fps, marker reflektif pada bahu, siku, pergelangan, dan perangkat lunak Kinovea. Analisis mencakup pengukuran sudut sendi ($^{\circ}$), kecepatan ayunan (m/s), dan momentum lengan ($\text{kg}\cdot\text{m/s}$), di mana momentum dihitung menggunakan rumus: $p = m_s \times v_p = m_s \times v$ dengan m_s = massa segmen lengan (dihitung berdasarkan persentase massa tubuh menurut Dempster, 1955) dan v = kecepatan linear segmen. Reliabilitas pengukuran diuji melalui intra-class correlation coefficient (ICC = 0,91) dengan dua pengamat. Validitas instrumen dikonfirmasi melalui expert judgment oleh dua dosen biomekanika. Analisis data meliputi statistik deskriptif (mean, SD) dan uji beda t-test independent sample ($\alpha = 0,05$) untuk membandingkan variabel antara jump serve dan spike

Tabel 1. Norma penilaian parameter biomekanika

| No | Parameter | Alat Ukur | Sekala Pengukuran | Kategori Penilaian | Interpretasi |
|----|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--|---|
| 1 | Sudut Ekstensi Bahu | Software Kinovea | Drajet ($^{\circ}$) | 150 $^{\circ}$ -170 $^{\circ}$ <150 $^{\circ}$ >170 $^{\circ}$ | Rentang optimal untuk gerakan smash Terbatasnya fleksibilitas bahu Hipermobilitas berisiko cedera |
| 2 | Kecepatan Ayunan Lengan | Analisis video 240 fps | Meter/detik (m/s) | 17-20 m/s 14-17 m/s <14 m/s | Kecepatan elite Kecepatan menengah Kecepatan rendah perlu peningkatan |
| | Momentum Segmen Tubuh Atas | Rumus $p = m_s \times v$ | $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ | 7,0-8,5 $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ | Momentum optimal |

| | |
|----------------|-----------------|
| 5,5–7,0 kg·m/s | Momentum sedang |
| <5,5 kg·m/s | Momentum rendah |

Tabel 2. Norma kualitas data video analysis

| Aspek Kualitas | Kriteria Baik | Kriteria Kurang | Tindakan |
|-------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|
| Resolusi Video | 240 fps, jelas | <120 fps, buram | Ulangi perekaman |
| Posisi Marker | Terlihat jelas | Tertutup/terhalang | Koreksi posisi |
| Angle Pengambilan | 90° terhadap gerakan | Sudut miring >30° | Sesuaikan posisi kamera |
| Pencahaayaan | Adekuat, tanpa silau | Gelap/overexposure | Atur lighting |

Tabel 3. Norma Penilaian Statistik

| Parameter Statistik | Nilai Ambang | Interpretasi | Keputusan Penelitian |
|------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|
| Nilai p (signifikansi) | p < 0,05 | Perbedaan signifikan | H ₀ ditolak |
| | p ≥ 0,05 | Perbedaan tidak signifikan | H ₀ diterima |
| t-value | > t-tabel | Signifikan | Terdapat perbedaan nyata |
| | ≤ t-tabel | Tidak signifikan | Tidak ada perbedaan nyata |
| I CC (Reliabilitas) | 0,90–1,00 | Reliabilitas sangat baik | Data sangat konsisten |
| | 0,70–0,89 | Reliabilitas baik | Data konsisten |
| | <0,70 | Reliabilitas kurang | Perlu pengukuran ulang |

Hasil

Analisis biomekanika dilakukan terhadap dua teknik dasar bola voli, yakni jump serve dan spike, menggunakan pendekatan motion analysis berbasis video high-speed camera (240 fps). Data dianalisis menggunakan perangkat lunak Kinovea 0.9.6, dengan fokus pada tiga parameter utama, yaitu sudut sendi bahu, kecepatan ayunan lengan, dan momentum segmen tubuh atas. Sampel terdiri dari 20 atlet bola voli UKM UNDANA (10 putra dan 10 putri) yang aktif mengikuti kejuaraan tingkat universitas dan regional. Tiap subjek melakukan tiga kali percobaan pada masing-masing teknik, kemudian nilai rata-rata diambil untuk analisis statistik menggunakan uji independent samples t-test ($\alpha = 0,05$). Analisis parameter biomekanika pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Analisis perbandingan parameter biomekanika antara spike dan jump serve

| No | Parameter Biomekanika | Teknik Spike (Mean ± SD) | Teknik Jump Serve (Mean ± SD) | t-value | p-value | Keterangan Statistik |
|----|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------------------------|
| 1 | Sudut Ekstensi Maksimal Bahu (°) | 165° ± 4,1 | 155° ± 3,6 | 5,28 | 0,0001 | Signifikan ($p < 0,05$) |
| 2 | Kecepatan Ayunan Lengan (m/s) | 18,2 ± 1,3 | 14,5 ± 1,1 | 7,14 | 0,000 | Signifikan ($p < 0,05$) |
| 3 | Momentum Segmen Tubuh Atas (kg·m/s) | 7,8 ± 0,9 | 6,2 ± 0,7 | 4,83 | 0,002 | Signifikan ($p < 0,05$) |

Analisis tambahan menunjukkan bahwa atlet putra memiliki kecepatan ayunan dan momentum yang lebih tinggi dibanding atlet putri, meskipun pola gerak relatif sama. Putra (spike): 19,1 m/s; momentum 8,2 kg·m/s Putri (spike) 17,3 m/s; momentum 7,1 kg·m/s. Penelitian ini juga mengungkap perbedaan performa antara atlet putra dan putri.

Tabel 5. Perbedaan performa antar atlet putra dan putri

| Parameter | Spike (Putra) | Spike (Putri) | Jump Serve (Putra) | Jump Serve (Putri) |
|-------------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Kecepatan (m/s) | 19,1 | 17,3 | - | - |
| Momentum (kg·m/s) | 8,2 | 7,1 | - | - |

Atlet putra memiliki kecepatan dan momentum yang lebih tinggi, diduga karena massa otot dan kekuatan segmental yang lebih besar. Namun, tidak ada perbedaan signifikan dalam sudut sendi bahu antara putra dan putri, menunjukkan fleksibilitas bahu yang relatif sama. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan massa otot dan kekuatan segmental tubuh atas. Namun, perbedaan sudut sendi bahu antara putra dan putri tidak signifikan, menunjukkan bahwa fleksibilitas bahu relatif merata di kedua kelompok. Hasil menunjukkan bahwa *spike* menuntut sinkronisasi lebih tinggi antara gerak rotasi batang tubuh dan ekstensi bahu, sehingga menghasilkan kecepatan dan momentum yang lebih besar dibanding *jump serve*.

Secara fisiologis, gerakan ini memerlukan kekuatan otot deltoid, triceps brachii, serta rotator cuff yang optimal, disertai stabilisasi scapula yang baik. Kekurangan pada kontrol scapular dapat mengganggu lintasan ayunan lengan dan meningkatkan risiko cedera bahu. Selain itu, hasil analisis video menunjukkan bahwa fase *follow-through* pada *spike* lebih panjang ($\pm 0,24$ s) dibanding *jump serve* ($\pm 0,19$ s), menandakan kebutuhan disipasi gaya yang lebih besar. Temuan ini menegaskan pentingnya latihan penguatan dan stabilisasi bahu, khususnya pada fase eksentrik setelah kontak bola. Inti dari temuan penelitian ini terletak pada tabel 4 di atas, yang membandingkan tiga parameter biomekanika utama.

Hasil uji statistik *independent samples t-test* dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa semua perbedaan yang ditemukan adalah signifikan secara statistik ($p < 0,05$), yang berarti perbedaan ini sangat kecil kemungkinannya terjadi secara kebetulan. Sudut ekstensi maksimal bahu (shoulder angle) *spike* $165^\circ \pm 4,1$, *jump serve* $155^\circ \pm 3,6$, nilai t : 5,28, nilai p : 0,0001. Perbedaan 10 derajat ini bukanlah angka yang sederhana. Sudut bahu yang lebih besar pada teknik *spike* (165°) menunjukkan bahwa teknik ini menuntut rentang gerak (range of motion) dan fleksibilitas sendi bahu yang lebih tinggi. Dalam biomekanika, sudut yang lebih besar ini memungkinkan atlet untuk mencapai fase "arm-cocking" atau mengambil ancang-ancang lengan yang lebih optimal.

Posisi ini meregangkan otot-otot pectoralis major dan deltoid anterior seperti sebuah karet ketapel, menyimpan energi elastis yang kemudian dilepaskan secara eksplosif selama fase akselerasi. Menurut norma dalam tabel 1 di atas, sudut 165° pada *spike* berada dalam "rentang optimal untuk gerakan smash" (150° - 170°), sedangkan 155° pada *jump serve* berada di ambang batas bawah rentang ini. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun *jump serve* tetap membutuhkan fleksibilitas yang baik, tuntutannya tidak sebesar *spike*. Jika seorang atlet memiliki sudut bahu di bawah 150° , ia akan dikategorikan memiliki "terbatasnya fleksibilitas bahu" yang dapat membatasi kekuatan pukulan dan meningkatkan risiko cedera karena kompensasi gerak. Kecepatan ayunan lengan (arm swing speed) *spike* $18,2$ m/s $\pm 1,3$, *Jump Serve* $14,5$ m/s $\pm 1,1$, nilai t 7,14, nilai p 0,000

Perbedaan kecepatan hampir 4 m/s ini adalah bukti nyata dari sifat eksplosif teknik *spike*. Kecepatan $18,2$ m/s pada *spike* sudah mendekati kategori "kecepatan elite" (17-20 m/s) menurut tabel 1, sementara *jump serve* berada di kelas "kecepatan menengah" (14-17 m/s).

Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui konsep *kinetic chain* (rantai kinetik). Pada spike, energi ditransfer secara berurutan dan sangat cepat dari lompatan (tungkai), rotasi batang tubuh (core), hingga ke bahu, lengan, dan akhirnya pergelangan tangan. Sinkronisasi yang hampir sempurna inilah yang menghasilkan kecepatan lengan yang sangat tinggi. Pada jump serve, meskipun juga melibatkan lompatan, transfer energinya mungkin tidak se-eksplisif dan se-sinkron spike, karena fokusnya juga terbagi untuk melemparkan bola dan memukulnya di titik tertinggi dengan akurasi tertentu.

Kecepatan lengan yang lebih rendah ini secara langsung akan mempengaruhi kecepatan bola setelah dipukul. Momentum segmen tubuh atas (upper body segment momentum) spike $7,8 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,9$, jump serve $6,2 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,7$, nilai $-t$ 4,83, nilai $-p$ 0,002. Momentum, yang dihitung dari massa segmen lengan dikalikan kecepatan linernya ($p = m_s \times v$), merupakan indikator yang sangat baik untuk mengukur "kekuatan" atau "daya hantam" dari suatu gerakan. Momentum spike yang lebih besar ($7,8 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$) dibandingkan jump serve ($6,2 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$) menunjukkan bahwa spike melibatkan lebih banyak massa otot yang bergerak dengan kecepatan tinggi. Nilai spike ini berada dalam kategori "momentum optimal" ($7.0\text{-}8.5 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$), sementara jump serve berada di ujung atas "momentum sedang" ($5.5\text{-}7.0 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$).

Momentum yang besar ini adalah hasil dari koordinasi segmental yang superior, di mana otot-otot besar seperti latissimus dorsi, pectoralis major, dan triceps brachii berkontraksi secara simultan dan efisien. Inilah yang memberikan "power" atau daya rusak pada sebuah spike, membuatnya sulit untuk diterima oleh lawan. Penelitian ini juga mengamati perbedaan performa antara atlet putra dan putri. Ditemukan bahwa atlet putra memiliki kecepatan ayunan ($19,1 \text{ m/s}$) dan momentum ($8,2 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$) yang lebih tinggi pada spike dibanding atlet putri ($17,3 \text{ m/s}$ dan $7,1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$). Perbedaan ini sangat mungkin disebabkan oleh faktor fisiologis seperti massa otot dan kekuatan absolut yang umumnya lebih besar pada atlet putra. Namun, yang menarik, tidak terdapat perbedaan signifikan dalam sudut sendi bahu.

Temuan ini sangat penting karena menunjukkan bahwa fleksibilitas bahu tidak bergantung pada jenis kelamin, dan bahwa atlet putri memiliki potensi untuk mencapai teknik biomekanika yang sama baiknya dengan atlet putra. Tantangannya terletak pada pengembangan kekuatan dan kecepatan untuk mengoptimalkan potensi fleksibilitas tersebut. Analisis tambahan terhadap fase *follow-through* (gerakan lanjutan setelah memukul bola) juga mengungkap hal penting. Fase ini pada spike lebih lama ($\pm 0,24$ detik) dibandingkan pada jump serve ($\pm 0,19$ detik). Fase *follow-through* yang lebih panjang menandakan bahwa pada spike, terdapat gaya yang lebih besar yang harus direndam (didisipasi) oleh sendi dan otot bahu setelah kontak dengan bola.

Jika otot-otot stabilisator bahu (seperti rotator cuff) dan scapula tidak cukup kuat, gaya berulang ini dapat menjadi penyebab utama cedera overuse seperti shoulder impingement syndrome. Temuan-temuan di atas bukan hanya sekedar data akademis, melainkan fondasi untuk membangun program latihan yang berbasis bukti (*evidence-based training*). Latihan kekuatan dan stabilisasi bahu karena spike menimbulkan beban yang lebih besar pada bahu, program latihan wajib mencakup penguatan otot rotator cuff, deltoid, dan otot-otot penstabil scapula. Latihan seperti *external rotation drills* dan *scapular retraction* harus menjadi menu wajib.

Penekanan pada kinetic chain latihan harus dirancang untuk meningkatkan efisiensi transfer energi dari kaki hingga ujung jari. Latihan seperti *medicine ball rotational throws*, *resisted arm swings*, dan berbagai variasi *plyometric* untuk tubuh atas dapat sangat efektif. Pelatihan mobilitas mengingat tuntutan fleksibilitas bahu yang tinggi, khususnya pada spike, latihan peregangan dan mobilitas dinamis untuk sendi bahu harus diintegrasikan dalam pemanasan dan program pemulihan. Evaluasi berkelanjutan dengan teknologi sederhana penggunaan aplikasi analisis gerak seperti Kinovea, seperti yang dilakukan dalam penelitian ini, membuktikan bahwa teknologi biomekanika dapat diakses oleh pelatih di level akar rumput.

Pelatih dapat menggunakan alat ini untuk merekam dan menganalisis gerakan atlet, mendeteksi ketidakseimbangan, atau pola kompensasi yang dapat menyebabkan cedera. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mengkuantifikasi apa yang selama ini dirasakan secara intuitif oleh para pelatih dan pemain voli bahwa spike adalah teknik yang lebih kompleks dan menuntut secara biomekanika daripada jump serve. Dengan sudut bahu 165° , kecepatan lengan 18,2 m/s, dan momentum 7,8 kg·m/s, spike memerlukan perpaduan sempurna antara fleksibilitas, kekuatan, kecepatan, dan koordinasi neuromuskular. Hasil ini memberikan panduan yang jelas dan terukur untuk meningkatkan performa atlet voli Indonesia, sekaligus menegaskan pentingnya pendekatan latihan yang holistik, tidak hanya berfokus pada kekuatan semata, tetapi juga pada efisiensi gerak dan pencegahan cedera, sehingga atlet dapat memukul dengan lebih kuat, lebih cepat, dan yang terpenting, lebih aman.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut ekstensi maksimal bahu pada teknik spike ($165^\circ \pm 4,1$) lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan jump serve ($155^\circ \pm 3,6$). Perbedaan ini menggambarkan bahwa spike menuntut fleksibilitas dan rentang gerak bahu yang lebih tinggi untuk mencapai fase arm-cocking yang optimal. Menurut (Wagner et al., 2012), sudut bahu yang lebih besar memungkinkan peningkatan *torque* pada otot pectoralis major dan deltoid, yang berperan penting dalam menghasilkan kekuatan pukulan maksimal. Secara biomekanika, peningkatan sudut bahu berkontribusi langsung terhadap besarnya angular velocity pada lengan atas dan peningkatan gaya dorong bola.

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Seminati & Minetti, 2013) yang menyatakan bahwa efisiensi pukulan pada pemain bola voli elit dipengaruhi oleh kemampuan rotasi eksternal bahu hingga $160-170^\circ$. Dengan demikian, fleksibilitas sendi bahu menjadi faktor biomekanik krusial dalam menghasilkan pukulan efektif tanpa meningkatkan risiko cedera. Dalam konteks ini, pelatih perlu menekankan latihan mobilitas dan stabilisasi bahu, seperti shoulder external rotation drills dan scapular retraction exercises, guna mempertahankan kestabilan sendi selama fase ekstensi ekstrem. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kecepatan ayunan lengan pada teknik spike (18,2 m/s $\pm 1,3$) lebih tinggi dibanding jump serve (14,5 m/s $\pm 1,1$), dengan perbedaan signifikan ($p < 0,05$).

Hasil ini menegaskan bahwa spike merupakan gerakan eksplosif yang menuntut transfer energi kinetik yang cepat dan efisien dari segmen tubuh bawah ke atas (panggul, batang tubuh, bahu, lengan). (Kela et al., 2023) menegaskan bahwa efisiensi transfer energi ini menjadi

determinan utama dalam menghasilkan pukulan cepat dan kuat pada voli modern. Menurut (Reeser et al., 2010) fase arm acceleration pada spike melibatkan rotasi batang tubuh secara simultan dengan ekstensi bahu, menciptakan momentum rotasional yang mempercepat kecepatan tangan saat kontak dengan bola. Hal ini selaras dengan teori kinetic chain, di mana setiap segmen tubuh bertindak sebagai penghubung energi.

Jika salah satu segmen tidak bekerja optimal, efisiensi gerak menurun dan risiko cedera meningkat. Penelitian (Wagner et al., 2009) juga menegaskan bahwa kecepatan puncak lengan pada pemain elit bisa mencapai 18-20 m/s, nilai yang sangat mendekati hasil penelitian ini, menandakan validitas kinerja atlet UKM UNDANA dalam konteks biomekanika elit. Hasil penelitian memperlihatkan momentum segmen tubuh atas pada spike ($7,8 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,9$) lebih besar dibanding jump serve ($6,2 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,7$). Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa spike menghasilkan gaya impulsif lebih tinggi akibat kontribusi simultan antara rotasi batang tubuh dan kecepatan angular bahu.

Secara fisiologis, momentum yang lebih tinggi merefleksikan kemampuan sistem neuromuskular dalam mensinkronkan kontraksi otot-otot utama, seperti latissimus dorsi, pectoralis major, dan triceps brachii. Temuan ini didukung oleh (Fuchs et al., 2019) yang menyatakan bahwa pemain dengan koordinasi segmental optimal dapat meningkatkan momentum lengan hingga 25% dibanding pemain dengan pola gerak tidak efisien. (Wagner et al. 2020) menambahkan bahwa momentum besar juga terkait dengan stabilitas batang tubuh dan rotasi panggul yang efisien selama fase pre-contact. Artinya, performa spike tidak hanya ditentukan oleh kekuatan bahu, melainkan oleh sinkronisasi seluruh rantai gerak (kinetic linkage) dari tungkai hingga ekstremitas atas.

Secara praktis, hal ini menunjukkan perlunya program latihan terintegrasi antara kekuatan inti (core strength), stabilitas panggul, dan kecepatan rotasi bahu. Latihan seperti medicine ball rotational throws atau resisted arm swings dapat meningkatkan efisiensi rantai kinetik, sekaligus mengurangi risiko shoulder impingement syndrome, cedera umum yang dialami pemain voli universitas (Dias et al., 2025). Perbedaan signifikan pada ketiga parameter biomekanika (sudut bahu, kecepatan lengan, momentum) memperlihatkan bahwa teknik spike menuntut kompleksitas koordinasi yang lebih tinggi dibanding jump serve. Oleh karena itu, pelatih harus merancang program latihan yang tidak hanya berfokus pada kekuatan otot tunggal, tetapi juga pada sinkronisasi segmental dan kontrol neuromuskular.

Latihan berbasis kinetic chain dan plyometric upper-body drills terbukti efektif meningkatkan kecepatan lengan serta kestabilan bahu (Reeser et al., 2010; Wagner et al., 2020). Selain itu, penerapan motion analysis menggunakan perangkat lunak seperti Kinovea dapat menjadi alat evaluasi penting dalam mendeteksi ketidakseimbangan gerak atau pola kompensasi pada atlet. Integrasi teknologi ini mendukung konsep evidence-based training, yang sangat relevan dengan era digitalisasi olahraga saat ini. Secara konseptual, hasil penelitian ini memperkuat teori biomekanika gerak bahwa performa optimal dalam spike bergantung pada tiga aspek utama: Fleksibilitas sendi bahu untuk menghasilkan range of motion maksimal, Efisiensi transfer energi kinetik dari panggul ke lengan atas., Sinkronisasi rantai gerak segmental (kinetic chain) yang terkoordinasi.

Ketiganya membentuk dasar biomekanik yang menentukan efektivitas pukulan dan mencegah cedera berulang. Oleh sebab itu, pelatih perlu menekankan pendekatan latihan yang

menyeluruh, bukan parsial. Hasil ini juga membuka peluang penelitian lanjutan terkait perbedaan pola biomekanika antara atlet elit dan non-elit, serta eksplorasi berbasis 3D motion capture untuk analisis yang lebih akurat.

Simpulan

Penelitian yang dilakukan di Universitas Nusa Cendana (UNDANA) tahun 2025 ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan biomekanika yang signifikan antara teknik spike dan jump serve dalam permainan bola voli, khususnya pada tiga parameter utama: sudut sendi bahu, kecepatan ayunan lengan, dan momentum segmen tubuh atas. Pertama, sudut ekstensi maksimal bahu pada teknik spike ($165^\circ \pm 4,1$) lebih besar dibanding jump serve ($155^\circ \pm 3,6$), yang menunjukkan bahwa spike menuntut rentang gerak bahu dan fleksibilitas sendi yang lebih tinggi untuk menghasilkan torque optimal. Kedua, kecepatan ayunan lengan pada spike (18,2 m/s $\pm 1,3$) terbukti lebih tinggi daripada jump serve (14,5 m/s $\pm 1,1$), menandakan efisiensi transfer energi kinetik yang lebih baik dari rotasi batang tubuh menuju ekstremitas atas.

Ketiga, momentum segmen tubuh atas pada spike ($7,8 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,9$) juga lebih besar dibanding jump serve ($6,2 \text{ kg}\cdot\text{m/s} \pm 0,7$), menunjukkan bahwa spike melibatkan koordinasi segmental (kinetic chain) yang lebih eksplisif dan sinkron. Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa teknik spike memiliki tuntutan biomekanika yang lebih kompleks dibanding jump serve. Gerakan ini membutuhkan perpaduan antara fleksibilitas bahu, kecepatan rotasional, dan kontrol neuromuskular yang tinggi untuk mencapai performa optimal sekaligus mengurangi risiko cedera bahu dan siku.

Implikasinya bagi pelatih dan praktisi olahraga adalah pentingnya merancang program latihan yang menekankan sinkronisasi gerak segmental, penguatan otot bahu, serta stabilitas batang tubuh, melalui pendekatan evidence-based training yang memanfaatkan teknologi motion analysis. Dengan demikian, latihan dapat difokuskan pada efisiensi rantai gerak tubuh (kinetic chain) guna mendukung performa pukulan yang lebih kuat, cepat, dan aman bagi atlet bola voli.

Pernyataan Penulis

Saya menyatakan bahwa artikel/penelitian ini merupakan karya ilmiah asli yang saya susun tanpa melakukan plagiarisme, dan semua sumber rujukan yang digunakan telah dicantumkan secara jelas dalam daftar pustaka sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah. Artikel ini belum pernah diajukan atau dipublikasikan di jurnal, seminar, maupun media publikasi lainnya, baik dalam bentuk cetak maupun elektronik.

Daftar Pustaka

- Affandi, T. H., Bekti, R. A., & Allsabah, H. M. A. (2020). Survei Kondisi Fisik dan Keterampilan Teknik Dasar Bolavoli di Klub Bolavoli Putri Mars 76 Kota Kediri Tahun 2020. *SPRINTER: Jurnal Ilmu Olahraga*, 1(1), 22-28.
<https://jurnal.icjambi.id/index.php/sprinter/article/view/31>

Abbas, M., Pradana, D. P., & Revaldi, M. A. (2024). Literatur Riview: Peran Kinesiologi dalam

- Analisis Gerakan dan Rehabilitasi Cedera Lutut. *Journal Human Resource Strengthening*, 1(01), 76-81. <https://journalhrs.com/index.php/JHRS/article/view/20>
- Baena-Raya, A., Soriano-Maldonado, A., Rodríguez-Pérez, M. A., García-De-Alcaraz, A., Ortega-Becerra, M., Jiménez-Reyes, P., & García-Ramos, A. (2021). The force-Velocity Profile as Determinant of Spike and Serve Ball Speed in Top-Level Male Volleyball Players. *PLoS ONE*, 16(4 April), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249612>
- Basuki, M. S., & Kusuma, D. W. Y. (2025). Analisis Kemampuan Teknik Pukulan Servis Tenis Lapangan pada Klub New Armada di Magelang. *Bookchapter Olahraga dan Kesehatan*, 1, 20-44. <https://proceedings.unnes.ac.id/index.php/ok/article/view/268>
- Cavedon, V., Sandri, M., Zuccolotto, P., Biasiolo, C., Zancanaro, C., & Milanese, C. (2024). Serving to Win: Exploring Serve-Reception Effectiveness in High-Level Male and Female Sitting Volleyball Players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6(December). <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1471094>
- Dias, D. M., Nunes, B., Catarina, T. S., & Gutierrez, M. A. (2025). *The impact of glenohumeral rotational asymmetries on the risk of shoulder pain in volleyball players: a cross-sectional study*. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2025.07.020>
- Fuchs, P. X., Menzel, H. J. K., Guidotti, F., Bell, J., von Duvillard, S. P., & Wagner, H. (2019). Spike Jump Biomechanics in Male Versus Female Elite Volleyball Players. *Journal of Sports Sciences*, 37(21), 2411–2419. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1639437>
- Fuchs, P. X., Mitteregger, J., Hoelbling, D., Menzel, H. J. K., Bell, J. W., von Duvillard, S. P., & Wagner, H. (2021). Relationship Between General Jump Types and Spike Jump Performance in Elite Female and Male Volleyball Players. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(3), 1–8. <https://doi.org/10.3390/app11031105>
- Gupta, D., Jensen, J. L., & Abraham, L. D. (2021). Biomechanics of Hang-Time in Volleyball Spike Jumps. *Journal of Biomechanics*, 121, 110380. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110380>
- Kela, G., Chombo, S. C., & der Merwe, M. Van. (2023). Examining Location of Injuries of Upper and Lower Body Extremities in Volleyball Players within the Zambezi Volleyball Association. *Advances in Physical Education*, 13(01), 79–91. <https://doi.org/10.4236/ape.2023.131008>
- Lee, P. M., Snyder, E. M., Obana, K. K., Trofa, D., Lee, L., & You, J. (2024). Prevalence of Upper Extremity Volleyball Injuries Within Different Adult Age Groups: A Comprehensive Analysis of National Data From 2013-2022. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 12(12), 1–6. <https://doi.org/10.1177/23259671241298586>
- Liu, L., Chen, Z., Zhao, D., Tan, Z., & Qi, Y. (2024). Quantifying and Analysing the Angular Momentum in Volleyball Jump Serve During the Aerial Phase: Relationship to Arm Swing Speed. *PeerJ*, 12(8), 1–15. <https://doi.org/10.7717/peerj.18000>
- Pawlak, D., & Mrocze, D. (2023). Influence of Jump Height on the Game Efficiency in Elite Volleyball Players. *Scientific Reports Journal*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35729-w>
- Reeser, J. C., Fleisig, G. S., Bolt, B., & Ruan, M. (2010). Upper Limb Biomechanics During the Volleyball Serve and Spike. *Sports Health*, 2(5), 368–374. <https://doi.org/10.1177/1941738110374624>

- Rahman, I. A., Rusdiana, A., Hidayat, I. I., Kurniawan, T., Umara, U., Imanudin, I., ... & Badruzaman, B. (2025). Pengaruh Kelelahan Otot Lower Body pada Kinematika Take off Jump Spike Bola Voli. *Jambura Journal of Sports Coaching*, 7(1), 85-93. <https://doi.org/10.37311/jjsc.v7i1.29556>
- Seminati, E., & Minetti, A. E. (2013). Overuse in Volleyball Training/Practice: A Review on Shoulder and spine-Related Injuries. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 732–743. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.773090>
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2012). Skill-Dependent Proximal-to-Distal Sequence in Team-Handball Throwing. *Journal of Sports Sciences*, 30(1), 21–29. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.617773>
- Wagner, H., Tilp, M., Von Duvillard, S. P. V., & Mueller, E. (2009). Kinematic Analysis of Volleyball Spike Jump. *International Journal of Sports Medicine*, 30(10), 760–765. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224177>
- Wang, J., Qin, Z., & Wei, Z. (2024). Power and Velocity Performance of Swing Movement in the Adolescent Male Volleyball Players Age and Positional Difference. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00898-2>