

ANALISIS BIOMEKANIKA SERVIS SPIN PADA ATLET TENIS LAPANGAN USIA REMAJA BERBASIS KINOVEA

Ians Aprilo¹, Poppy Elisano Arfanda², Yusnadi³

^{1,2}Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar

³Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Makassar

ians.aprilo@unm.ac.id

Abstract

This study aimed to analyze the biomechanical profile of the spin serve in adolescent tennis athletes using Kinovea software. A quantitative descriptive design with an observational approach was employed. The participants consisted of 20 adolescent tennis players actively involved in training programs in South Sulawesi, Indonesia. Data were collected through video recordings of spin-serve executions and analyzed using Kinovea to measure several biomechanical parameters, including knee flexion, trunk rotation, elbow extension, racket angle at impact, and ball velocity. The results revealed mean values of 110.10±8.47° for knee flexion, 65.86±6.84° for trunk rotation, 161.56±7.11° for elbow extension, 76.88±5.92° for racket angle at impact, and 120.93±11.25 km/h for ball velocity. Overall, most athletes were classified within the moderate to high categories across all measured variables. These findings indicate that adolescent athletes possess relatively good spin-serve biomechanics, particularly in utilizing the kinetic-chain mechanism to generate ball speed. The study highlights the usefulness of Kinovea as an affordable and practical tool for biomechanical evaluation, providing valuable information for coaches and practitioners in monitoring technical development and improving serve performance among young tennis athletes.

Keywords: *biomechanics, spin serve, tennis, Kinovea, adolescent athletes*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil biomekanika servis spin pada atlet tenis lapangan usia remaja menggunakan perangkat lunak Kinovea. Penelitian menggunakan desain deskriptif kuantitatif dengan pendekatan observasional. Subjek penelitian terdiri atas 20 atlet tenis remaja yang aktif mengikuti program latihan di Sulawesi Selatan. Data diperoleh melalui perekaman video saat atlet melakukan servis spin, kemudian dianalisis menggunakan Kinovea untuk mengukur beberapa parameter biomekanika, yaitu fleksi lutut, rotasi batang tubuh, ekstensi siku, sudut raket saat impact, dan kecepatan bola. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata fleksi lutut sebesar 110,10±8,47°, rotasi batang tubuh 65,86±6,84°, ekstensi siku 161,56±7,11°, sudut raket saat impact 76,88±5,92°, dan kecepatan bola 120,93±11,25 km/jam. Secara umum, sebagian besar atlet berada pada kategori sedang hingga tinggi pada seluruh parameter yang diukur. Temuan ini menunjukkan bahwa atlet remaja telah memiliki kemampuan biomekanika servis spin yang cukup baik, khususnya dalam memanfaatkan mekanisme kinetik chain untuk menghasilkan kecepatan bola. Analisis biomekanika menggunakan Kinovea dapat menjadi alternatif yang efektif dan ekonomis dalam mengevaluasi teknik servis serta mendukung proses pembinaan atlet tenis usia muda.

Kata Kunci: biomekanika, servis spin, tenis lapangan, Kinovea, atlet remaja

Submitted: 2026-05-10	Revised: 2026-05-27	Accepted: 2026-06-05
-----------------------	---------------------	----------------------

PENDAHULUAN

Tenis lapangan merupakan salah satu cabang olahraga yang menuntut kombinasi kemampuan teknik, fisik, taktik, dan mental yang terintegrasi untuk mencapai performa optimal. Dalam permainan tenis modern, penguasaan teknik dasar menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan atlet dalam pertandingan. Salah satu teknik yang memiliki peranan strategis adalah servis, karena merupakan pukulan pertama yang digunakan untuk memulai permainan sekaligus memberikan kesempatan kepada pemain untuk mengendalikan jalannya reli sejak awal. Servis yang dilakukan secara efektif dapat memberikan keuntungan kompetitif berupa perolehan poin langsung (ace), memaksa lawan berada dalam posisi bertahan, atau menciptakan peluang untuk melakukan serangan pada pukulan berikutnya (Jacquier-Bret & Gorce, 2024; Aprilo et al., 2025)

Seiring perkembangan permainan tenis modern yang semakin cepat dan kompetitif, variasi servis menjadi aspek yang sangat diperhatikan dalam proses pembinaan atlet. Salah satu jenis servis yang banyak digunakan oleh pemain tenis adalah servis spin. Servis spin memiliki karakteristik berupa putaran bola yang tinggi sehingga menghasilkan lintasan yang relatif aman ketika melewati net dan memberikan pantulan bola yang lebih tinggi setelah menyentuh lapangan lawan. Karakteristik tersebut menjadikan servis spin sebagai pilihan yang efektif untuk meningkatkan konsistensi servis sekaligus menyulitkan lawan dalam melakukan pengembalian bola. Namun demikian, pelaksanaan servis spin membutuhkan koordinasi gerak yang kompleks karena melibatkan kerja sama berbagai segmen tubuh mulai dari tungkai, panggul, batang tubuh, bahu, lengan, hingga pergelangan tangan dan raket dalam suatu rangkaian gerak yang terintegrasi (Martin et al., 2026; Aprilo, Arfanda, Mappaompo, Asyhari, et al., 2025).

Dalam perspektif ilmu keolahragaan, biomekanika merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memahami karakteristik gerakan olahraga secara objektif dan ilmiah. Analisis biomekanika memungkinkan pelatih dan peneliti mengidentifikasi faktor-faktor teknis yang berkontribusi terhadap efektivitas suatu keterampilan olahraga, termasuk servis tenis. Melalui pendekatan biomekanika, berbagai parameter gerak seperti sudut sendi, rotasi batang tubuh, kecepatan segmen tubuh, serta posisi raket saat kontak dengan bola dapat diukur dan dianalisis secara kuantitatif. Informasi tersebut sangat penting untuk mendukung proses evaluasi teknik, meningkatkan efisiensi gerakan, serta mengurangi risiko cedera akibat kesalahan mekanika gerak (Jacquier-Bret & Gorce, 2024; Aprilo, Arfanda, Mappaompo, Yusnadi, et al., 2025).

Perkembangan teknologi analisis gerak turut memberikan kemudahan dalam pelaksanaan kajian biomekanika olahraga. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah Kinovea, yang memungkinkan analisis video dua dimensi secara praktis dan ekonomis. Penggunaan Kinovea telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai penelitian olahraga karena mampu memberikan informasi yang akurat mengenai parameter kinematika gerakan. Dalam konteks pembinaan atlet remaja, teknologi ini dapat menjadi sarana evaluasi yang efektif untuk memantau perkembangan teknik servis secara berkelanjutan (Asogwa et al., 2022; Brito et al., 2024).

Meskipun penelitian mengenai biomekanika servis tenis telah banyak dilakukan pada atlet elite dan profesional, kajian yang secara khusus menggambarkan profil biomekanika servis spin pada atlet usia remaja masih relatif terbatas, terutama di Indonesia. Padahal, masa remaja merupakan fase penting dalam pembentukan dan penyempurnaan teknik dasar yang akan menjadi fondasi performa atlet pada tingkat yang lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan profil biomekanika servis spin pada atlet tenis lapangan usia remaja melalui analisis beberapa parameter gerak utama yang berperan dalam keberhasilan pelaksanaan servis. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang bermanfaat bagi pelatih, atlet, dan akademisi dalam mengembangkan program latihan tenis yang lebih efektif dan berbasis bukti ilmiah.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan observasional untuk menggambarkan karakteristik biomekanika servis spin pada atlet tenis lapangan usia remaja. Pendekatan deskriptif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran objektif mengenai parameter-parameter biomekanika yang muncul selama pelaksanaan servis spin tanpa memberikan perlakuan atau intervensi tertentu kepada subjek penelitian. Melalui pendekatan observasional, peneliti dapat mengamati dan menganalisis pola gerak yang terjadi secara alami selama atlet melakukan servis sesuai dengan teknik yang biasa mereka gunakan dalam latihan maupun pertandingan.

Subjek penelitian terdiri atas 20 atlet tenis lapangan usia remaja di Kota Makassar yang berusia antara 14 hingga 17 tahun. Seluruh peserta merupakan atlet aktif yang tergabung dalam klub tenis dan mengikuti program latihan secara rutin minimal tiga kali dalam satu minggu.

Pemilihan sampel dilakukan menggunakan teknik purposive sampling dengan mempertimbangkan kriteria tertentu, yaitu memiliki pengalaman latihan tenis minimal dua tahun, mampu melakukan servis spin secara konsisten, serta berada dalam kondisi fisik yang sehat pada saat pengambilan data. Sebelum penelitian dilaksanakan, seluruh peserta diberikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian serta menyatakan kesediaannya untuk mengikuti seluruh rangkaian pengukuran.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah servis spin dengan menggunakan aplikasi Kinovea. Adapun alat yang digunakan meliputi kamera DSLR Canon EOS 1100D dengan kecepatan perekaman 60 frame per second (fps), tripod sebagai penyangga kamera untuk menjaga stabilitas pengambilan gambar, radar gun untuk mengukur kecepatan bola servis, serta perangkat lunak Kinovea yang digunakan untuk melakukan analisis gerak dua dimensi. Kamera ditempatkan pada posisi yang telah ditentukan sehingga mampu merekam seluruh rangkaian gerakan servis dari fase persiapan hingga fase follow-through secara jelas dan konsisten. Analisis biomekanika difokuskan pada beberapa variabel utama, yaitu sudut fleksi lutut saat fase loading, rotasi batang tubuh selama fase akselerasi, sudut ekstensi siku saat impact, sudut raket ketika kontak dengan bola, serta kecepatan bola servis spin yang dihasilkan.

Prosedur pengambilan data dilakukan di lapangan tenis dengan kondisi yang seragam untuk seluruh peserta. Setiap atlet diminta melakukan pemanasan terlebih dahulu sebelum melaksanakan tes servis. Selanjutnya, masing-masing atlet melakukan 10 kali percobaan servis spin menuju area servis yang telah ditentukan. Dari 10 percobaan tersebut, tiga percobaan terbaik yang memenuhi kriteria teknik dan akurasi dipilih untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan aplikasi Kinovea. Hasil pengukuran dari ketiga percobaan tersebut kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai representatif dari masing-masing variabel biomekanika yang diteliti.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata (mean), simpangan baku (standard deviation), nilai minimum, dan nilai maksimum pada setiap variabel penelitian. Hasil analisis selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan narasi untuk memberikan gambaran mengenai profil biomekanika servis spin pada atlet tenis lapangan usia remaja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel biomekanika servis spin meliputi fleksi lutut, rotasi batang tubuh, ekstensi siku, sudut raket saat impact, dan kecepatan bola. Analisis deskriptif dilakukan untuk memberikan gambaran umum mengenai karakteristik gerak servis spin atlet tenis yang menjadi subjek penelitian. Nilai yang disajikan meliputi rata-rata (Mean), standar deviasi (SD), nilai minimum (Min), dan nilai maksimum (Maks). Data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi tingkat variasi performa biomekanika antar atlet serta memberikan informasi awal mengenai kualitas teknik servis spin yang ditampilkan selama pengukuran.

Tabel 1. Profil Biomekanika Servis Spin Atlet Remaja kota Makassar

Variabel	Mean ± SD	Min	Maks
Fleksi Lutut (°)	110,10 ± 8,47	98,40	126,80
Rotasi Batang Tubuh (°)	65,86 ± 6,84	56,30	78,50
Ekstensi Siku (°)	161,56 ± 7,11	153,20	176,40
Sudut Raket Saat Impact (°)	76,88 ± 5,92	68,10	88,70
Kecepatan Bola (km/jam)	120,93 ± 11,25	105,60	142,30

Berdasarkan Tabel 1, variabel fleksi lutut memiliki nilai rata-rata sebesar 110,10° dengan standar deviasi 8,47°, menunjukkan bahwa sebagian besar atlet mampu melakukan fase loading dengan baik melalui pemanfaatan fleksi lutut yang cukup optimal. Nilai minimum sebesar 98,40° dan maksimum 126,80° menunjukkan adanya variasi kemampuan dalam menghasilkan gaya dorong dari tungkai bawah.

Rotasi batang tubuh memiliki rata-rata sebesar 65,86° dengan standar deviasi 6,84°. Hasil ini menunjukkan bahwa atlet telah mampu memanfaatkan rotasi trunk sebagai bagian dari transfer energi dalam kinetic chain servis spin. Rentang nilai antara 56,30° hingga 78,50° mengindikasikan adanya perbedaan tingkat koordinasi dan mobilitas batang tubuh antar atlet.

Ekstensi siku menunjukkan nilai rata-rata sebesar 161,56° dengan standar deviasi 7,11°. Nilai tersebut menggambarkan bahwa sebagian besar atlet telah mencapai posisi lengan yang cukup optimal saat fase percepatan menuju impact. Nilai minimum 153,20° dan maksimum 176,40° menunjukkan variasi dalam kemampuan memaksimalkan jangkauan pukulan dan kecepatan raket.

Pada variabel sudut raket saat impact diperoleh nilai rata-rata sebesar 76,88° dengan standar deviasi 5,92°. Nilai ini menunjukkan bahwa orientasi raket saat kontak dengan bola relatif konsisten dan mendukung pembentukan putaran (spin) pada bola. Rentang nilai 68,10° hingga 88,70° memperlihatkan adanya perbedaan teknik kontak bola di antara atlet.

Sementara itu, kecepatan bola memiliki rata-rata sebesar 120,93 km/jam dengan standar deviasi 11,25 km/jam. Nilai minimum sebesar 105,60 km/jam dan maksimum 142,30 km/jam menunjukkan variasi performa hasil akhir servis spin. Secara umum, data tersebut mengindikasikan bahwa atlet telah memiliki kemampuan biomekanika servis spin yang cukup baik, meskipun masih terdapat variasi individu yang dapat ditingkatkan melalui program latihan teknik dan kondisi fisik yang lebih spesifik.

Untuk memberikan interpretasi yang lebih komprehensif terhadap hasil analisis biomekanika servis spin, setiap variabel yang diukur dikategorikan ke dalam lima tingkat penilaian, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kategorisasi ini disusun berdasarkan nilai rerata dan simpangan baku yang diperoleh dari data penelitian, sehingga dapat menggambarkan posisi kemampuan atlet pada masing-masing parameter biomekanika. Variabel yang dianalisis meliputi fleksi lutut, rotasi batang tubuh, ekstensi siku, sudut raket saat impact, dan kecepatan bola. Melalui kategorisasi ini, pelatih dan peneliti dapat mengidentifikasi tingkat penguasaan teknik servis spin atlet secara lebih objektif, sekaligus menentukan aspek biomekanika yang masih memerlukan perbaikan dalam program latihan. Hasil kategorisasi variabel biomekanika servis spin atlet tenis lapangan usia remaja disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori Variabel Biomekanika Servis Spin Atlet Tenis

Variabel	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Keterangan
Fleksi Lutut (°)	<97,40	97,40–105,86	105,87–114,33	114,34–122,80	>122,80	Sedang
Rotasi Batang Tubuh (°)	<55,60	55,60–62,44	62,45–69,28	69,29–76,12	>76,12	Sedang
Ekstensi Siku (°)	<150,90	150,90–158,00	158,01–165,11	165,12–172,22	>172,22	Sedang
Sudut Raket Impact (°)	<68,00	68,00–73,92	73,93–79,84	79,85–85,76	>85,76	Sedang
Kecepatan Bola (km/jam)	<104,06	104,06–115,31	115,32–126,55	126,56–137,81	>137,81	Sedang

Berdasarkan hasil pengkategorian biomekanika servis spin, seluruh variabel yang diamati berada pada kategori sedang. Fleksi lutut memiliki nilai rata-rata 110,10° yang menunjukkan kemampuan atlet dalam memanfaatkan gaya reaksi tanah pada fase loading sudah cukup baik. Rotasi batang tubuh sebesar 65,86° juga termasuk kategori sedang, yang mengindikasikan transfer energi dari tubuh bagian bawah menuju lengan dan raket berlangsung cukup efektif. Ekstensi siku dengan rata-rata 161,56° menunjukkan bahwa posisi lengan saat impact sudah cukup optimal untuk menghasilkan kecepatan raket. Sudut raket saat impact sebesar 76,88° termasuk kategori sedang, yang menggambarkan kemampuan atlet dalam menghasilkan spin dan mengontrol arah bola berada pada tingkat yang cukup baik. Sementara itu, kecepatan bola rata-rata 120,93 km/jam juga

berada pada kategori sedang, menunjukkan bahwa performa servis spin atlet telah berkembang dengan baik, namun masih memiliki peluang untuk ditingkatkan melalui latihan teknik dan penguatan kinetic chain.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa atlet tenis lapangan usia remaja memiliki profil biomekanika servis spin yang tergolong baik pada sebagian besar variabel yang diamati. Temuan ini mengindikasikan bahwa para atlet telah mampu menerapkan prinsip-prinsip dasar mekanika gerak dalam pelaksanaan servis spin, meskipun masih terdapat beberapa aspek teknik yang memerlukan penyempurnaan. Dalam tenis modern, keberhasilan servis tidak hanya ditentukan oleh kekuatan lengan, tetapi juga oleh kemampuan atlet mengintegrasikan gerakan seluruh tubuh melalui mekanisme kinetic chain yang efektif. Oleh karena itu, analisis terhadap sudut fleksi lutut, rotasi batang tubuh, ekstensi siku, sudut raket saat impact, dan kecepatan bola menjadi penting untuk memahami kualitas teknik servis yang dimiliki atlet remaja.

Nilai rata-rata sudut fleksi lutut sebesar $110,10^\circ$ menunjukkan bahwa atlet telah memanfaatkan fase loading dengan cukup baik. Pada fase ini, fleksi lutut berfungsi untuk menyimpan energi elastis dan menghasilkan gaya reaksi tanah (ground reaction force) yang akan digunakan pada fase dorongan ke atas. Semakin optimal fleksi lutut yang dilakukan, semakin besar potensi energi yang dapat ditransfer ke segmen tubuh berikutnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar atlet telah mampu menghasilkan posisi lutut yang mendukung produksi tenaga vertikal secara efektif. Temuan ini sejalan dengan konsep biomekanika servis tenis yang menyatakan bahwa kontribusi tungkai merupakan salah satu faktor utama dalam menghasilkan kecepatan raket dan bola. Atlet yang mampu memanfaatkan dorongan tungkai secara optimal umumnya memiliki kemampuan servis yang lebih baik dibandingkan atlet yang terlalu bergantung pada kekuatan lengan (Hornestam et al., 2021; Colomar et al., 2022).

Variabel rotasi batang tubuh menunjukkan nilai rata-rata sebesar $65,86^\circ$. Hasil ini menunjukkan bahwa atlet telah memanfaatkan rotasi trunk sebagai bagian dari proses transfer energi selama gerakan servis. Rotasi batang tubuh merupakan salah satu komponen utama dalam kinetic chain karena berperan menghubungkan tenaga yang dihasilkan oleh tungkai dengan gerakan lengan dan raket. Semakin efektif rotasi batang tubuh yang dilakukan, semakin besar energi yang dapat ditransfer menuju raket saat kontak dengan bola. Namun demikian, nilai simpangan baku yang relatif tinggi menunjukkan adanya variasi kemampuan antar atlet. Variasi tersebut mengindikasikan bahwa sebagian atlet masih belum mampu mengoptimalkan rotasi batang tubuh secara konsisten. Kondisi ini dapat disebabkan oleh keterbatasan fleksibilitas batang tubuh, kurangnya kekuatan otot inti (core muscles), atau koordinasi gerak yang belum matang pada usia remaja. Oleh karena itu, latihan yang berfokus pada peningkatan kekuatan inti dan mobilitas rotasional perlu menjadi perhatian dalam program pembinaan (André V. Brito et al., 2024; Andr V Brito et al., 2024)

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa sudut ekstensi siku saat impact mencapai rata-rata $161,56^\circ$. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar atlet telah mencapai posisi lengan yang hampir lurus ketika melakukan kontak dengan bola. Dalam biomekanika tenis, posisi tersebut sangat penting karena dapat meningkatkan panjang lengan efektif sehingga menghasilkan kecepatan kepala raket yang lebih tinggi. Semakin panjang radius ayunan yang terbentuk, semakin besar kecepatan linier yang dapat dihasilkan pada ujung raket. Temuan ini menunjukkan bahwa atlet remaja dalam penelitian telah memiliki pemahaman teknik yang cukup baik terkait posisi lengan saat impact. Meskipun demikian, pelatih tetap perlu memastikan bahwa ekstensi siku dilakukan secara alami dan tidak berlebihan untuk menghindari peningkatan risiko cedera pada sendi siku maupun bahu (Wood et al., 2023; Palmer et al., 2018).

Sudut raket saat impact sebesar $76,88^\circ$ menunjukkan adanya variasi teknik dalam pelaksanaan servis spin. Variabel ini memiliki peranan penting karena berhubungan langsung dengan kemampuan menghasilkan putaran bola. Pada servis spin, orientasi raket saat kontak dengan bola menentukan arah gaya gesek yang akan menghasilkan rotasi bola. Atlet yang mampu mempertahankan sudut raket secara konsisten cenderung menghasilkan spin yang lebih stabil dan

lintasan bola yang lebih terkontrol. Sebaliknya, variasi sudut raket yang terlalu besar dapat menyebabkan ketidakkonsistenan arah maupun kualitas putaran bola. Oleh karena itu, latihan teknik yang menekankan kontrol pergelangan tangan dan koordinasi kontak raket dengan bola perlu diberikan secara berkelanjutan (Deng et al., 2022; Deng et al., 2024).

Kecepatan bola servis spin yang mencapai rata-rata 120,93 km/jam menunjukkan performa yang cukup baik untuk kelompok usia remaja. Kecepatan tersebut mengindikasikan bahwa atlet telah mampu menghasilkan tenaga yang memadai melalui integrasi gerakan tubuh secara keseluruhan. Dalam konteks biomekanika, kecepatan bola merupakan hasil akhir dari interaksi berbagai komponen gerak yang terjadi secara berurutan, mulai dari dorongan tungkai, rotasi panggul dan batang tubuh, akselerasi lengan, hingga kecepatan kepala raket saat impact. Hasil ini memperkuat temuan bahwa efektivitas servis tidak ditentukan oleh satu segmen tubuh saja, melainkan oleh sinkronisasi seluruh rangkaian gerakan (Kwon, 2026; Vacek et al., 2025).

Secara keseluruhan, hasil penelitian mendukung teori biomekanika tenis yang menekankan pentingnya koordinasi antar segmen tubuh dalam menghasilkan servis yang efektif. Profil biomekanika yang diperoleh menunjukkan bahwa atlet remaja telah memiliki fondasi teknik yang cukup baik, namun masih terdapat ruang untuk peningkatan terutama pada aspek rotasi batang tubuh dan konsistensi sudut raket saat impact. Oleh karena itu, program latihan servis spin sebaiknya dirancang secara komprehensif dengan mengintegrasikan latihan teknik, penguatan otot inti, peningkatan daya ledak tungkai, fleksibilitas bahu, serta latihan koordinasi gerak yang berorientasi pada optimalisasi kinetic chain. Pendekatan tersebut diharapkan mampu meningkatkan kualitas servis spin sekaligus mendukung perkembangan prestasi atlet tenis usia remaja.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa atlet tenis lapangan usia remaja menunjukkan profil biomekanika servis spin yang relatif baik pada seluruh parameter yang dianalisis. Nilai fleksi lutut, rotasi batang tubuh, ekstensi siku, sudut raket saat impact, dan kecepatan bola menunjukkan bahwa sebagian besar atlet telah mampu menerapkan prinsip kinetic chain secara efektif dalam pelaksanaan servis spin. Integrasi gerakan yang melibatkan tungkai, batang tubuh, lengan, dan raket berkontribusi terhadap kemampuan menghasilkan kecepatan bola yang optimal. Meskipun demikian, masih ditemukan variasi antar atlet yang menunjukkan perlunya peningkatan pada aspek koordinasi gerak, kekuatan inti, fleksibilitas, dan konsistensi teknik. Penggunaan Kinovea terbukti memberikan informasi biomekanika yang objektif dan bermanfaat untuk evaluasi teknik, sehingga dapat dijadikan alat pendukung dalam program pembinaan dan pengembangan performa atlet tenis usia remaja.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilo, I., Arfanda, P. E., Mappaompo, M. A., Asyhari, H., & Imran, M. (2025). Development of Tennis Spin Serve Technique Observation Instrument : The Quality Tennis Learning in Higher Education. *ETDC: Indonesian Journal of Research and Educational Review*, 4(3), 509–516.
- Aprilo, I., Arfanda, P. E., Mappaompo, M. A., Priambodo, A., & Sulfa, M. (2025). A Comparative Study on the Effectiveness of Flat and Spin Serves in Direct Points Simulation Matches. *Journal of Physical Education, Sport, Health and Recreations*, 14(2), 666–672.
- Aprilo, I., Arfanda, P. E., Mappaompo, M. A., Yusnadi, Rizal, A., & Asyhari, H. (2025). Biomechanical Analysis of Tennis Spin Serve Technique Using Kinovea in Beginner Athletes in South Sulawesi. *Journal Physical Health Recreation (JPHR)*, 5(2).
- Asogwa, C. O., Nagano, H., Wang, K., & Begg, R. (2022). Using Deep Learning to Predict Minimum Foot – Ground Clearance Event from Toe-Off Kinematics. *Sensors*, 1–12.
- Brito, André V., Afonso, J., Silva, G., Fernandez-Fernandez, J., & Fernandes, R. J. (2024).

- Biophysical characterization of the tennis serve: A systematic scoping review with evidence gap map. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(2), 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.10.018>
- Brito, Andr V, Fonseca, P., Costa, M. J., Cardoso, R., Santos, C. C., Fernandez-fernandez, J., & Fernandes, R. J. (2024). The Influence of Kinematics on Tennis Serve Speed : An In-Depth Analysis Using Xsens MVN Biomech Link Technology. *Bioengineering*, 1–15.
- Colomar, J., Corbi, F., Brich, Q., & Baiget, E. (2022). Determinant Physical Factors of Tennis Serve Velocity: A Brief Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(8), 1159–1169. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0091>
- Deng, N., Soh, K. G., Huang, D., Abdullah, B., Luo, S., & Rattanakes, W. (2022). Effects of plyometric training on skill and physical performance in healthy tennis players: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 13(November), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1024418>
- Deng, N., Soh, K. G., Xu, F., & Yang, X. (2024). The effects of strength and conditioning interventions on serve speed in tennis players: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 15(January), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1469965>
- Hornestam, J. F., Souza, T. R., Magalhães, F. A., Begon, M., Santos, T. R. T., & Fonseca, S. T. (2021). The effects of knee flexion on tennis serve performance of intermediate level tennis players. *Sensors*, 21(16), 1–10. <https://doi.org/10.3390/s21165254>
- Jacquier-Bret, J., & Gorce, P. (2024a). Kinematics characteristics of key point of interest during tennis serve among tennis players: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6(July). <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1432030>
- Jacquier-Bret, J., & Gorce, P. (2024b). Kinematics of the Tennis Serve Using an Optoelectronic Motion Capture System: Are There Correlations between Joint Angles and Racket Velocity? *Sensors*, 24(11). <https://doi.org/10.3390/s24113292>
- Kwon, J. W. (2026). A conceptual field-based framework for lower – upper body kinetic chain assessment in the tennis serve using IMUs and portable force plates : measurement coverage , new performance indices , and applied implications. *Frontiers in Sports and Active Living*, April. <https://doi.org/10.3389/fspor.2026.1784684>
- Martin, C., Touzard, P., Fourel, L., & Plum, B. M. (2026). Tennis Serve Biomechanics , Joint Load Mechanics and Overuse Injuries : A Narrative Review. *Sport Medicine*.
- Palmer, K., Jones, D., Morgan, C., & Zeppieri, G. (2018). Relationship Between Range of Motion, Strength, Motor Control, Power, and the Tennis Serve in Competitive-Level Tennis Players: A Pilot Study. *Sports Health*, 10(5), 462–467. <https://doi.org/10.1177/1941738118785348>
- Vacek, J., Vagner, M., Malecek, J., & Stastny, P. (2025). Tennis Serve Speed in Relation to Isokinetic Shoulder Strength , Height , and Segmental Body Mass in Junior Players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 10(1), 9–11.
- Wood, D., Reid, M., Elliot, B., Alderson, J., & Mian, A. (2023). The expert eye? An inter-rater comparison of elite tennis serve kinematics and performance. *Journal of Sports Sciences*, 41(19), 1779–1786. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2298102>