



Biomechanical Analysis of First Serve Tennis

Rumi Iqbal Doewes¹, Islahuzzaman Nuryadin²

Program studi Pendidikan Kepelatihan Olahraga

Fakultas Keolahragaan

^{1,2}Universitas Sebelas Maret, Indonesia

Email: ¹king.doewes@fkip.uns.ac.id, ²mase_islah@yahoo.com

ABSTRACT

Serve tennis is the most important stroke in the game of tennis to determine the outcome of the match, which is done by means of the ball crossing the net into the opponent's service box diagonally with the desired speed and landing location. This study aims to explain the biomechanical analysis of first serve tennis which produces maximum ball speed. The research method is in the form of quantitative biomechanics with an inferential analysis approach in the form of correlation analysis. Twelve students of the Department of Sports Coaching, Faculty of Sport, made a first serve at the service box, the movements were recorded using a Canon EOS 1100D DSLR camera. The variables analyzed were flexion angle, extension angle, tilt angle, angular velocity, angular acceleration, time, momentum, force, impulse, power, and effort. Pearson Correlation is used to show how big the correlation between ball speed and the studied biomechanics variables. The results showed that there was a large, very large, and perfect correlation on the variables of momentum ($r = 1,000$), force ($r = .663$), impulse ($r = 1,000$), power ($r = .844$), effort ($r = .982$), while the other variables show very small, small, and moderate correlations. So it can be concluded that first serve tennis can be seen as a coordinated and complex movement, involving the development and transfer of momentum, force, impulse, power, and effort to achieve maximum ball speed. This study implies that in doing first serve tennis, it is necessary to pay attention to momentum, force, impulse, power, and effort to produce maximum ball speed.

Keywords: *Biomechanics, First Serve, Tennis*

Analisis Biomekanika First Serve Tennis

ABSTRAK

Serve tennis merupakan pukulan terpenting dalam permainan tenis. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan analisis biomekanika *first serve* yang menghasilkan kecepatan bola maksimum. Metode penelitian berupa biomekanika kuantitatif dengan pendekatan analisis inferensial berupa analisis korelasi. Dua belas mahasiswa Jurusan Kepelatihan Olahraga Fakultas Keolahragaan melakukan *first serve* pada *service box*, gerakan direkam menggunakan kamera *DSLR Canon EOS 1100D*. Variabel yang dianalisis berupa sudut fleksi, sudut ekstensi, sudut kemiringan, kecepatan angular, percepatan angular, waktu, momentum, gaya, impuls, *power*, dan usaha. *Pearson Correlation* digunakan untuk menunjukkan seberapa besar korelasi antara kecepatan bola dengan variabel biomekanika yang diteliti. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi yang tinggi, sangat tinggi, dan sempurna pada variabel momentum ($r = 1.000$), gaya ($r = .663$), impuls ($r = 1.000$), *power* ($r = .844$), usaha ($r = .982$), sedangkan pada variabel lain menunjukkan korelasi yang sangat kecil, kecil, dan sedang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *first serve tennis* dapat dilihat sebagai gerakan yang terkoordinasi dan kompleks, melibatkan pengembangan dan transfer momentum, gaya, impuls, *power*, dan usaha untuk mencapai kecepatan bola yang maksimum. Penelitian ini memberikan implikasi bahwa dalam melakukan *first serve tennis* perlu memperhatikan momentum, gaya, impuls, *power*, dan usaha untuk menghasilkan kecepatan bola maksimum.

Kata Kunci: *Biomekanika, First Serve, Tenis*

©2022 IKIP BUDI UTOMO MALANG

Info Artikel
Dikirim : 27 Januari 2022
Diterima : 23 Mei 2022
Dipublikasikan : 30 Mei 2022

P-ISSN 2613-9421
E-ISSN 2654-8003

✉ Alamat korespondensi: king.doewes@fkip.uns.ac.id

Jl. Ir. Sutami No.36, Kentingan, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57126 Indonesia

PENDAHULUAN

Tenis adalah olahraga intermittent dimana pemain memerlukan campuran komponen fisik, seperti linear sprint dan perubahan kecepatan, kelincahan, power otot, dan kebugaran kardiovaskular untuk mencapai tingkat performa yang tinggi (Fernandez-Fernandez et al., 2021). Pemain tenis dituntut untuk melakukan sejumlah stroke yang tinggi setiap latihan atau pertandingan dengan shots yang kuat termasuk service. Meffert et al (2018) menyatakan bahwa serve diterima dengan baik sebagai salah satu pukulan terbaik untuk sukses dalam pertandingan. Seorang pemain yang menguasai serve secara permanen kemungkinan besar akan memenangkan pertandingan atau setidaknya mencapai tie-break. Dengan demikian, serve performance adalah fakta penting yang dapat memengaruhi hasil permainan service. Serve performance mengacu pada in-percentage, persentase kemenangan, penempatan, dan speed serve pertama dan kedua. Menurut Abrams, serve memiliki gerakan overhead yang menempatkan forces yang signifikan pada torso dan upper extremity (Abrams, Harris, Andriacchi, & Safran, 2014). Untuk dapat menguasai teknik serve, diperlukan analisis biomekanika pada gerakan serve.

Analisis biomekanika dilakukan untuk tujuan meningkatkan teknik olahraga melalui investigasi dan analisis gerakan pemain sehingga pola gerakan dapat dipelajari dan dipahami (Ae, 2020). Keberhasilan dalam tenis sangat dipengaruhi oleh teknik yang digunakan pemain dan biomekanik memainkan peran integral dalam menghasilkan pukulan. Pada permainan tenis, serve adalah urutan gerakan (disebut sebagai rantai kinetik) yang dimulai dengan gerakan ekstremitas bawah dan diikuti oleh batang tubuh dan ekstremitas atas (Martin, 2014). Maquirriain et al menjelaskan lebih lanjut bahwa kompleksitas serve dihasilkan dari kombinasi gerakan limb dan sendi yang diperlukan untuk summate dan mentransfer forces dari bawah ke atas melalui kinetic chain dan keluar ke raket dan bola. Service

yang efektif secara maksimal memanfaatkan seluruh kinetic chainnya melalui penggunaan sinkron kelompok otot yang selektif, rotasi segmental, dan aktivasi otot ekstremitas bawah yang terkoordinasi. Produksi lower body–core force ini kemudian ditransfer ke upper body dan keluar melalui raket ke bola (Maquirriain, Baglione, & Cardey, 2016).

Kinematika karakteristik serve tennis telah dijelaskan pada penelitian Fett et al (2021). Penelitian Fett et al membandingkan karakteristik serve tennis pada posisi ad dan deuce court. Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan service rata-rata ditemukan serupa pada kedua sisi, sedangkan beberapa karakteristik serve dan kinematika bola berbeda secara signifikan ($p < 0.05$). Pada starting, sudut front-foot relatif terhadap baseline (D: $39.7 \pm 17.6^\circ$ vs. AD: $31.1 \pm 17.4^\circ$) dan jarak lateral antara feet (D: 16.3 ± 12.9 cm vs. AD: 26.2 ± 11.9 cm) yang berbeda secara signifikan. Selama service, upper torso range of motion dari maximum clockwise rotation hingga impact secara signifikan lebih besar pada deuce court. Selanjutnya, perbedaan lokasi impact bola lebih lateral pada ad court dibandingkan deuce court. Perubahan sisi service mempengaruhi serve dan kinematika bola pada pemain tenis junior elit. Hasil ini menggaris bawahi perbedaan biomekanik mengenai posisi starting (feet dan upper torso) serta gerakan dan kinematika bola pada posisi ad court dan deuce court service (Fett, Oberschelp, Vuong, Wiewelhove, & Ferrauti, 2021). Akan tetapi penelitian Fett et al (2021) menjelaskan kinematika serve untuk serve pada posisi ad court dan deuce court, sedangkan biomekanika first serve untuk menghasilkan kecepatan bola yang maksimum belum dijelaskan.

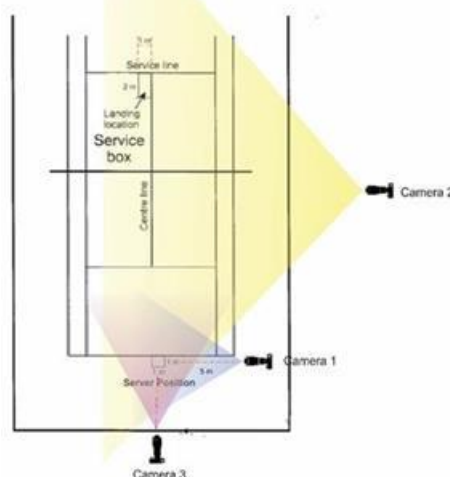
Pada permainan tenis, serve disebut sebagai pukulan yang paling penting. Oleh karena itu bagi pemain profesional, kemampuan menghasilkan kecepatan bola yang tinggi menjadi elemen kunci dari permainan yang sukses karena menempatkan lawan di bawah tekanan dan dapat menghambat pengembaliannya (Martin, et al., 2013). Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan dan ketepatan serve menjadi kunci keberhasilan pada serve. Menurut Vaverka et al (2018), first serve dipengaruhi oleh strategi pemain. Strategi yang paling sering digunakan adalah first serve dengan kecepatan bola yang lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menjelaskan kinematika first serve yang tepat dan menghasilkan

kecepatan maksimum sehingga bola dapat melewati net dan masuk di area lapangan lawan yang tidak mudah dikembalikan lawan. Hal ini karena keterampilan serve yang tepat dan menghasilkan kecepatan yang maksimum penting dikuasai pemain untuk memenangkan poin.

METODE

Peneliti menggunakan biomekanika kuantitatif dengan pendekatan analisis inferensial berupa analisis korelasi untuk menjelaskan korelasi biomekanika first serve yang menghasilkan kecepatan bola maksimum. Dua belas mahasiswa yang mendalami tenis tergabung dalam Pembinaan Prestasi Tenis Fakultas Keolahragaan Universitas Sebelas Maret dan telah bermain tenis selama 2 tahun terakhir berpartisipasi dalam penelitian ini. Rata-rata berat badan, tinggi badan, usia peserta, dan lama waktu berlatih adalah 69.09 ± 6.98 kg, 173.4 ± 6.1 cm, 19 tahun, dan 2 tahun telah berlatih tenis. Gerakan *serve* meliputi *preparation/backswing*, *forward swing*, *follow through*, dan *impact*. *Backswing* didefinisikan sebagai saat atlet memulai lemparan bola. Saat fase sampai puncak rotasi eksternal didefinisikan sebagai *forward swing*. *Follow through* didefinisikan sebagai langkah akhir dari gerakan *serve*. *Impact* didefinisikan sebagai perkenaan antara bola dengan raket. Variabel yang diteliti adalah kecepatan bola. Beberapa variabel biomekanika yang memengaruhi kecepatan bola (m/s) yang diteliti dalam penelitian ini adalah sudut fleksi siku lengan pemukul *backswing* (derajat), sudut ekstensi siku lengan yang melakukan *toss* (derajat), sudut bahu *frontswing* (rad), sudut ekstensi siku lengan pemukul *frontswing* (derajat), waktu *frontswing* (detik), kecepatan anguler *frontswing* (rad/s), percepatan anguler *frontswing* (rad/s²), waktu sentuh raket dengan bola (detik), sudut kemiringan lengan pemukul saat *impact* (derajat), sudut kemiringan lengan yang melakukan *toss* saat *impact* (derajat), sudut kemiringan panggul saat *impact* (derajat), sudut kemiringan bahu saat *impact* (derajat), ketinggian bola saat *impact* (m), sudut bahu *follow through* (rad), waktu *follow through* (detik), kecepatan anguler *follow through* (rad), perlambatan anguler *follow through* (rad/s²), momentum (Ns), gaya (N), impuls (Ns), *power* (J/s), usaha (J). Pada penelitian ini gerakan dipengaruhi oleh gravitasi bumi sebesar 9.8 m/s^2 .

Pengujian dilakukan di lapangan *outdoor* tenis di lapangan tenis Manahan, Surakarta. Bola yang digunakan sesuai dengan peraturan *International Tennis Federation (ITF)* dimana bola tenis dengan berat minimal 56.0 gram dan maksimal 59.4 gram. Pada penelitian ini menggunakan bola tenis dengan berat 59.4 gram. Peserta diberikan uji coba dan diberi waktu untuk membiasakan diri dengan lingkungan pengujian dan pemanasan dilakukan. Peserta menggunakan raket mereka sendiri selama pengujian untuk memastikan bahwa mereka merasa nyaman selama mekanisme ayunan *serve*. Pengujian dimulai dengan posisi peserta berada pada kotak *server position* berukuran 1 meter x 1 meter. Peserta diinstruksikan melaksanakan *serve* yang bolanya *landing* di dalam *service box*. Hanya bola yang masuk ke dalam *service box* yang dipilih untuk analisis selanjutnya. Setiap peserta diberikan kesempatan 2 kali untuk melaksanakan *serve* (Sakurai, Reid, & Elliott, 2013). Seluruh kinematika tubuh dan jalur bola direkam menggunakan kamera *DSLR Canon EOS 1100D* Kamera ditempatkan pada tiga posisi.



Gambar 1. Pengambilan Rekaman

Kamera 1 dipasang lima meter di sisi kanan kotak *server position* dan tegak lurus bertujuan untuk menangkap gerakan tubuh di bidang samping saat melakukan *serve*. Kamera 2 dipasang di tengah bertujuan untuk menangkap jalur bola ke *service box* sebagai *landing position* untuk menentukan bola yang masuk ke *service box*. Kamera 3 berada di belakang peserta untuk menangkap posisi kemiringan tubuh saat *impact* antara raket dan bola.

Analisis kinematika dilakukan dengan *software kinovea*. Gerakan yang dianalisis adalah *serve* yang masuk pada *service box*. *Kinovea* dapat digunakan

untuk mengamati gerakan yang dilakukan video dimana gerakan tersebut dapat di *slow motion* sehingga bisa diamati hasilnya. *Software kinovea* digunakan untuk mengkonversi setiap video ke dalam serangkaian gambar *frame by frame* (Haq, Arif, & Nawaz, 2020). Statistik deskriptif dasar *mean* dan *SD* digunakan untuk menjelaskan variabel biomekanika tenis. *Pearson correlation* digunakan untuk mengetahui korelasi antara kecepatan bola dengan variabel biomekanika tenis. Analisis data dilakukan menggunakan SPSS 16 dengan signifikansi level 0.05. Koefisien korelasi (*r*) menurut Hopkin dicatat 0.0–0.1 berarti sangat kecil, 0.1–0.3 berarti kecil, 0.3–0.5 berarti sedang, 0.5–0.7 berarti tinggi, 0.7–0.9 berarti sangat tinggi, 0.9–1 berarti sempurna (Chanda & Mondal, 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Korelasi antara Kecepatan Bola dan Biomekanika *First Serve Tennis*

No	Variabel Biomekanika	Mean	SD	r	p
1	Sudut fleksi siku pemukul <i>backswing</i> (°)	79.25	26.91	-.197**	.539
2	Sudut ekstensi siku lengan <i>toss</i> (°)	155.92	18.28	.174	.589
3	Sudut bahu <i>frontswing</i> (rad)	3.16	0.37	.003	.993
4	Sudut ekstensi siku pemukul <i>frontswing</i> (°)	143.08	18.27	.462	.130
5	Waktu <i>frontswing</i> (s)	1.16	0.26	-.004**	.991
6	Kecepatan anguler <i>frontswing</i> (rad/s)	2.83	0.59	.046	.886
7	Percepatan anguler <i>frontswing</i> (rad/s ²)	2.60	0.88	.073	.820
8	Waktu sentuh raket dengan bola (s)	0.13	0.05	.194	.545
9	Sudut kemiringan lengan pemukul (°)	111.08	10.31	-.009**	.978
10	Sudut kemiringan lengan <i>toss</i> (°)	15.08	11.20	-.309**	.328
11	Sudut kemiringan panggul (°)	15.42	8.01	.174	.586
12	Sudut kemiringan bahu (°)	37.33	14.42	.265	.405
13	Ketinggian bola (m)	1.57	0.13	.139	.666
14	Sudut bahu <i>follow through</i> (rad)	0.62	0.31	.033	.918
15	Waktu <i>follow through</i> (s)	1.43	0.47	-.111**	.732
16	Kecepatan anguler <i>follow through</i> (rad/s)	0.55	0.57	.039	.904
17	Perlambatan anguler <i>follow through</i> (rad/s ²)	-0.58	1.03	-.039**	.904
18	Momentum (Ns)	2.31	0.72	1.000	.000*
19	Gaya (N)	19.96	7.59	.663	.019*
20	Impuls (N.s)	2.31	0.72	1.000	.000*
21	Power (J/s)	833.51	471.40	.844	.001*
22	Usaha (Joule)	98.10	55.01	.982	.000*

*Korelasi yang signifikan antara kecepatan bola dengan variabel biomekanika ($p < .05$)

**Nilai *r* negatif menunjukkan arah hubungan yang negatif

Tabel 1 menunjukkan *mean* dan standar deviasi setiap variabel biomekanika dan korelasi antara kecepatan bola dan variabel biomekanika. Korelasi yang signifikan ditemukan antara kecepatan bola dengan momentum, gaya, impuls, power, dan usaha ($r = .60$ ke atas) pada gerakan *first serve tennis*. Sedangkan untuk variabel biomekanika yang lain tidak ditemukan korelasi yang signifikan ($r = .60$ ke bawah).

Tabel 1 juga menunjukkan arah hubungan dari setiap variabel biomekanika dengan kecepatan bola. Hubungan yang negatif ditemukan pada variabel sudut fleksi siku pemukul *backswing*, waktu *frontswing*, sudut kemiringan lengan pemukul, sudut kemiringan lengan *toss*, waktu *follow through*, dan perlambatan anguler *follow through* (r bernilai negatif). Sedangkan variabel yang lain menunjukkan hubungan yang positif (r bernilai positif). Hubungan yang negatif berarti semakin tinggi variabel biomekanika maka semakin rendah kecepatan bola, sedangkan hubungan yang positif berarti semakin tinggi variabel biomekanika maka semakin tinggi kecepatan bola.

PEMBAHASAN

Serve tennis adalah satu-satunya pukulan dalam tenis tanpa pengaruh dari lawan, yang memungkinkan pemain memiliki *locus of control* yang lebih besar di seluruh pola gerakan sehingga koordinasi yang tepat di seluruh rantai kinetik diperlukan untuk mencapai potensi kecepatan *serve* tertinggi (Palmer, Jones, Morgan, & Zeppieri, 2018). Lebih cepat *serve* yang dilakukan, mengurangi waktu lawan untuk merespon dan menghambat pengembalian, dalam hal ini gerakan sudut ekstremitas atas dikenal sebagai kontributor utama untuk kecepatan *serve* (Hornestam, et al., 2021). Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa variabel sudut fleksi siku pemukul *backswing*, sudut ekstensi siku lengan *toss*, sudut bahu *frontswing*, sudut ekstensi siku pemukul *frontswing*, sudut kemiringan lengan pemukul, sudut kemiringan lengan *toss*, sudut kemiringan panggul, sudut kemiringan bahu memiliki korelasi yang sangat kecil, kecil, dan sedang dengan kecepatan bola. Pada penelitian ini sudut fleksi dan ekstensi serta kemiringan tubuh sedikit membantu dalam menghasilkan kecepatan bola yang maksimum. Ellabany & Attaallah menyatakan bahwa pada gerakan *serve*, saat *backswing* menuju *frontswing*, otot-otot diregangkan sehingga menghasilkan kecepatan anguler lengan pemukul dan akibatnya kecepatan bola pasca tumbukan lebih tinggi. Besarnya kecepatan anguler gerakan *frontswing* sebesar 2.83 rad dan percepatan anguler gerakan *frontswing* sebesar 2.60 rad/s². Tujuan dari *frontswing* ini adalah menyimpan energi potensial dimana *elastic recoil* otot atlet mengubah *strain energy* menjadi energi kinetik, sehingga menghasilkan sejumlah besar gaya

dan momentum (Talaat, Ellabany, & Attaallah, 2015). Pada penelitian ini momentum dan gaya menunjukkan korelasi yang sempurna dan tinggi, artinya menunjukkan bahwa momentum dan gaya berkontribusi dalam menghasilkan kecepatan bola. Penelitian Ellabany & Attaallah telah meneliti bagaimana transfer momentum dan gaya dari seluruh tubuh ke bola saat terjadi *impact*. Hasil penelitian Ellabany & Attaallah menunjukkan bahwa *force curve* pusat gravitasi dan pukulan tangan mempunyai *path* yang sama tetapi ada sedikit perbedaan pada *momentum curve* pada saat *impact*. Studi ini menunjukkan perlunya mempertahankan *center of gravity force trajectory* pada *path* yang sama dengan pukulan tangan yang memberikan keuntungan untuk keberhasilan *serve*. *Takeoff* dalam waktu minimum membantu meningkatkan *velocity* pusat gravitasi dan tidak kehilangan *force* yang dihasilkan dari tubuh ke tangan yang memukul. Selain itu, *serve* yang efisien dilakukan hanya ketika pemain dalam gerakan yang benar secara biomekanik yang menghubungkan sejumlah besar gaya (Talaat et al., 2015).

Serve membutuhkan *power* atlet itu sendiri, dan sumber *power* ini tidak disediakan oleh satu bagian saja, yang membutuhkan koordinasi yang erat dari *limbs* atas dan bawah. *Legs* harus ditekuk dan diregangkan. *Upper limb* harus melakukan penyesuaian untuk membentuk *whip* dengan *torso*, daripada hanya *wave arm* untuk menjatuhkan bola. Hanya mengandalkan *explosive force* tidak hanya tidak bisa membuat arah bola dan *speednya* terkontrol, tetapi juga membebani tubuh atlet (Zhu, 2017). Pada penelitian ini impuls, *power*, dan usaha juga menunjukkan kontribusi dalam menghasilkan kecepatan bola yang tinggi *first serve*. Impuls adalah gaya yang diperlukan agar bola bergerak dengan adanya interval waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa impuls berkontribusi dalam menghasilkan kecepatan bola. Senada dengan hal ini, olahraga tenis adalah olahraga yang dimana setiap gerakan memerlukan perubahan kecepatan dan arah, perubahan ini ditentukan oleh impuls (Hayes, Spits, Watts, & Kelly, 2021). Berkaitan dengan *power* yang berkontribusi dalam menghasilkan kecepatan bola, senada dengan pernyataan ini bahwa pemain yang kompetitif harus melatih aspek fisiknya seperti *power* (Baiget, Corbi, Fuentes, & Fernández-Fernández, 2016), selain itu penelitian Palmer et al menunjukkan bahwa kombinasi antara

keterampilan, gerak pinggul, *power* ekstremitas atas dapat menentukan kecepatan dalam *serve tennis*. Kemampuan atlet untuk menghasilkan dan mengontrol pengukuran *unilateral power* terlibat dengan 75% variabel *performance* objektif prediktif. Hal ini menunjukkan bahwa area fokus utama pada *off-court training* harus pada pengembangan *power* dan kemampuan tubuh untuk berada di bawah kendali selama gerakan balistik (Palmer et al., 2018). Berkaitan dengan usaha, hasil penelitian ini menunjukkan korelasi yang positif dan *perfect* dengan kecepatan bola. Dalam tenis, usaha diperlukan sehingga akan ada energi yang disalurkan ke bola dan bola akan bergerak. Pada penelitian ini semakin besar usaha yang disalurkan pada bola maka bola akan bergerak dengan kecepatan yang maksimum.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya momentum, gaya, impuls, *power*, dan usaha sangat berkorelasi dengan kecepatan bola yang maksimum. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *first serve tennis* dapat dilihat sebagai gerakan yang terkoordinasi dan kompleks, melibatkan pengembangan dan transfer momentum, gaya, impuls, *power*, dan usaha untuk mencapai kecepatan bola yang maksimum.

Keterbatasan penelitian ini adalah penggunaan sampel yang kurang luas. Penelitian ini hanya menggunakan mahasiswa berusia 19 tahun sehingga hasil penelitian hanya dapat diterapkan pada mahasiswa berusia 19 tahun. Oleh karena itu, studi lebih lanjut diperlukan untuk menganalisis gerakan *first serve tennis* dan teknik dasar tenis yang lainnya dengan sampel yang berbeda dan lebih luas.

DAFTAR RUJUKAN

- Abrams, G. D., Harris, A. H. S., Andriacchi, T. P., & Safran, M. R. (2014). Biomechanical analysis of three tennis serve types using a markerless system. *British Journal of Sports Medicine*, 48(4), 339–342. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091371>
- Ae, M. (2020). The next steps for expanding and developing sport biomechanics: Winner of the 2019 ISBS Geoffrey Dyson Award. *Sports Biomechanics*, (May). <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1743745>
- Baiget, E., Corbi, F., Fuentes, J. P., & Fernández-Fernández, J. (2016). The Relationship between Maximum Isometric Strength and Ball Velocity in the Tennis Serve. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 63–71. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0028>

- Fernandez-Fernandez, J., Moya-Ramon, M., Santos-Rosa, F. J., Gantois, P., Nakamura, F. Y., Sanz-Rivas, D., & Granacher, U. (2021). Within-session sequence of the tennis serve training in youth elite players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010244>
- Fett, J., Oberschelp, N., Vuong, J. L., Wiewelhove, T., & Ferrauti, A. (2021). Kinematic characteristics of the tennis serve from the ad and deuce court service positions in elite junior players. *PLoS ONE*, 16(7 July), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252650>
- Haq, M. Z. ul, Arif, T., & Nawaz, M. A. (2020). *Angular Kinematics and Physical Fitness Analysis of Tall height and Short Height Javelin Throwers- A Case Study of The Islamia University of Bahawalpur , Pakistan*. 6(2), 829–833.
- Hayes, M. J., Spits, D. R., Watts, D. G., & Kelly, V. G. (2021). Relationship Between Tennis Serve Velocity and Select Performance Measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 190–197. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002440>
- 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), 5254.
- Martin, C., Kulpa, R., Delamarche, P., & Bideau, B. (2013). Professional tennis players' serve: correlation between segmental angular momentums and ball velocity. *Sports Biomechanics*, 12(1), 2-14.
- Martin, C. (2014). Tennis serve biomechanics in relation to ball velocity and upper limb joint injuries. *Journal of Medicine and Science in Tennis*, 19(2).
- Maquirriain, J., Baglione, R., & Cardey, M. (2016). Male professional tennis players maintain constant serve speed and accuracy over long matches on grass courts. *European Journal of Sport Science*, 16(7), 845–849. <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1156163>
- Meffert, D., O'Shannessy, C., Born, P., Grambow, R., & Vogt, T. (2018). Tennis serve performances at break points: Approaching practice patterns for coaching. *European journal of sport science*, 18(8), 1151-1157.
- 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>
- Sakurai, S., Reid, M., & Elliott, B. (2013). Ball spin in the tennis serve: spin rate and axis of rotation. *Sports Biomechanics*, 12(1), 23-29.
- Talaat, S., Ellabany, E., & Attaallah, M. A. I. (2015). Kinematic Analysis of the Whole Body Center of Gravity Trajectory and Time Structure of the Tennis Serve Performance. *Journal of Applied Sports Science*, 5(4), 76–81. <https://doi.org/10.21608/jass.2015.84528>
- Vaverka, F., Nykodym, J., Hendl, J., Zhanel, J., & Zahradnik, D. (2018). Association between serve speed and court surface in tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(2), 262-272.
- Zhu, Z. (2017, April). Research on Sports Biomechanics Based on Tennis Serve Technique. In *2017 5th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology (ICMMCT 2017)* (pp. 1333-1338). Atlantis Press.