

Analisis Perubahan Momentum Tubuh Bagian Atas Pada Saat Pukulan Tennis One-Handed Backhand Drive

Agus Rusdiana*¹

¹Program Studi Ilmu Keolahragaan, Fakultas Pendidikan Olahraga dan Kesehatan, Universitas Pendidikan Indonesia
Email corresponding author*: agus.rusdiana@upi.edu

ARTICLE INFO

Article history

Received 2021-02-02

Revised 2021-03-24

Accepted 2021-06-09

Keywords

tennis
one-handed backhand
linear angular momentum
biomechanics

Kata kunci

tennis
one-handed backhand
linear angular momentum
biomekanika

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the displacement of linear and angular momentum from upper body movement when performing a one-handed backhand drive in tennis. The backhand drive is one of the most frequently used techniques in playing tennis. Very few studies have analyzed the perspective study of the linear transfer of momentum and rotational momentum from upper extremity to the impact of the ball with a racket when making a one-handed backhand drive. Subjects in this study were 12 male tennis players (mean \pm SD; age 27 ± 3.7 years, height 169 ± 7.4 cm, body weight 71.5 ± 8.3 kg). The method used is descriptive with a qualitative approach. The results of this study indicate that the hand segment contributes significantly to changes in linear momentum (leading and vertical direction) and angular momentum (supination). The conclusion of this research is that understanding about changes in kinetic motion, momentum and force is very important to be understood by players and coaches in an effort to improve the performance of backhand drive quality in tennis.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perpindahan linear dan angular momentum dari gerak tubuh bagian atas (*upper extremity*) sampai perkenaan bola dengan raket pada saat melakukan pukulan *backhand drive* dengan satu tangan pada permainan tenis. Pukulan *backhand drive* adalah salah satu teknik yang paling sering digunakan dalam bermain tenis. Sangat sedikit penelitian yang menganalisis kajian terkait transfer linear momentum dan momentum rotasi dari gerak *upper extremity* sampai perkenaan bola dengan raket pada saat melakukan pukulan *backhand drive* dengan satu tangan. Subjek dalam penelitian ini adalah pemain tenis putra yang berjumlah 12 orang (rata-rata \pm SD; usia 27 ± 3.7 tahun, tinggi batang tubuh 169 ± 7.4 cm, berat batang tubuh 71.5 ± 8.3 kg). Metode yang digunakan adalah deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa segmen tangan berkontribusi signifikan terhadap perubahan linear momentum (*leading dan vertical direction*) dan angular momentum (*supination*). Kesimpulan hasil penelitian ini adalah bahwa pemahaman tentang perubahan gerak kinetika, momentum dan *force* sangat penting dipahami pemain dan pelatih dalam upaya meningkatkan performa kualitas pukulan *backhand drive* dalam permainan tenis.

Artikel ini open akses sesuai dengan lisensi [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



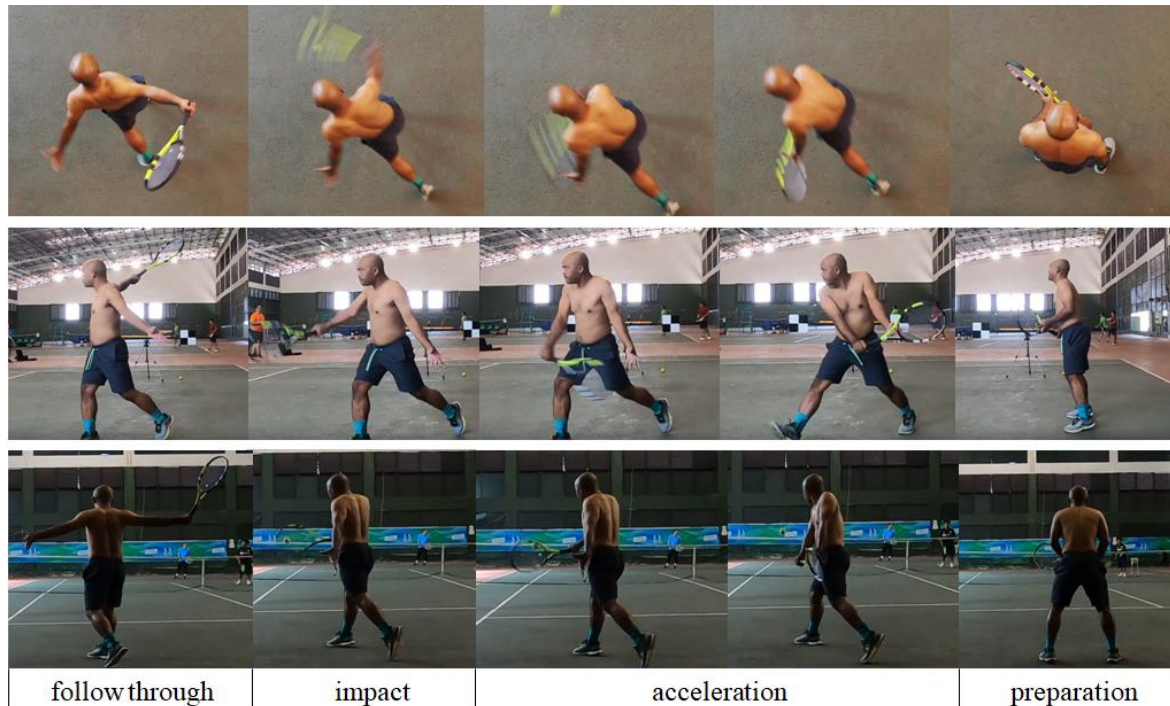
Pukulan *backhand drive* adalah salah satu teknik yang paling sering digunakan dalam permainan tenis (Kentel et al., 2011). Kesuksesan bermain tenis sangat dipengaruhi oleh teknik yang digunakan pemain selama pertandingan (Iwamoto et al., 2013). Perkembangan ilmu biomekanik olahraga telah memberikan konsep-konsep baru dalam pelatihan olahraga dan analisis gerakan teknik pemain secara komprehensif khususnya pada permainan tenis (Loftice et al., 2004). Pada saat pukulan *backhand drive* harmonisasi rangkaian gerak yang dimulai dari reaksi gaya tubuh bagian bawah

(*ground reaction force of lower body*) yang kemudian ditransfer melalui gerak segmen batang tubuh (*trunk*) dan dilanjutkan dengan gerak pada persendian tubuh bagian atas (*upper limb joint*) sampai kepada pergerakan raket merupakan komponen utama dalam menerapkan prinsip “*kinetic chain movement*” yang menghasilkan pukulan secara efektif dan efisien (Lo & Hsieh, 2016).

Kecepatan maksimal rotasi eksternal sendi bahu (*maximal of shoulder external rotation*) dan ayunan lengan atas (*backswing of upper arm*) merupakan faktor penting dalam menghasilkan kekuatan gaya (*force*) yang lebih besar pada saat pukulan *backhand drive* (Wu et al., 2001). Menurut Wang et al., (2010) bahwa pukulan *backhand drive* dua tangan tidak hanya didukung oleh kecepatan putaran gerak *trunk rotation*, tetapi juga ditentukan oleh jumlah momentum yang dihasilkan dari sendi bahu dan pergelangan tangan. Selanjutnya, untuk meningkatkan laju bola setelah *impact* terjadi, maka sangat diperlukan ayunan kecepatan raket yang lebih kuat (Landlinger et al., 2012). Pukulan *backhand drive* ini melibatkan banyak gerak segmen tubuh terutama tungkai kaki (*leg*), pinggul (*hip*), batang tubuh (*trunk*), lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*forearm*), dan tangan (*hand*) (Alexandros et al., 2013). Adapun penelitian yang dilakukan oleh Genevois et al., (2014) menunjukkan bahwa pada kelompok pemain dengan keterampilan tingkat tinggi (*advance player group*) hasil kecepatan maksimal ayunan raket diperoleh dari kekuatan gaya lengan atas (*force of upper arm*), sedangkan untuk kelompok pemain pemula (*novice player group*) kecepatan maksimal raket diperoleh dari gerakan pergelangan tangan (*wrist*) dan siku (*elbow*). Selain itu, selama rangkaian gerak pukulan *backhand drive* satu tangan, kecepatan rotasi pinggul (*hip rotation*) sebagai pusat rotasi tubuh memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kecepatan gerak persendian tubuh bagian atas (*upper limb joint*) (Mavvidis et al., 2005). Kecepatan maksimal lengan bawah (*forearm*) dan tangan (*hand*) pada fase akselerasi akan menghasilkan stabilitas gaya dorong ke depan yang lebih besar yang berdampak terhadap kecepatan siku (*elbow velocity*) dan kecepatan putaran rotasi bahu (*shoulder rotation*) yang lebih besar dengan lengan momen rotasi yang lebih panjang dari pusat masa tubuh (King et al., 2011). Selanjutnya, Reid & Duffield, (2014) melaporkan dalam kajian *backhand tennis* bahwa kecepatan raket menurun sekitar 10% sebelum *impact* terjadi, apabila akselerasi raket saat benturan dengan bola terlalu cepat, maka akan mengakibatkan “*tennis elbow*” yang diakibatkan dari gerak ekstensi pergelangan tangan (*wrist extension*) yang terlalu kuat. Harmonisasi urutan rantai gerak dari batang tubuh (*trunk*), lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*forearm*) dan tangan (*hand*) sangat mempengaruhi kualitas pukulan *backhand drive* dengan satu tangan (Erman et al., 2013).

Kajian dari *linear* dan *angular momentum* serta *ground reaction force* dari gerak tubuh bagian bawah (*lower body*) sampai kepada perubahan momentum raket yang diakibatkan dari gerak setiap segmen tubuh merupakan pembahasan yang menarik sekarang ini sebagai konsep utama dalam menganalisis gerak teknik pukulan *backhand drive* dengan pendekatan analisis tiga dimensi (Stępień et al., 2011). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perpindahan perubahan momentum gerak pada segmen batang tubuh (*trunk*) dan juga seluruh segmen tubuh bagian atas

(*upper extrimity*) sampai kepada gerak raket pada saat melakukan pukulan teknik *backhand drive* satu tangan dalam permainan tenis. Penelitian ini mengasumsikan bahwa perubahan momentum untuk setiap gerak seluruh segmen tubuh akan memberikan kontribusi terhadap kecepatan maksimal raket yang dihasilkan seperti diilustrasikan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Fase *preparation*, *acceleration*, *impact* dan *follow-through* pada saat pukulan *backhand drive* satu tangan foto dari atas, samping dan belakang (sumber: penulis)

METODE

Partisipan

Subjek dalam penelitian ini adalah pemain tenis putra yang berjumlah 12 orang (rata-rata \pm SD; usia 27 ± 3.7 tahun, tinggi badan 169.5 ± 7.4 cm, berat tubuh 71.5 ± 8.3 kg). Semua partisipan memberikan persetujuan untuk ikut berpartisipasi pada penelitian ini dengan mengisi formulir yang sudah diberikan sebelumnya, selain itu semua sampel dipastikan tidak sedang mengalami cedera. Kemudian, sebelum pelaksanaan kegiatan di mulai mereka mendapatkan penjelasan teknis terkait dengan prosedur tahapan tes secara komprehensif. Adapun tempat tes pengambilan data dilakukan di lapangan tenis indoor FPOK Universitas Pendidikan Indonesia.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Deskriptif adalah metode penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan atau menggambarkan secara sistematis fakta dengan akurat tentang gejala tertentu yang menjadi pusat perhatian peneliti.

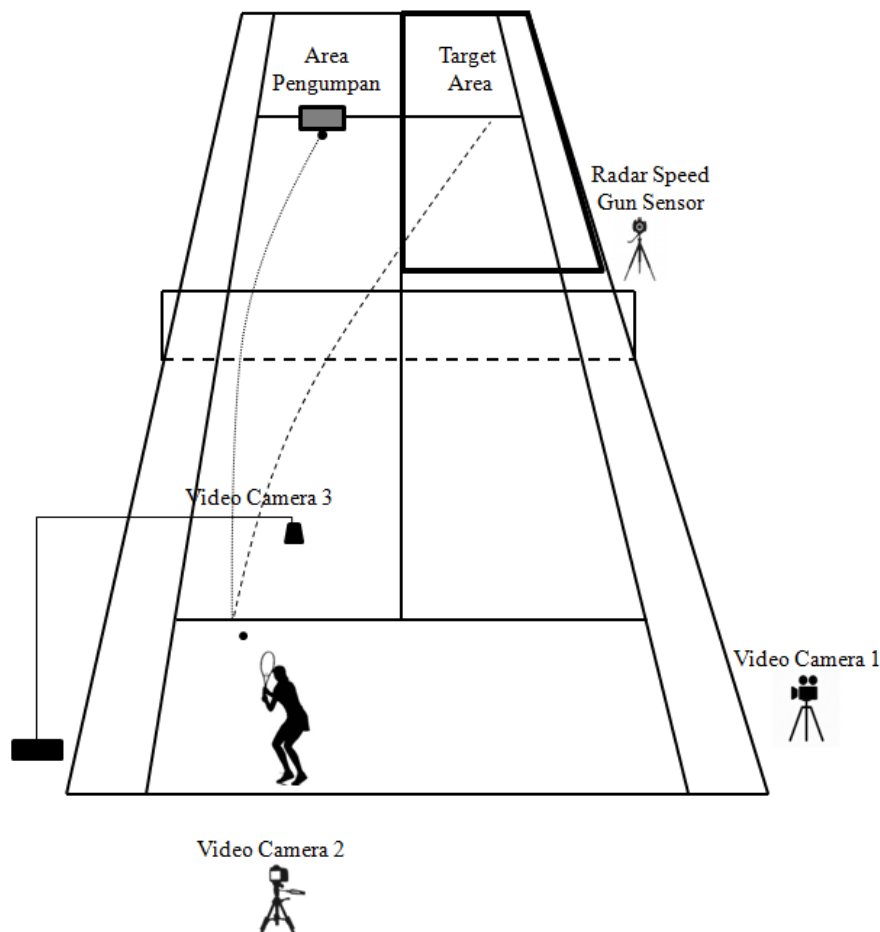
Instrumen Penelitian

Instrumen dalam penelitian ini menggunakan tiga buah *video camera* (Panasonic Handycam HC-

V100 Full HD, Japan), kalibrasi tiga dimensi, satu buah 3D *motion analysis software* (Frame DIAZ IV, Japan), satu set manul marker dan satu buah *radar speed gun* (Bushnell Speed gun 101911, Italia).

Prosedur Pelaksanaan Pengambilan Data

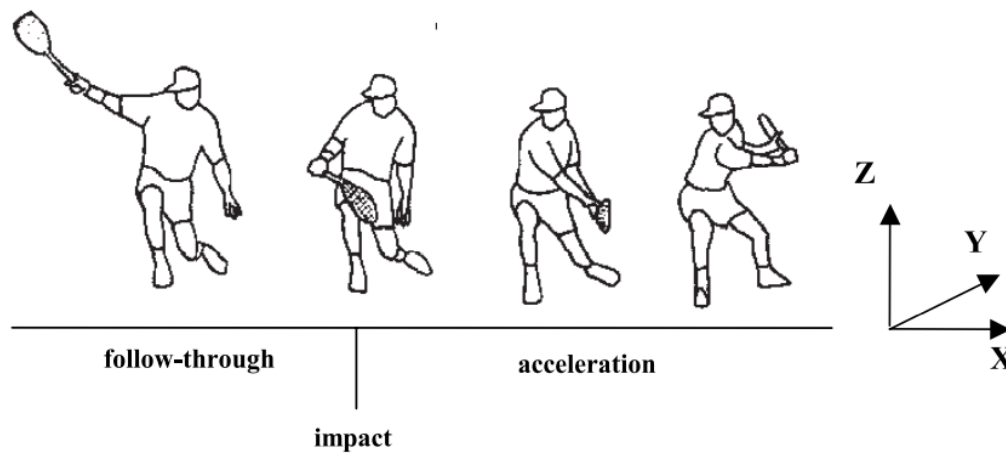
Sebelum pelaksanaan tes dilaksanakan, semua partisipan melakukan pemanasan sekitar 15 menit yang kemudian dilanjutkan dengan melakukan pukulan *backhand drive* dengan menggunakan raket sendiri dengan tujuan agar lebih nyaman dan cepat untuk beradaptasi. subjek berdiri pada garis belakang lapangan (*baseline*), kemudian melakukan pukulan *backhand drive* ke arah target area yang sudah ditentukan. *Backhand drive* dilakukan sebanyak 12 kali pukulan dengan ketentuan bahwa bola yang keluar dari target area atau mengenai net maka tidak dipertimbangkan untuk penilaian.



Gambar 2. Skema gambar pengambilan data dari arah belakang (sumber: penulis)

Pada gambar 2 menjelaskan posisi *video camera* dan skema setting lapangan, untuk posisi pengumpan yaitu berdiri pada garis tengah sebelah kiri servis area daerah lapangan lawan yang sejajar dengan subjek berdiri. Sedangkan posisi subjek berada pada garis belakang lapangan (*baseline*) yang tegak lurus sejajar dengan posisi pengumpan bola. Pengukuran kecepatan bola dalam penelitian ini menggunakan satu buah *radar speed gun* dengan *shutter speed* 100 hz yang diletakan dekat net

dengan jarak 45 cm di luar garis lapangan. *Video camera* 1 disimpan sebelah kanan garis samping lapangan dengan jarak 3.5m tegak lurus dengan posisi subjek berdiri. Kemudian, *video camera* 2 diposisikan dibelakang garis lapangan yang sejajar dengan area subjek dengan jarak 2m dari posisi berdiri pemain. Selanjutnya, posisi *video camera* 3 ditempatkan di atas posisi subjek berdiri yang tegak lurus vertikal dengan posisi subjek. Ke tiga buah *video camera* tersebut diatur penggunaannya yang disesuaikan dengan kebutuhan karakteristik penelitian yaitu untuk *frame rate* nya adalah 100 hz, *shuttle speed* 250s dan *exposure time* 1/1200s. Sedangkan untuk keperluan kalibrasi dan pengolahan data yang di analisis secara tiga dimensi dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Direct Linear Transformation Calibration Structure* yang dikembangkan oleh abdel aziz (Kawasaki et al., 2005).



Gambar 3. Fase gerak acceleration, impact dan follow-through pada saat pukulan backhand drive satu tangan (sumber: Akutagawa & Kojima, (2005))

Untuk mempermudah memahami perpindahan momentum segmen tubuh bagian atas (*upper extremity*) dalam menganalisis teknik pukulan *backhand drive* satu tangan, maka dilakukan perhitungan pada semua komponen linear dan angular momentum dari pusat koordinat setiap segmen tubuh yang diintegrasikan ke dalam sistem pusat koordinat lapangan yang sebenarnya yang dijelaskan pada gambar 3 di atas. Adapun untuk sumbu Y menunjukkan ke arah depan (*leading direction*), arah sebelah sisi kanan lapangan (sumbu-X) dan arah ke atas sebagai sumbu Z. Tiga arah titik koordinat tersebut didefinisikan sebagai fleksi-ekstensi (*flexion-extension*), fleksi lateral kanan dan kiri (*right-left lateral flexion*) serta rotasi internal dan eksternal (*internal-external rotation*). Selanjutnya untuk mengidentifikasi perubahan momentum tertinggi pada saat pukulan *backhand drive* yaitu dengan menentukan arah gerak ke depan (*leading direction*) dan arah ke bawah (*downward direction*), sedangkan untuk angular momentum perhitungan lebih fokus pada sumbu rotasi Y pada fase percepatan (*acceleration phase*), *impact phase* dan fase gerak lanjutan (*follow-through phase*).

Analisis Data

Data koordinat tiga dimensi dihasilkan dari tanda yang ditempelkan pada setiap segmen tubuh pemain. Segmen tubuh terdiri dari kepala (*head*), batang tubuh (*trunk*), lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*forearm*) dan tangan (*hand*). Semua nilai momentum dihitung dengan perangkat lunak

3D *motion analysis software* (Frame DIAS IV, Japan). Sedangkan perhitungan linear dan angular momentum gerak segmen tubuh menggunakan model dari metode yang dikembangkan sebelumnya oleh Dapena (Cam et al., 2013).

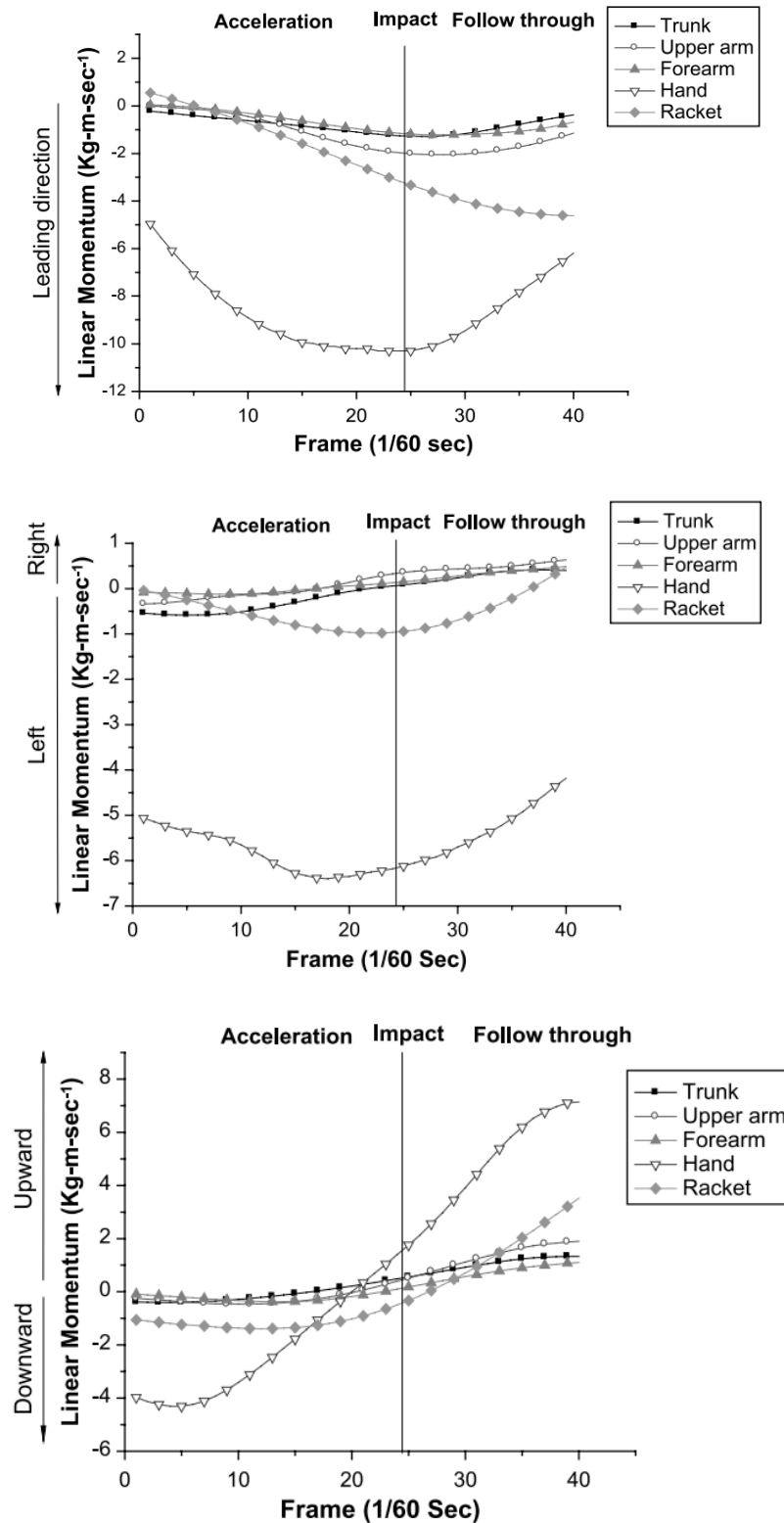
HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi data perubahan linear dan angular momentum dari gerak batang tubuh (*trunk*), lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*forearm*), tangan (*hand*) dan raket pada fase *acceleration*, *impact* dan *follow-through* selama pukulan *backhand drive* dijelaskan pada gambar 4 di bawah ini.

Linear Momentum

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa linear momentum dari raket dan tangan terdapat kesamaan pola gerak selama pukulan *backhand drive*. Perpindahan linear momentum dari *trunk*, *upper arm* dan *forearm* diawali gerak ke arah depan (*forward*) dan ke sebelah kiri (*leftward*) pada fase *acceleration*, kemudian gerakan berubah ke arah sebelah kanan (*rightward*) setelah terjadi perkenaan benturan antara raket dan bola. Nilai tertinggi *linear momentum leftward* pada fase *acceleration* adalah 6.5 kg.m/s-1 yang ditunjukkan pada gerak segmen tangan (*hand*), sedangkan *peak linear momentum leftward* pada raket sebesar 1 kg.m/s-1 terjadi pada saat *impact* yang dijelaskan pada gambar 4 bagian tengah. Tingkat perubahan tertinggi linear momentum ditemukan pada segmen tangan (*hand*) dengan besaran momentum mencapai hasil 10 kg.m/s-1 yang terjadi pada fase *impact*. Hal ini menunjukkan bahwa gerak segmen tangan (*hand*) memberikan kekuatan gaya (*force*) tertinggi selama fase *acceleration* sampai dengan *impact phase* yang dijelaskan pada gambar 4 bagian sebelah kiri. Diantara tiga arah linear momentum, tingkat perubahan momentum tertinggi ditemukan pada segmen tangan pada arah gerak vertikal.

Peningkatan kecepatan bagian distal tangan disebabkan oleh terjadinya rangkaian gerakan pada segmen *proximal trunk*, *upper arm* dan *forearm* secara berurutan (Fragnière et al., 2001). Selain itu, perpindahan momentum dari gerak proksimal ke distal disebabkan oleh kontraksi otot-otot segmen tubuh yang terlibat. Masa segmen tangan (*hand*) relatif jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan segmen lainnya, akan tetapi segmen tangan memiliki besaran linear momentum yang paling tinggi dari ke empat komponen segmen tersebut. Selain itu juga, gaya kekuatan tangan memberikan kontribusi yang paling besar selama fase awal *acceleration* sampai dengan *follow-through* saat pukulan *backhand drive* satu tangan. Sedangkan, ekstensi pergelangan tangan (*wrist extension*) memberikan dukungan gerak yang lebih besar untuk meningkatkan kecepatan segmen tangan serta memberikan dukungan akselerasi tertinggi di antara gerak seluruh segmen lainnya pada fase akselerasi. Besarnya kecepatan akselerasi segmen tangan dan juga lengan bagian bawah (*forearm*) pada saat *impact* mengakibatkan terjadinya dorongan gaya maksimum (*maximum force*) pada pergelangan tangan dengan mencapai 331.5 ± 140.7 N.

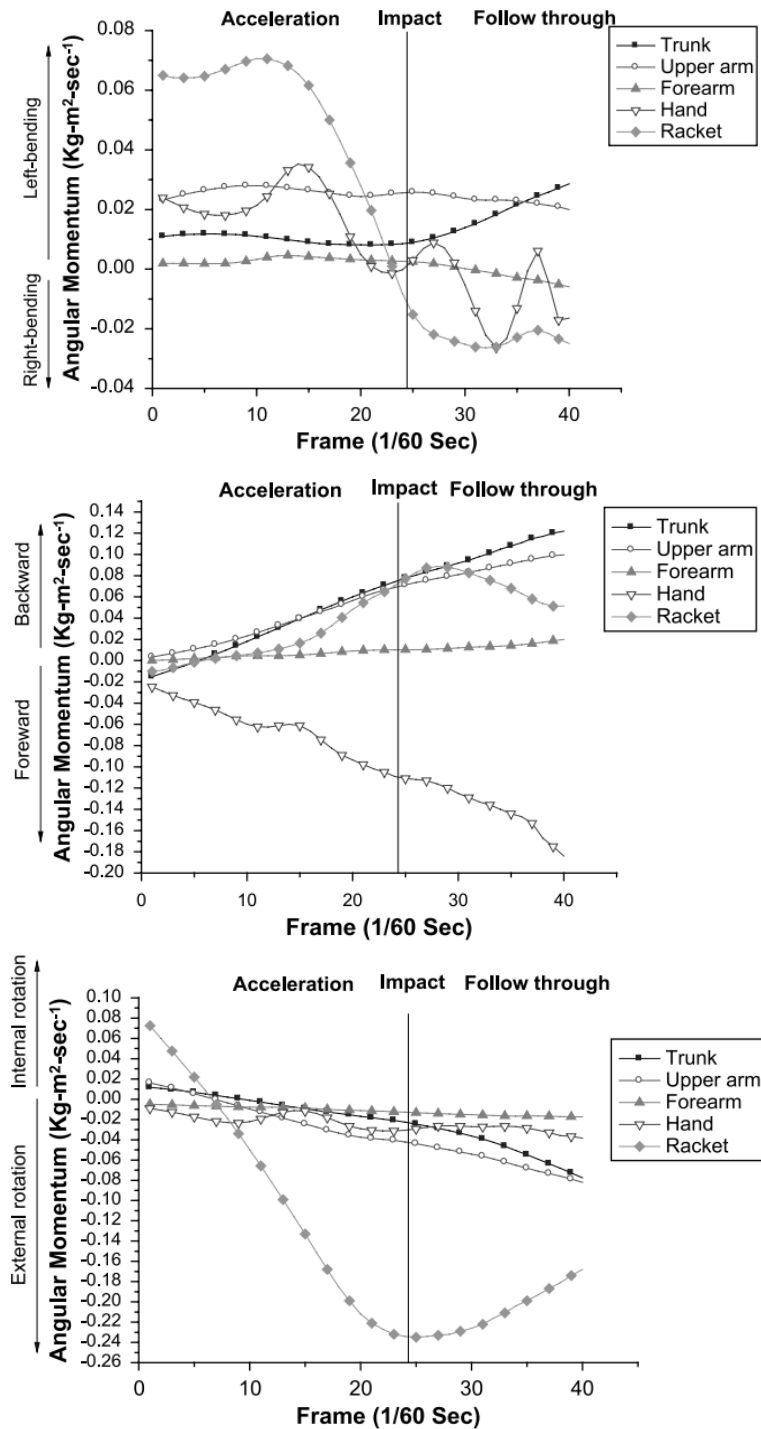


Gambar 4. Deskripsi data linear momentum dari gerak *trunk*, *upper arm*, *forearm*, *hand* dan raket pada arah gerak *leading direction* (atas), *left/right* (tengah) dan *downward-upward direction* (bawah).

Angular Momentum

Momentum putaran ekstensi dari segmen batang tubuh (*trunk extension angular momentum*), gerak elevasi lengan atas (*upper arm elevation*) yang dijelaskan pada gambar 5 bagian tengah dan *external*

rotation angular momentum dari kedua segmen tersebut mengalami peningkatan yang signifikan selama fase *acceleration* (gambar 5 sebelah bawah).



Gambar 5. Deskripsi data angular momentum dari gerak *trunk*, *upper arm*, *forearm*, *hand* dan raket pada arah gerak *left/right lateral flexion* (atas), *extension-flexion* (tengah) dan *internal-external rotation* (bawah).

Putaran perpindahan angular momentum dari batang tubuh (*trunk*) and lengan atas (*upper arm*) pada saat *impact* terjadi menunjukkan hasil yang hampir sama dengan besaran mencapai 0.07 kg.m/s-1, sedangkan besaran nilai yang dicapai pada gerak *external rotation angular momentum* adalah 0.02

sampai dengan 0.04 kg.m/s-1. Selanjutnya pada gambar 5 bagian atas menunjukkan bahwa angular momentum yang dihasilkan oleh raket dan tangan pada fase *acceleration* sampai mendekati *impact* memiliki pola gerak yang hampir sama. Pada saat fase awal akselerasi, pergelangan tangan terlebih dahulu melakukan gerak *radial flexion* untuk mengangkat raket, kemudian dilanjutkan dengan merubah gerak menjadi *ulnar flexion* dengan menurunkan raket hingga sejajar dengan pinggul sampai *impact*, besaran nilai putaran angular momentum mencapai 0.025 kg.m/s-1.

Dari sudut pandang kajian transformasi energi, hal ini menunjukkan bahwa gerakan radial fleksi pergelangan tangan (*wrist radial flexion*) dapat meningkatkan energi potensial yang akan berdampak terhadap pengeluaran energi kinetik yang lebih efisien terutama pada fase *acceleration* sampai dengan *impact phase* (Blackwell & Cole, 1994). Pengaruh lain dari gerak ini yaitu dapat meningkatkan kecepatan *topspin* bola selama *drive backhand* satu tangan berlangsung (Kibele et al., 2009). Selain itu, nilai angular momentum saat gerak supinasi lengan bawah (*forearm supination*) menunjukkan grafik yang terus meningkat mulai dari fase awal akselerasi sampai dengan *follow-through*, sedangkan, pada saat *impact* terjadi nilai angular momentum mencapai 0.10 kg.m/s-1 yang dijelaskan pada gambar 5 bagian tengah. Angular momentum tertinggi dari segmen raket didapatkan setelah benturan terjadi antara raket dan bola dengan besaran nilai mencapai 0.09 kg.m/s-1 (gambar 5 bagian tengah). Selain itu, nilai tertinggi angular momentum dari gerak *right lateral-flexion* mencapai 0.23 kg.m/s-1 pada saat *impact* (gambar 5 sebelah bawah). Selanjutnya, segmen tangan memberikan kontribusi paling besar terhadap kecepatan momentum raket di antara semua segmen tubuh lainnya pada saat pukulan *backhand drive*. Menurut (Wang et al., 2010) bahwa perbedaan utama dari kedua pukulan *backhand* dan *forehand drive* adalah perubahan angular momentum gerak supinasi pada lengan bawah (*forearm supination*) yang membantu memberikan kekuatan ayunan raket terutama fase awal *acceleration*.

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan penjelasan komprehensif terkait analisis linear dan angular momentum pada segmen bagian batang tubuh (*trunk*), lengan atas (*upper arm*), lengan bawah (*forearm*), tangan (*hand*), dan raket selama fase *acceleration*, *impact*, dan *follow-through* pada gerakan pukulan *backhand drive* satu tangan dalam permainan tenis. Hasil penelitian ini semakin memperkuat terkait dengan prinsip transmisi momentum (*momentum transmission principle*) yaitu momentum didapatkan dari gerak segmen proksimal ke segmen distal yang diakibatkan pengaruh gaya kontraksi otot yang kuat dengan menghasilkan daya dukung maksimal pada setiap gerak segmen tubuh selama gerakan pukulan *backhand drive* satu tangan. Sedangkan, segmen tangan memberikan gaya dorong terbesar terhadap perubahan linear momentum dari arah depan dan vertikal (*leading and vertical direction*) serta kekuatan putaran angular momentum pada saat tangan melakukan gerak supinasi. Raket dan tangan menunjukkan pola gerak yang sama pada saat terjadi perubahan linear momentum pada ketiga

arah gerakan. Selain itu, tangan menunjukkan perubahan linear momentum yang lebih besar daripada momentum batang tubuh (*trunk*), lengan atas (*upper arm*) dan lengan bawah (*forearm*).

DAFTAR PUSTAKA

- Akutagawa, S., & Kojima, T. (2005). Trunk rotation torques through the hip joints during the one- and two-handed backhand tennis strokes. *Journal of Sports Sciences*, 23(8), 781–793. <https://doi.org/10.1080/02640410400021609>.
- Alexandros, M., Christina, K., Nikolaos, G., & Konstantinos, M. (2013). Effectiveness of backhand with one and two hands in teaching adult men beginners in tennis. *Journal of Physical Education and Sport*, 13(3), 415–418. <https://doi.org/10.7752/jpes.2013.03066>.
- Blackwell, J. R., & Cole, K. J. (1994). Wrist kinematics differ in expert and novice tennis players performing the backhand stroke: Implications for tennis elbow. *Journal of Biomechanics*, 27(5), 509–516. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0021-9290(94)90062-0).
- Cam, İ., Turhan, B., & Onag, Z. (2013). The analysis of the last shots of the top-level tennis players in open tennis tournaments. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 15(1), 54–57. <https://doi.org/10.15314/tjse.82239>.
- Erman, K. A., Şahan, A., & Küçükkaya, A. (2013). The Effect of One and Two-handed Backhand Strokes on Hand-Eye Coordination in Tennis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 93, 1800–1804. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.120>.
- Fraginière, B., Landry, M., & Siegrist, O. (2001). Stress fracture of the ulna in a professional tennis player using a double-handed backhand stroke. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9(4), 239–241. <https://doi.org/10.1007/s001670100215>.
- Genevois, C., Reid, M., Rogowski, I., & Crespo, M. (2014). Performance factors related to the different tennis backhand groundstrokes: A review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), 194–202.
- Iwamoto, S., Fukubayashi, T., & Hume, P. (2013). Pelvic rotation and lower extremity motion with two different front foot directions in the tennis backhand groundstroke. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(2), 339–345.
- Kawasaki, S., Imai, S., Inaoka, H., Masuda, T., Ishida, A., Okawa, A., & Shinomiya, K. (2005). The lower lumbar spine moment and the axial rotational motion of a body during one-handed and double-handed backhand stroke in tennis. *International Journal of Sports Medicine*, 26(8), 617–621. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830338>.
- Kentel, B. B., King, M. A., & Mitchell, S. R. (2011). Evaluation of a subject-specific, torque-driven computer simulation model of one-handed tennis backhand ground strokes. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(4), 345–354. <https://doi.org/10.1123/jab.27.4.345>.
- Kibele, A., Classen, C., & Triebfuerst, K. (2009). Standardized Testing of Forehand and Backhand Groundstrokes in Tennis through a Bird ' s Eye Perspective. *ITF Coaching & Sport Science Review*, 16(49), 14–16.
- King, M. A., Glynn, J. A., & Mitchell, S. R. (2011). Subject-specific computer simulation model for determining elbow loading in one-handed tennis backhand groundstrokes. *Sports Biomechanics*, 10(4), 391–406. <https://doi.org/10.1080/14763141.2011.629306>.

- Landlinger, J., Stöggel, T., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2012). Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. *European Journal of Sport Science*, 12(4), 301–308. <https://doi.org/10.1080/17461391.2011.566363>.
- Lo, K. C., & Hsieh, Y. C. (2016). Comparison of ball-and-racket impact force in two-handed backhand stroke stances for different-skill-level tennis players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(2), 301–307.
- Loftice, J., Fleisig, G. S., Zheng, N., & Andrews, J. R. (2004). Biomechanics of the elbow in sports. *Clinics in Sports Medicine*, 23(4), 519–530. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2004.06.003>.
- Mavvidis, A., Metaxas, T., Riganas, C., & Koronas, K. (2005). Speed differences between forehand and backhand in intermediate tennis players. *Kinesiology*, 37, 159–163.
- Reid, M., & Duffield, R. (2014). The development of fatigue during match-play tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(SUPPL. 1), 2–7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093196>.
- Reid, M., & Elliott, B. (2002). Tennis: The one- and two-handed backhands in tennis. *Sports Biomechanics*, 1(1), 47–68. <https://doi.org/10.1080/14763140208522786>.
- Stepień, A., Bober, T., & Zawadzki, J. (2011). The kinematics of trunk and upper extremities in one-handed and two-handed backhand stroke. *Journal of Human Kinetics*, 30(1), 37–47. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0071-4>.
- Wang, L. H., Lin, H. T., Lo, K. C., Hsieh, Y. C., & Su, F. C. (2010). Comparison of segmental linear and angular momentum transfers in two-handed backhand stroke stances for different skill level tennis players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.06.002>.
- Wu, S. K., Gross, M. T., Prentice, W. E., & Yu, B. (2001). Comparison of ball-and-racquet impact force between two tennis backhand stroke techniques. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 31(5), 247–254. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.5.247>.