

BAB VI. SOFTWARE BIOFOR MOTION ANALYSIS UNTUK EVALUASI GERAK BIOMEKANIKA TENIS DENGAN TEKNIK PUKULAN *FOREHAND*

Ricko Irawan¹, Mahalul Azam², Setya Rahayu³, Heny Setyawati⁴, Soedjatmiko⁵, Tri Nurharsono⁶, Bambang Priyono⁷, Anan Nugroho⁸, Sesaria Nisa Afifi⁹, Alif Mazida Salsabila¹⁰, Sri Lestari¹¹, Ahmad Zein¹²

¹Program Studi Pendidikan Jasmani, FIK, Universitas Negeri Semarang

²Program Studi Kedokteran, FK, Universitas Negeri Semarang

³Program Studi Ilmu Keolahragaan, FIK, Universitas Negeri Semarang

⁴Program Studi Kepelatihan Olahraga, FIK, Universitas Negeri Semarang

⁵Program Studi Teknik Elektro, FT, Universitas Negeri Semarang

⁶Sekolah Menengah Atas Negeri 05 Semarang
rickoirawan@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/km.v1i3.98>

ABSTRAK

Modernisasi ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya olahraga tenis lapangan sudah sangat pesat di negara lain. Indonesia masih sangat jauh ketinggalan dalam hal Ipteks. Banyak pelatih yang masih menganalisis dan evaluasi program latihan secara konvensional tanpa melibatkan ipteks, sehingga pelatih tidak dapat mengidentifikasi kebutuhan atlet. Belum adanya *software* di dunia pertennisan Indonesia yang dapat menganalisis gerak biomekanika dalam meningkatkan kualitas teknik secara otomatis serta lemahnya kecepatan pukulan *forehand* menjadi perhatian. Pelatih masih menganalisis gerak biomekanika dalam menghasilkan kecepatan pukulan tanpa di dukung ipteks, sehingga menyebabkan analisis tidak tepat dan akurat. Permasalahan gerak biomekanika tentunya tidak dapat diamati tanpa adanya alat bantu yang dapat

merekam gerakan atlet secara menyeluruh. Alat bantu digunakan untuk mengevaluasi kesalahan gerak atlet dengan media yang lebih modern. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi inovatif berbasis *software*. *Software* berupa aplikasi android yang terkoneksi otomatis pada sistem. *Software* diharapkan mampu menganalisis kebutuhan biomekanika dalam menghasilkan kecepatan pukulan *forehand* sehingga diharapkan dapat menghasilkan pukulan yang konsisten dan berdaya ledak tinggi. Dikembangkan alat ini dapat membantu pelatih meningkatkan potensi dan performa atletnya secara berjenjang dan berkesinambungan.

Kata kunci: alat bantu, atlet, biomekanika, *forehand*, pelatih

PENDAHULUAN

Macam-macam teknik pukulan dalam tenis yaitu *forehand*, *baghand*, voli, *smash* dan servis dimana dari teknik-teknik tersebut pukulan *forehand*. Pukulan ini yang paling dominan digunakan petenis (Ibrahim *et al.*, 2013). Pukulan *forehand* adalah pukulan paling alami, paling mudah dipelajari dan paling sering digunakan pada permainan tenis (Brown & Soulier, 2013). Pada pertandingan tenis yang kompetitif, sudah menjadi rahasia umum bahwa poin sering dimenangkan atau hilang dengan *groundstroke forehand* yang kuat dan konsisten (Kwon *et al.*, 2017). Pada pemain tenis elit dianalisis distribusi pukulan akhir suatu *rally* dalam perolehan point terungkap bahwa *forehand* dikaitkan dengan lebih banyak poin yang dimenangkan daripada pukulan *backhand* (Genevois *et al.*, 2015).

Kecepatan pukulan *forehand* sangatlah penting pada olahraga tenis lapangan. Era 80-an karakteristik permainan masih menggunakan pukulan *baseline*, pemain seperti: Bjorn Borg, Jimmy Connors dan Lendl Billie. Tetapi tenis era modern sudah berubah karena tenis sekarang mengandalkan *speed and power*. Para pemain top dunia yang memperagakan *speed and power* seperti Roger Federer, Rafael Nadal dan Novak Jokovic (Guntur *et al.*, 2020).

Speed and power merupakan gabungan kecepatan dan kekuatan sehingga akan menghasilkan pukulan yang berdaya ledak tinggi dengan akurasi pukulan yang tinggi. Indikator pukulan *forehand* dikatakan berdaya ledak tinggi adalah mempunyai kecepatan bola yang tinggi. Jika altet ingin mendapatkan hasil pukulan *forehand* yang cepat maka diperlukan ayunan atau *swing* yang cepat pula.

Pukulan yang keras dihasilkan oleh gaya (kekuatan) yang besar, maka *swing* harus dipercepat dikarenakan *swing* mengikuti kaidah dengan rumus $V = s/t$ yang artinya $V =$ kecepatan, $s =$ jarak dan $t =$ waktu. Hukum Newton I menyatakan benda akan tetap diam jika tidak ada gaya yang bekerja padanya. Saat melakukan pukulan *forehand*, maka bola yang bergerak dipengaruhi gaya yang bekerja pada bola tersebut, semakin cepat jalannya bola maka semakin besar gaya yang (Abdurrtamat, 2011).

Teknik pada olahraga tenis harus dibentuk sejak dini. Banyak atlet berbakat yang sebenarnya mampu mengeluarkan potensinya terhambat oleh ketidaktahuan pelatih dalam menganalisis gerak biomekanika teknik pukulan atletnya utamanya pukulan *forehand*. Berdasarkan temuan bahwa belum banyak pelatih yang melakukan analisis gerakan biomekanika diantaranya perekam gerak dan aplikasi geraknya. Ibarat bangunan, teknik adalah fondasi utama dalam perkembangan aspek-aspek lainnya seperti fisik, taktik, dan mental (Nugroho, 2014). Teknik yang benar sangat mempengaruhi kemampuan atlet untuk prestasi selanjutnya.

Gerak biomekanika teknik pukulan *forehand* dimulai dari *grip, ready position, back swing, swing, impact dan followtrough*. Rangkaian gerak ini harus dilakukan dengan baik dan benar sehingga nantinya akan menghasilkan pukulan yang berdaya ledak tinggi tanpa mengeluarkan tenaga yang besar. Hal inilah yang diharapkan seorang pelatih dan atlet sehingga pukulan menjadi lebih *efektif dan efisien*.

Banyak prestasi atlet yang macet diakibatkan kesalahan awal yaitu pembentukan teknik yang salah dan tidak segera dibenahi oleh pelatih. Seharusnya teknik atlet dapat berkembang mencapai ukuran 100% tetapi hasilnya hanya 70%. Hal ini diidentifikasi

karena penguasaan teknik petenis tidak optimal. Hasil observasi awal yang dilakukan peneliti pada beberapa atlet tenis Jawa Tengah di Club GTC pada tanggal 19 Mei 2021. Pelatih belum menggunakan media *software* maupun *hardware* untuk mengevaluasi gerak biomekanika dan bioenergetika atletnya. Pelatih masih lemah dalam melakukan evaluasi gerak biomekanika atletnya. Pelatih cenderung hanya menekankan pada metode latihan tetapi lemah dalam melakukan analisis dan evaluasi gerak biomekanika. Hasil wawancara dengan pelatih Nasional menyatakan bahwa lebih lanjut bahwa alat ukur dan evaluasi yang dilakukan masih secara tradisional dengan melakukan pengamatan sederhana tanpa melibatkan Ipteks.

Ipteks olahraga sangatlah penting dalam perkembangan dunia olahraga di era modern seperti sekarang ini. Pemanfaatan biomekanika olahraga berbasis Ipteks sangatlah diperlukan untuk menunjang perkembangan prestasi seorang atlet. Menurut (Commission, 2004) analisis kinerja gerak biomekanika meliputi 1) informasi yang dapat diakses oleh pelatih di seluruh dunia. 2) menangkap, mengkode, dan mendistribusikan dalam bentuk data elektronik. 3) mengakses dan menyusun informasi kinerja atlet tertentu. 4) mengoptimalkan metode pembinaan dan pelatihan. 5) dan mengintegrasikan dengan lingkungan.

Pada tanggal 27 September 2021 peneliti menggunakan metode pengamatan dan wawancara dengan alat bantu video, melakukan observasi lebih lanjut pada tiga orang atlet pada Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) tenis dengan teknik pukulan *forehand* yang sudah bagus dan tiga orang mahasiswa Ilmu *Coaching* Khusus (ICK) yang teknik pukulan *forehand* masih kurang bagus. Hasil analisis video dan pengamatan terjadi perbedaan yang jelas antara atlet UKM dan mahasiswa ICK.

Atlet UKM rata-rata menggunakan pegangan *semi-westren*, sedangkan mahasiswa ICK sebanyak satu orang menggunakan pegangan *estern* dan sebanyak dua orang menggunakan pegangan *continental*. Saat *ready position* dan tiga orang atlet dari UKM sudah pada posisi yang benar yaitu badan dibungkukkan ke depan dengan kedua kaki sejajar selebar bahu. Mahasiswa ICK sebanyak

dua orang posisi badan dibungkukan ke depan dengan kedua kaki dibuka selebar bahu dan satu orang badan berdiri tegak lurus walaupun kaki sudah dibuka selebar bahu sehingga akan berpengaruh pada keseimbangan. Pada aspek *back swing* sebanyak tiga orang atlet UKM raket ditarik ke atas bahu dan tiga orang atlet ICK raket masih ditarik di bawah bahu. Pada saat *swing* atau ayunan ke depan, kecepatan ayunan tidak dapat dilihat dan dianalisis menggunakan video sehingga tiga orang atlet UKM dan tiga orang mahasiswa ICK tidak diketahui kecepatan ayunannya. *Impact* bola dari tiga orang atlet UKM dan tiga orang mahasiswa ICK ketika menyambut momentum bola maka akan terlihat tiga orang atlet UKM menjemput bola datang, dan tiga orang mahasiswa menunggu bola datang. Pada aspek *followthrough* tiga orang atlet UKM sudah melakukan gerak akhir sampai terjadi pronasi yaitu posisi akhir raket berada di samping kiri badan dan tiga orang mahasiswa ICK *followthrough* masih berada di tengah badan.

Hasil observasi di dua kelompok yaitu UKM tenis Universitas Negeri Semarang (UNNES) dan GTC menemukan permasalahan yang sama yaitu belum pernah melakukan evaluasi teknik pukulan tenis meliputi *forehand*, *backhand*, servis, voli dan *smash* menggunakan alat bantu yang berbasis Ipteks sehingga hasil kecepatan dan akurasi pukulan tidak dapat diukur secara akurat. Kedua kelompok juga belum mempunyai instrumen dan parameter khusus untuk melakukan evaluasi teknik pukulan tenis.

Berdasarkan beberapa permasalahan tersebut peneliti memandang perlunya kemajuan Ipteks olahraga dan metode ilmu dalam pencapaian prestasi atlet tenis lapangan (Figueira *et al.*, 2018; Moriuchi *et al.*, 2017). Peneliti berusaha memecahkan permasalahan yang ada di lapangan dengan melibatkan Ipteks melalui sistem berbasis android yang dapat secara otomatis dan sistemis menganalisis dan mengevaluasi kebutuhan gerak biomekanika, kecepatan ayunan dalam menghasilkan kecepatan pukulan *forehand* dalam satu aplikasi yang terpadu. Sistem kerja aplikasi ini nantinya akan membaca gerakan atlet melalui foto/video yang diintegrasikan ke sistem android sehingga mempermudah pelatih menganalisis dan mengevaluasi rangkaian

gerak biomekanika dalam mendukung kecepatan pukulan *forehand* (Eaton *et al.*, 2013).

TAHAPAN TEKNIK PUKULAN FOREHAND

1. *Ready Position*

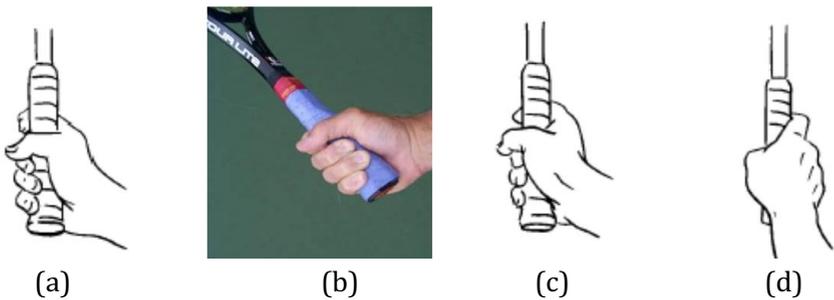
Pada pemain top *era modern* yang dikenal dengan tenis *speed and power* pondasi utama dalam bermain tenis menjadi sangatlah penting, utamanya pada teknik pegangan atau *grip*. Unsur pegangan yang baik akan menentukan gerak biomekanika yang benar selanjutnya (Reid *et al.*, 2013). Ada korelasi antara pegangan dengan kecepatan raket. *Grip* atau pegangan yang kuat sangat berpengaruh pada hasil pukulan yang diinginkan (Christensen *et al.*, 2016). Pegangan yang kuat menghasilkan peningkatan pada kecepatan rata-rata raket dibandingkan dengan kondisi grip normal. Jika pemain ingin menghasilkan pukulan *forehand top spin* maka dianjurkan menggunakan pegangan *semi-western*.

Seseorang dapat menentukan pegangan yang digunakan dengan menggunakan gerakan pada posisi *ready position*. *Ready position* secara ideal ditemukan pada posisi kepala raket harus lebih tinggi dari pegangan atau *grip*, kemudian leher raket dipegang oleh tangan kiri (apabila si pemain menggunakan tangan kanan) dan posisi raket agak menyamping ke kiri, hal ini dimungkinkan supaya refleks *back swing* dapat optimal. Seorang pemain dengan tangan kanan otomatis sering menggunakan atau dominan memfungsikan otak kanan daripada otak kirinya, sehingga pada suatu latihan otak kanan lebih cepat menerima respons dari pada otak kiri. Oleh karenanya pemain dengan tangan kanan untuk mengantisipasi bola datang pada sisi kiri posisi raket saat *ready position* diletakkan pada posisi lebih condong ke kiri supaya ketika bola datang pada posisi kiri *back swing* tidak terlambat.

Pertanyaannya bagaimana jika bola datang pada arah kanan? *No problem*, karena otak kanan sudah terbiasa digunakan sehari-hari sehingga walaupun posisi raket berada pada posisi kiri saat bola datang di posisi kanan refleks tetap akan dapat diterima dengan cepat. Saat *ready position* kaki dibuka selebar bahu, ini

berfungsi untuk keseimbangan badan dan lutut ditekuk untuk menghimpun tenaga pada otot tungkai, sedangkan badan condong ke depan juga berfungsi untuk keseimbangan. Posisi awal lutut dan rentang gerak berpengaruh positif pada kecepatan raket (Nesbit *et al.*, 2008) yang mengindikasikan bahwa *ready position* yang tidak sempurna akan menghabiskan waktu yang sia-sia dan membuat rangkaian gerak berikutnya menjadi tidak maksimal.

Teknik pegangan *forehand* bisa dilakukan beberapa jenis, diantaranya *semi-western*, *western*, *eastern* dan *continental grip*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Jenis Pegangan (a) Semi-Western, (b) Western, (c) Eastern, (d) Continental

(Sumber: <https://www.perfect-tennis.com/>)

2. Persiapan

Fase persiapan merupakan fase awal untuk membentuk kekuatan pukulan *forehand*. Pada fase ini untuk mencapai kekuatan maksimal atau posisi punggung yang ideal dengan cara menempatkan *frame* (kepala raket) lebih tinggi dari *grip* (pegangan). Dengan demikian, perlu diketahui bahwa setiap orang akan berada pada posisi ketinggian yang berbeda. Adapun beberapa ciri umum yang dapat diketahui pada sesi persiapan sebagai berikut.

1. Ketika tangan kanan digunakan untuk melakukan pukulan, maka tangan kiri aktif melakukan gerakan (*navigator*) yang berfungsi untuk menstabilkan keseimbangan tubuh dan sebagai alat untuk membidik bola. Sendi sangat penting

untuk menjaga keseimbangan otot rotator cuff yang menjaga stabilitas pada saat raket berada di atas bahu (Linde & Turmo 2011). Sendi bahu berperan mengorbankan beban pada saat melakukan teknik pukulan *forehand* (Blache et al., 2017).

2. Kepala raket lebih tinggi dari grip untuk menghimpun kekuatan pukulan.
3. Bahu melakukan tarikan ke belakang dengan otot perut melakukan lilitan sepenuhnya, pada pemain bukan kidal posisi bahu kiri menghadap ke arah tujuan arah bola,
4. Posisi dagu berada X dimana tangan yang memegang raket melakukan gerak putaran ke belakang pada bagian tubuh atas. Pada pemain yang bukan kidal maka posisi bahu kiri ditempatkan menghadap ke net. Atlet yang cerdas, mampu menganalisis gerak kinestetik secara mandiri dan mengetahui kapan bola akan datang sehingga pemain dapat mempersiapkan posisi *backswing* yang ideal. Hal ini berguna dan berpengaruh pada keberlanjutan gerak biomekanika yang dihasilkan pada aspek-aspek biomotor yang lainnya (Suryono, 2016). Selain itu, hal ini diperkuat dengan penelitian bahwa kapan bola akan jatuh, pemain dapat menganalisis secara cepat dan tepat untuk meminimalkan ketidakakuratan selama permainan terjadi (DuMont et al., 2013). Pendapat lain dari menyatakan salah satu bagian integral dari olahraga tenis adalah pelatihan sensomotorik (Waldzińska et al., 2015). Hal ini didukung pula, bahwa hasil kecepatan bola dapat dipengaruhi oleh persiapan kaki kiri saat akan melangkah ke depan dan gerak kaki ke belakang saat *backswing* pada teknik pukulan *forehand* (Shimokawa et al., 2022).

3. *Backswing*

Pemain saat akan menciptakan daya ungkit di lengan dan kepala raket ketika *backswing*, maka hal yang harus dilakukan adalah mengarahkan kepala raket ke atas langit. Langkah berikutnya ketika akan menciptakan daya ledak pukulan *forehand*

maka pemain harus melakukan putaran pada punggung atau tubuh bagian atas. Pada fase *backswing* supaya tubuh dapat menyimpan energi pada otot maka memulai persiapan yang baik merupakan kunci *obliques* utamanya (Rubiono *et al.*, 2018) mengemukakan semakin besar sudut awal maka semakin besar energi yang akan diserap pada bola. Jika pemain tidak mengoptimalkan lengannya maka yang akan terjadi raket hanya akan bergerak ke bagian atas saja atau raket bergerak searah jam 12 menghadap net menuju arah jam 3 atau menghadap sisi kanan lapangan sehingga menjadikan hasil kecepatan pukulan *forehand* tidak maksimal.

Pemain top dunia saat menyambut bola datang dengan secepat mungkin melakukan gerakan putaran sebelum bola melesat meninggalkan raket lawan atau jauh sebelum bola melewati net maka pemain sudah melakukan gerakan *backswing*. Pemain akan semakin baik apabila semakin awal melakukan gerakan tersebut. Hal ini bertujuan untuk menyumbang tenaga pada gerakan putaran *backswing* ketika akan melakukan gerakan pada fase berikutnya yaitu gerakan ayunan ke depan.

4. Impact

Momentum raket dengan bola mempunyai peranan yang penting karena raket akan mendapatkan gaya gangguan berupa *impact* bola sehingga menimbulkan getaran dan menghasilkan frekuensi pribadi. Ketika terjadi *impact* pemain harus memanfaatkan bola dengan menciptakan momentum yang tepat untuk memperoleh tenaga. Untuk memperoleh hasil kecepatan bola maka sudut raket yang terbuka/tertutup berpengaruh atau mempunyai dampak ketika terjadi *impact* (Kwon *et al.*, 2017). Allen memperkuat lagi pendapatnya sebelumnya bahwa faktor utama yang mempengaruhi sistem kinerja raket ketika terjadi perubahan kepala raket saat posisi *impact* (Allen *et al.*, 2011). Penelitian lain memperkirakan gaya kontak glenohumeral selama *forehand* rata-rata 1,25 lebih besar dari fase *followthrough* dan 5,8 kali lebih besar dari fase *backswing* (Blache *et al.*, 2017).

Posisi *impact* yang benar saat akan menghasilkan daya ledak pukulan adalah bahu mengayun dengan cepat. Untuk

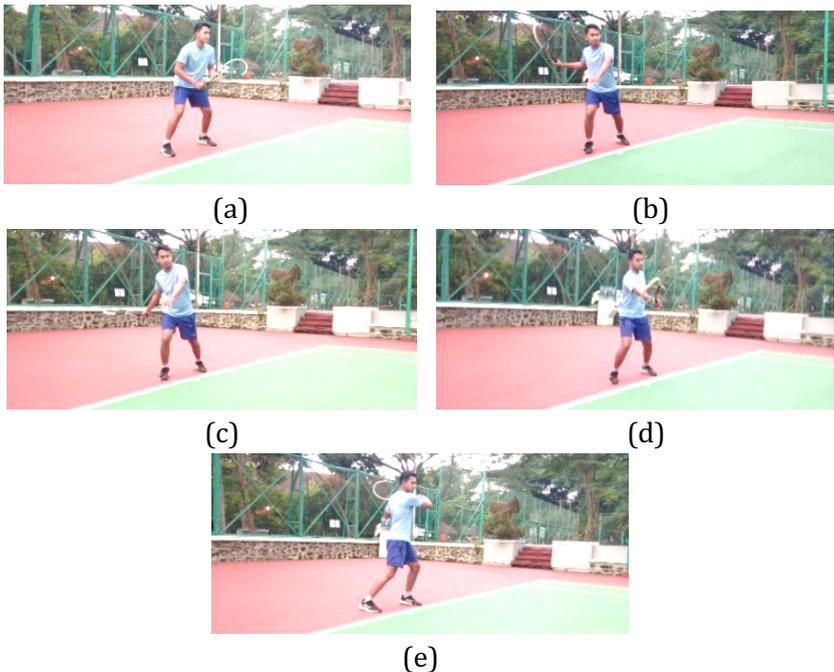
menghasilkan tembakan yang sempurna, maka harus disertai rotasi humerus dan pronasi lengan bawah (Genevois *et al.*, 2020). Gerakan ini tentunya harus terjadi secara alami tanpa memaksakan pergelangan tangan masuk ke ekstensi, oleh karenanya dibutuhkan latihan *impact* bola secara terus menerus dengan selalu menekankan evaluasi gerak biomekanika didalamnya. Efek latihan secara terus menerus dan pantuan evaluasi gerak biomekanika dapat menghasilkan mekanika pukulan yang benar dan tenaga pukulan yang besar. Mekanika gerak *impact* yang benar adalah ketika terjadi kontak bola secara tepat yaitu terjadi tabrakan momentum antara raket dan bola pada waktu yang tepat (tidak terlalu cepat dan tidak teelambat). Hal ini berbanding terbalik dari hasil pengamatan yang terjadi di lapangan masih banyak pemain dengan tingkat yang masih terlambat saat terjadi kontak bola.

5. *Followthrough*

Fase terakhir pada gerak biomekanika teknik pukulan *forehand* adalah *followthrough*. *Followthrough* yang baik akan menghasilkan lecutan atau daya ledak pukulan, sebaliknya *followthrough* yang buruk akan menghambat aliran raket dan berdampak pada kecepatan bola yang dihasilkan. Peningkatan kecepatan bola pada teknik pukulan *Forehand* disebabkan oleh meningkatnya lecutan raket (Seeley *et al.*, 2011). Pendapat ini diperkuat oleh Signorile *et al.*, (2005) komponen terpenting dalam memenangkan kompetisi di era modern seperti sekarang ini adalah yang utama kecepatan gerak. Setiap pemain mempunyai keinginan supaya ketika *followthrough* raket ke luar melalui titik kontak disertai kecepatan raket yang baik. Pemain tentunya ingin menyelesaikan *followthrough* dengan baik yaitu dengan lajur ayunan semaksimal mungkin dengan posisi siku ditekuk ke samping kiri (bukan pemain kidal) sampai menyentuh dada. Akan tetapi yang perlu diingat adalah gerakan *followthrough* harus dapat terjadi secara alamiah tanpa adanya gerakan manipulasi. Sudut sendi siku mempunyai peranan yang sangat penting terhadap gerakan akhir teknik pukulan *forehand* (Creveaux *et al.*, 2018). Hal ini mengindikasikan bahwa gerakan sendi siku (*humerothoracic*)

yang bagus akan membantu otot-otot kembali rileks secara alami dan meminimalkan terjadinya cedera.

Pemain ATP Tour memiliki banyak variasi di dalam menghasilkan *followthrough* pada gerak biomekanika teknik pukulan Forehand. Tetapi hal paling lazim yang sering digunakan oleh pemain ATP Tour adalah raket melintasi dada. Pada gerakan ini pemain menarik raket menuju bagian tubuh, diikuti gerakan akhir siku membentur dada dengan sendi menekung dengan baik. Posisi raket pada gerakan *followthrough* dengan raket membungkus bahu kiri. Raket akan membungkus bahu kiri. Pada Gambar 2 ini tampak pemain menyelesaikan gerakan teknik pukulan forehand dimulai dari *ready position*, *preparation*, *backswing*, *impact* dan *followthrough* (tidak selaras dengan gambarnya).



Gambar 6.2. Tahapan Gerak Biomekanika Teknik Pukulan Forehand (a) Ready Position (b) Preparation (c) Backswing (d) Impact (e) Followthrough

Sumber: Foto Hasil Observasi Awal

BIOMEKANIKA TEKNIK *FOREHAND*

Gerak biomekanika teknik pukulan *forehand* sangatlah penting guna menciptakan pukulan yang dinamis dan mempunyai kecepatan, oleh karena itu dibutuhkan latihan kontraksi otot yang kuat serta dilakukan secara terus menerus. Tenis fungsional harus mencakup latihan kekuatan dinamis dan bukan statis untuk mengendalikan, menstabilkan dan memperlambat tubuh menggunakan kontraksi eksentrik. Adapun kontraksi konsentris digunakan untuk menghasilkan gerakan tubuh yang cepat, sebagai contoh untuk memulihkan gerakan pukulan *forehand* setelah melakukan rangkaian gerakan, maka kontraksi eksentrik terjadi pada otot paha saat kaki mendarat dan dapat pulih lagi saat melakukan pukulan *forehand*. Untuk menghasilkan pukulan *forehand* yang sempurna dengan gerak biomekanika yang efektif dan efisien maka kontraksi konsentris dilakukan di depan bahu saat melakukan *swing* secepat-cepatnya.

Biomekanika merupakan ilmu yang mempelajari gaya luar dan dalam yang bekerja pada tubuh manusia, gaya-gaya tersebut memberi pengaruh terhadap gerak tubuh manusia (Ronald, 2003). Ilmu yang mendasari penguasaan keterampilan gerak disebut belajar gerak. Ilmu yang mendasari latihan disebut fisiologi. Kemudian ilmu yang mendasari teknik adalah biomekanika. Biomekanika adalah disiplin ilmu yang secara khusus mempelajari gerakan tubuh manusia (Setiawan, 2015). Ada yang mengartikan biomekanika kerja adalah bidang yang berkonsentrasi pada proses mekanika meliputi gaya, kecepatan, percepatan, momentum dan tekanan yang terjadi pada tubuh manusia, terkait dengan aktivitas fisik yang dilakukan pekerja (Sari *et al.*, 2017). Adapun tujuan utama kerja aplikasi biomekanika adalah memperbaiki performa gerak manusia serta mengurangi resiko cedera pada sistem otot rangka manusia (Iridiastadi *et al.*, 2021).

Penelitian ini mengembangkan gerak biomekanika pukulan *forehand* pada olahraga tenis lapangan. Terdapat dua metode analisis untuk mengukur biomekanika gerak seseorang yaitu menggunakan metode analisis kualitatif dan kuantitatif. Metode analisis kualitatif menekankan pada pengamatan sistematis dan

penilaian untuk memberikan instropeksi terhadap kualitas gerakan manusia, sehingga dapat bermanfaat memberikan intervensi dalam meningkatkan kinerja tubuh manusia. Analisis kuantitatif berfungsi untuk melakukan perhitungan numerik dengan melibatkan pengukuran variabel biomekanika (Knudson, 2007).

SOFTWARE BIOFOR MOTION ANALYSIS

Software BioFor Motion Analysis merupakan sebuah alat yang digunakan untuk evaluasi gerak biomekanika dalam permainan tenis. Dengan menggunakan teknik analisis gerak yang canggih, *software* ini mampu merekam dan menganalisis setiap aspek gerakan pemain tenis secara detail, seperti posisi tubuh, sudut sendi, dan kecepatan gerakan. Dengan demikian, para pelatih dan pemain tenis dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang teknik bermain mereka dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan untuk meningkatkan kinerja atlet di lapangan.

Dengan *Software BioFor Motion Analysis*, evaluasi gerak biomekanika tenis menjadi lebih terperinci dan akurat. Pemindaian video tingkat tinggi memungkinkan para ahli untuk menganalisis setiap gerakan dengan presisi yang tinggi, membantu mereka dalam memberikan umpan balik yang lebih mendalam kepada pemain tenis. Selain itu, *software* ini juga dapat digunakan untuk membandingkan gerakan antara pemain yang berbeda atau dengan standar yang ditetapkan, memungkinkan pelatih dan pemain untuk menetapkan tujuan yang realistis dan menyusun strategi pelatihan yang lebih efektif. Dengan demikian, *Software BioFor Motion Analysis* menjadi sebuah alat yang sangat berharga dalam meningkatkan kualitas dan konsistensi permainan tenis.

Aplikasi *Software Biofor Motion Analysis* untuk memprediksi kebutuhan kecepatan pukulan *forehand* dilihat dari kebutuhan gerak biomekanika dan kecepatan ayunan. Produk gerak biomekanika dilihat dari *ready position* (Christensen *et al.*, 2016), *back swing* (DuMont *et al.*, 2013), (Waldzińska *et al.*, 2015; Shimokawa *et al.*, 2022), *impact* (Suprunenko, 2021; Kwon *et al.*, 2017; López, 2020), dan *followthrough* (Creveaux *et al.*, 2018)

dengan mengembangkan sistem analysis sudut gerak empat aspek tersebut yang dapat dihitung secara otomatis oleh sistem. Sistem ini mengumpulkan data gambar pemain tenis menggunakan sirkuit akuisisi gambar sensor internet of things (Iot) Modbus (Peng & Tang, 2022). Keempat komponen tersebut akan dilihat dari 5 sudut gerak, dimulai dari *legs, hips, trunk, upper arm dan lower arm*. Kecepatan ayunan yang dikembangkan adalah kecepatan gerak lengan saat melakukan *swing*, kemudian direkam video dan hasilnya akan dianalisis dan dievaluasi oleh program. Video diintegrasikan dengan aplikasi secara otomatis akan membaca kecepatan ayunan gerak. Gerak biomekanika dan kecepatan ayunan setelah diperoleh data masing-masing atlet, kemudian akan memberikan prediksi berupa besaran angka dalam menghasilkan kecepatan pukulan *forehand*.

Tahap menganalisis pada komponen yang akan digunakan berupa produk alat ini akan menghasilkan *output* berupa data kecepatan bola dan pose dari pemain selama permainan berlangsung. Input data yang dibutuhkan berupa data spasial dengan format RGB yang dalam framenya terdapat pemain dan bola. Produk dapat mendeteksi sudut gerakan pemain menggunakan prinsip *human pose detection* yang memiliki 32 titik deteksi pada tubuh manusia dan mendeteksi kecepatan bola. Hasil deteksi sudut gerak pemain dan kecepatan bola di simpan pada Excel sebagai hasil akhir dari produk ini. Desain penelitian ini menggunakan *eksperimental* sebagai uji coba. Rancangan uji coba melalui dua tahap yaitu uji coba skala kecil dan besar. Uji coba skala kecil melibatkan tiga orang atlet UKM tenis dan uji coba skala besar melibatkan lima orang atlet Pra PON Jawa Tengah.

Teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dan analisis inferensial. Analisis deskriptif diperoleh dari data kuantitatif yang berasal dari angket penilaian uji validasi ahli dan uji pengguna. Data kuantitatif yang didapat dianalisis dengan metode analisis data persentase.

EVALUASI GERAK BIOMEKANIKA TENIS DENGAN TEKNIK PUKULAN *FOREHAND*

Teknik pukulan *forehand* yang ideal biasanya dibagi menjadi tiga dan empat momen aksi penting. Pertama adalah fase *back-swing* yaitu bahu diputar menjauhi net dari awal hingga akhir, gerakan raket ke belakang, pada tahap ini raket bergerak mundur dan otot-otot tungkai diregangkan dan dipanjangkan. Tahap kedua adalah mengayun percepatan ke depan, dimulai pada saat raket bergerak maju untuk pertama kalinya dan berlangsung hingga saat kontak dengan bola (*impact*). Selama ayunan raket ke depan, tungkai atas dan bawah membentuk rantai dinamis, dan putaran bawah menggerakkan raket untuk terus meningkatkan kecepatan kepala raket. Tahap ketiga adalah *postswing* dari saat kontak hingga akhir ayunan ke depan, dimana kompleks raket tungkai di atas diperlambat (Luo, 2022).

Kesulitan dalam gerak *forehand* adalah bagaimana mengkoordinasikan tungkai bawah dan tungkai atas, karena tungkai bawah terutama mendorong dan meregang pada bidang sagital, sedangkan batang tubuh dan tungkai atas berputar pada bidang horizontal. Saat melakukan pukulan *forehand*, perlu memperhatikan sudut antara raket dan tanah pada saat memukul, yang dapat mempengaruhi penguasaan jalur terbang bola. Saat memukul bola, perputaran tubuh diiringi dengan pergerakan pusat gravitasi tubuh; Hal yang diperhatikan adalah memilih jenis bidikan, jenis pukulan yang berbeda, sudut antara raket dan tanah; sudut antara raket dan bola pada saat bersentuhan; menghasilkan efek *topspin* atau *flat strike* (Tabrizi *et al.*, 2020).

1. *Ready Position*

Pada fase *ready position* penilaian sudut meliputi sudut siku kanan, sudut bahu kanan, sudut pinggul kanan, sudut lutut kanan, sudut kaki kanan dan kecepatan bola. Pada fase ini pemain menggunakan pegangan netral *continental* supaya memudahkan melakukan transisi jika akan melakukan pukulan *forehand* atau *backhand*. Posisi kaki lutut agak sedikit ditekuk, badan agak membungkuk dan fokus mata menuju ke arah lawan. Berdasarkan

hasil penelitian Sudut ideal saat *ready position* pada siku kanan 126,18–139,3°. Sudut ideal bahu kanan 154,69–173,63°. Sudut ideal pada pinggul kanan 173,86°–177,7°. Sudut ideal pada lutut kanan 171,97°–176,78°. Sudut ideal untuk kaki kanan 145,45°–149,51°.

2. Persiapan

Pada fase *preparation* atlet sudah melakukan transisi pegangan dari pegangan netral menuju pegangan *forehand* yaitu *eastren grip* atau *semi western grip*. Pegangan *eastern grip* adalah pegangan *forehand* yang paling klasik. Pegangan *eastern grip* dapat dipukul dengan posisi apa pun antara posisi *semi-closed stance* atau *open-stance*. Titik kontakannya lebih rendah dan jauh dari badan dibandingkan dengan pegangan *semi western* atau *western* (Reid *et al.*, 2013). Genggaman ini mendorong pukulan yang supaya datar dan berputar ke atas. Pegangan *eastern grip* memiliki aktivitas yang lebih tinggi pada otot-otot distal (FCU, ECR) yang bertindak terutama mengontrol fleksi/ekstensi (Stepnik & Jones, 2023). Pegangan *semi-western* biasanya diawali dengan siku. Umumnya, saat bola dipukul oleh lawan, kaki yang lebih dekat ke bola berputar dan diikuti dengan mengangkat siku (gerakan ke belakang) dan memutar bahu secara sinkron. Untuk membantu ayunan punggung dan putaran bahu, tangan kiri dapat digunakan untuk mendorong raket ke belakang. Genggaman menghasilkan dua fitur penting 1) Peletakan kembali pergelangan tangan, 2) Penutupan muka reket pada ayunan ke belakang dan ke depan. Biasanya pegangan *semi-western* dimainkan dengan posisi *semi-open stance* hingga posisi *open-stance*. Cengkeramannya menyebabkan *topspin* yang berlebihan. Ini ideal untuk menangani bola tinggi (di atas bahu) tetapi pemain yang menggunakan pegangan ini biasanya mengalami kesulitan dalam memainkan bola rendah. Oleh karena itu cengkeramannya lebih cocok untuk lapangan yang lebih lambat. Untuk membantu ayunan punggung dan putaran bahu, tangan kiri dapat digunakan untuk mendorong raket ke belakang. Berdasarkan hasil penelitian sudut ideal pada fase *preparation* siku kanan 40,7°–47,43°, bahu kanan 131,38°–

151,65⁰, pinggul kanan 159,46⁰-169,4⁰, lutut kanan 157,94⁰-166,35⁰ dan kaki kanan 143,86⁰-160,8⁰.

3. *Backswing*

Sikap *forehand* saat *backswing* biasanya menggunakan *open stance* atau *close stance*. Pada saat *Open stance* kaki dan pinggul pemain sejajar menghadap net. Pada *close stance*, pemain berputar hampir 180⁰, serta kaki dan pinggul tegak lurus terhadap jaring. Saat ini tidak ada data empiris untuk mengukur cara bermain pemain tenis profesional dengan menggunakan rasio jurus yang berbeda, Rusdiana mengusulkan supaya 90% pukulan *forehand* pemain tenis tingkat tinggi menggunakan *open stance* (Rusdiana, 2021). Pada saat *backswing* dengan pegangan *eastern grip* posisi pegangan diposisikan di belakang raket, permukaan raket dipegang dengan lebih nyaman dalam posisi tegak dan dengan demikian terjadi penarikan “melingkar” yang khas dengan kepala raket yang memimpin bentuknya. Perpindahan beban secara akurat dapat digambarkan sebagai perpindahan ke kaki belakang. Berdasarkan hasil penelitian sudut ideal pada fase *backswing* siku kanan 61,88⁰-72,96⁰, bahu kanan 135,53⁰-157,27⁰, pinggul kanan 156,45⁰-162,41⁰, lutut kanan 157,64⁰-178,2⁰ dan kaki kanan 144,08⁰-170,53⁰.

4. *Impact*

Menciptakan raket yang baik yaitu di mana kepala raket tertinggal di belakang pegangan, hal ini akan membuat pemain dapat memanfaatkan bola untuk memperoleh tenaga ketika *impact*. Pengaruh tersebut pada bola dapat membantu pemain menghasilkan tenaga ekstra dan kontrol. Raket mempunyai peranan yang penting

impact dari bola yang menimbulkan getaran dan menghasilkan frekuensi pribadi. Sunku Kwon (2017) mengemukakan sudut kepala raket (terbuka/tertutup) berdampak pada kecepatan bola. Tom Allen (2011) mengemukakan bahwa perubahan pada kepala raket mempengaruhi sistem kerja raket.

Ketika *impact* antara raket dan bola, ahu mengayun dengan keras untuk menghasilkan daya ledak pukulan. Cyril Genevois (2020) mengungkapkan terjadi rotasi internal humerus dan pronasi lengan bawah supaya menghasilkan tembakan yang sempurna. Tindakan ini harus terjadi secara alami tanpa memaksa pergelangan tangan masuk ke ekstensi, itu harus terjadi sebagai akibat dari mekanika pukulan dan dengan posisi menyiapkan tenaga yang baik. Sebagian besar pemain pro mencapai beberapa tingkat keterlambatan sebelum melakukan kontak dengan bola. Pada pegangan *semi-western* saat terjadi *impact* ada dampak yang dihasilkan (Bahamonde, 2001) yaitu:

- 1) Genggaman *semi-western* pergelangan tangan menjadi tertarik ke belakang saat terjadi *impact*;
- 2) Kepala benar-benar diam dan mata terfokus pada pukulan tersebut;
- 3) Saat terjadi *impact*, kaki biasanya diletakkan dalam *open-stance*. Penelitian telah menunjukkan bahwa 90% dari waktu pemain top (pria dan wanita) menggunakan *open-stance* di tangan depan;
- 4) Perpanjangan lutut, bersamaan dengan putaran pinggul kanan memastikan bahwa beban dipindahkan sepanjang lintasan kepala raket dari ayunan sebelum dan sesudah tumbukan;
- 5) Kepala raket mungkin berada sedikit di bawah pergelangan tangan saat terjadi benturan. Ini dapat diterima;
- 6) Jika kepala raket berada jauh di bawah pergelangan tangan, maka cengkramannya akan melemah dan kendalinya berkurang.

Berdasarkan data yang diperoleh saat penelitian sudut ideal yang dihasilkan saat terjadinya *impact* siku kanan $55,26^{\circ} - 70,25^{\circ}$, bahu kanan $149,64^{\circ} - 172,9^{\circ}$, pinggul kanan $159,25^{\circ} - 163,9^{\circ}$, lutut kanan $148,03^{\circ} - 178,44^{\circ}$ dan kaki kanan $143,8^{\circ} - 162,63^{\circ}$.

5. Followthrough

Followthrough yang benar adalah setelah terjadi kontak, *swing* dipercepat biarkan raket mengalir secara alami. Penggunaan

kaki kanan dan kiri sebagai poros ketika pemain melakukan ayunan dan biarkan kaki menstabilkan gerakan secara alami dan kemudian diakhiri dengan gerakan pronasi. Pada saat terjadi *Followthrough* supaya biomekanika gerak pukulan *forehand* benar dan membiarkan siku menstabilkan gerakan secara natural. Otot-otot menstabilkan siku sebagai satu kesatuan selama pukulan ke tanah pada pemain tingkat tinggi (Morris *et al.*, 1989).

Saat *forward swing* posisi raket ke atas, dari bawah bola ke posisi memukul dan berlanjut ke atas dan keluar melewati bola. Untuk memastikan bahwa *follow through* keluar dan menembus bola, lengan antara siku dan bahu harus sejajar dengan tanah. Ada individualitas yang besar dalam tahap akhir *follow through*. Namun, untuk mencegah cedera, kaki kanan biasanya berputar dan berakhir sejajar dengan kaki kiri. Sebuah fitur menarik dari *follow through* yang memastikan bahwa kecepatan kepala raket berada pada titik maksimum saat tumbukan dan juga mengurangi cedera, adalah mengangkat siku setinggi bahu setelah tumbukan saat batang raket berputar. Hal ini memungkinkan ruang lengan pukulan melambat tanpa menyebabkan cedera. Jika *follow through* dilakukan dengan benar, maka permukaan raket yang memukul bola menghadap ke atas sesuai arah pukulan bola.

Komponen penting dari teknik ini adalah kecepatan kepala raket, yang dimasukkan ke dalam siku untuk kekuatan dan stabilitas, fleksi awal, ekstensi lutut, serta rotasi pinggul, dan batang tubuh (rantai koordinasi yang efisien), posisi tumbukan dan pola ayunan ke depan dan lanjutan memukul bola (Cerspo *et al.*, 2004). Berdasarkan data yang diperoleh pada fase *follow through* sudut ideal siku kanan $0,81^{\circ}$ – $22,89^{\circ}$, bahu kanan $120,5^{\circ}$ – $175,35^{\circ}$, pinggul kanan $170,81^{\circ}$ – $174,3^{\circ}$, lutut kanan $157,06^{\circ}$ – $162,23^{\circ}$ dan kaki kanan $134,05^{\circ}$ – $142,01^{\circ}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Universitas Negeri Semarang yang telah mendanai kegiatan penelitian dengan nomor kontrak 745.12.4/UN37/PPK.10/2023, tanggal 12 April 2023, Pengprov PELTI Jawa Tengah yang telah memfasilitasi atlet Pra PON Jateng

sebagai sampel penelitian ini dan UKM Tenis FIK UNNES yang membantu kegiatan ini sehingga dapat terlaksana dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- İbrahim, C. A. M., Turhan, B., & Zeynep, O. N. A. G. (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.
- Brown, J., & Soulier C. Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change, editor. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* [Internet]. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. p. 1-30.
- Kwon, S., Pfister, R., Hager, R. L., Hunter, I., & Seeley, M. K. (2017). Influence of tennis racquet kinematics on ball topspin angular velocity and accuracy during the forehand groundstroke. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(4), 505.
- Genevois, C., Reid, M., Rogowski, I., & Crespo, M. (2015). Performance factors related to the different tennis backhand groundstrokes: A review. *Journal of sports science & medicine*, 14(1), 194.
- Guntur, G., Ngatman, N., Sridadi, S., Broto, D. P., & Pambudi, D. K. (2020). Pengujian validitas, reliabilitas, dan relevansi norma penilaian "dyer tennis test" terhadap tingkat keterampilan bermain tenis. *Jurnal Keolahragaan*, 8(2), 195-203.
- Abdurrtamat, A. S. (2011). Analisis biomekanik pukulan forehand pada olahraga tenis. *Jurnal Health and Sport*, 2(2), 45-67.
- Nugroho, 2014. *Analisis Biomekanika dalam Backhand Tennis Lapangan*. Penerbit CV. Sarnu Untung.
- Commission AS. *Planning in Sport*. Paragon Printers Australas. 2004.
- Figueira, B., Gonçalves, B., Folgado, H., Masiulis, N., Calleja-González, J., & Sampaio, J. (2018). Accuracy of a basketball indoor tracking system based on standard bluetooth low energy channels (NBN23®). *Sensors*, 18(6), 1940.
- Moriuchi, T., Matsuda, D., Nakamura, J., Matsuo, T., Nakashima, A., Nishi, K., & Higashi, T. (2017). Primary motor cortex

- activation during action observation of tasks at different video speeds is dependent on movement task and muscle properties. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 10.
- Eaton, S. L., Roche, S. L., Llaverro Hurtado, M., Oldknow, K. J., Farquharson, C., Gillingwater, T. H., & Wishart, T. M. (2013). Total protein analysis as a reliable loading control for quantitative fluorescent Western blotting. *PLoS one*, 8(8), e72457.
- Reid, M., Elliott, B., & Crespo, M. (2013). Mechanics and learning practices associated with the tennis forehand: a review. *Journal of sports science & medicine*, 12(2), 225.
- Christensen, J., Rasmussen, J., Halkon, B., & Koike, S. (2016). The development of a methodology to determine the relationship in grip size and pressure to racket head speed in a tennis forehand stroke. *Procedia engineering*, 147, 787-792.
- Nesbit, S. M., Serrano, M., & Elzinga, M. (2008). The role of knee positioning and range-of-motion on the closed-stance forehand tennis swing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(1), 114.
- Linde, F. J., & Turmo, A. (2011). isokinetic comparison of the rotator cuff between waterpolo and tennis players. *Romanian Journal of Physical Therapy/Revista Romana de Kinetoterapie*, (27), 21-34.
- Blache, Y., Creveaux, T., Dumas, R., Cheze, L., & Rogowski, I. (2017). Glenohumeral contact force during flat and topspin tennis forehand drives. *Sports Biomechanics*, 16(1), 127-142.
- Suryono, S. (2016). Pengaruh metode latihan dan persepsi kinestetik terhadap keterampilan groundstrokes tenis lapangan pada siswa SD. *Jurnal Keolahragaan*, 4(2), 220-231.
- DuMont, A. L., Yoong, P., Day, C. J., Alonzo III, F., McDonald, W. H., Jennings, M. P., & Torres, V. J. (2013). Staphylococcus aureus LukAB cytotoxin kills human neutrophils by targeting the CD11b subunit of the integrin Mac-1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(26), 10794-10799.
- Waldzińska, E., Waldziński, T., Kochanowicz, B., & Hansdorfer-Korzon, R. (2015). Trening sensomotoryczny w procesie

- szkolenia sportowego tenisistów= sensomotoric training in the process of sport training of tennis players. *Journal of Education, Health and Sport*, 5(8), 417-433.
- Shimokawa, R., Nelson, A., & Zois, J. (2022). Does ground-reaction force influence post-impact ball speed in the tennis forehand groundstroke?. *Sports Biomechanics*, 21(7), 850-860.
- Rubiono, G., & Qiram, I. (2018, November). Analisis Aplikasi Uji Impak Tipe Charpy Untuk Pengukuran Kekuatan Tendangan Sepak Bola. In *Prosiding Seminar Nasional IPTEK Olahraga (SENALOG)* (Vol. 1, No. 1, pp. 45-49).
- Allen, T. B., Haake, S. J., & Goodwill, S. R. (2011). Effect of tennis racket parameters on a simulated groundstroke. *Journal of sports sciences*, 29(3), 311-325.
- Genevois, C., Reid, M., Creveaux, T., & Rogowski, I. (2018). Kinematic differences in upper limb joints between flat and topspin forehand drives in competitive male tennis players. *Sports Biomechanics*.
- Seeley, M. K., Funk, M. D., Denning, W. M., & Hager, R. L. (2016). Tennis forehand kinematics change as post-impact ball speed is altered. In *The Biomechanics of Batting, Swinging, and Hitting* (pp. 181-192). Routledge.
- Signorile, J. F., Sandler, D. J., Smith, W. N., Stoutenberg, M., & Perry, A. C. (2005). Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(3), 519-526.
- Creveaux, T., Sevrez, V., Dumas, R., Chèze, L., & Rogowski, I. (2018). Rotation sequence to report humerothoracic kinematics during 3D motion involving large horizontal component: application to the tennis forehand drive. *Sports Biomechanics*, 17(1), 131-141.
- Ronald, H. (2003). Biomekanika Olahraga. *Ikun. Jakarta*.
- Setiawan, M. (2015, October). Analisis secara Biomekanika Teknik Gerak Serang dalam Olahraga Anggar. In *Seminar Nasional Evaluasi Pendidikan II*.

- Sari, M. A., Arendra, A., & Akhmad, S. (2017). Pengembangan Instrumen Esmoca Untuk Pengukuran Sudut 3 Dimensi Alat Gerak Tubuh Bagian Atas Untuk Perhitungan Gaya Dan Momen Biomekanika Kerja. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 1(2), 77-82.
- Iridiastadi, H. (2021). Ergonomi Suatu Pengantar.
- Knudson, D. V., & Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics* (Vol. 183). New York: Springer.
- Shimokawa, R., Nelson, A., & Zois, J. (2022). Does ground-reaction force influence post-impact ball speed in the tennis forehand groundstroke?. *Sports Biomechanics*, 21(7), 850-860.
- Suprunenko, M. (2021). Biomechanical substantiation of motor and punch action formation in tennis by taking into account the formation of promising skills and abilities. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(1), 367-373.
- López, M. F. (2020). Research on the specific movement of the head in tennis strokes. *ITF Coaching & Sport Science Review*, 28(80), 16-19.
- Peng, X., & Tang, L. (2022). Biomechanics analysis of real-time tennis batting images using Internet of Things and deep learning. *The Journal of Supercomputing*, 78(4), 5883-5902.
- Luo, W. (2022). Biomechanical Analysis of Touch Ball Movements in Tennis Forehand Strokes. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- Tabrizi, S. S., Pashazadeh, S., & Javani, V. (2020). Comparative study of table tennis forehand strokes classification using deep learning and SVM. *IEEE Sensors Journal*, 20(22), 13552-13561.
- Stepnik, M., & Jones, S. L. (2023). the influence of grip positioning on muscle activation patterns in tennis forehand: a preliminary investigation. *ISBS Proceedings Archive*, 41(1), 101.
- Rusdiana A. (2021). Tennis flat forehand drive stroke analysis: three dimensional kinematics movement analysis approach. *J Sport J Penelit Pembelajaran*, 7(1):1-18.

- Bahamonde, R. (2001). Biomechanics of the forehand stroke. *Coaching & Sport Science Review, 24*, 7-8.
- Morris, M., Jobe, F. W., Perry, J., Pink, M., & Healy, B. S. (1989). Electromyographic analysis of elbow function in tennis players. *The American journal of sports medicine, 17*(2), 241-247.
- Crespo, M., Reid, M. M., & Miley, D. (2004). Tennis: Applied examples of a game-based teaching approach. *Strategies, 17*(4), 27-30.