

ANALISIS PENGARUH KELELAHAN LOWER BODY TERHADAP PARAMETER KINEMATIKA TENDANGAN INSTEP PEMAIN FUTSAL PUTRI

Epriilia Nurlaely¹⁾, Agus Rusdiana²⁾, Iwa Ikhwan Hidayat³⁾, Tian Kurniawan⁴⁾,
Tono Haryono⁵⁾

^{1,2,3,4,5)} Program Studi Ilmu Keolahragaan, Universitas Pendidikan Indonesia

¹⁾epriilia.nurlaely@upi.edu, ²⁾agus.rusdiana@upi.edu, ³⁾iwai0707@upi.edu,
⁴⁾tiankurniawan@upi.edu, ⁵⁾tonoharyono@upi.edu

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kelelahan otot lower body terhadap parameter kinematika tendangan *instep* pemain futsal putri. Metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif menggunakan pre-test dan post-test design digunakan dalam penelitian ini. Sampel berjumlah 12 pemain putri klub futsal 35 Kota Bandung. Instrument yang digunakan meliputi strip laktat accutrend, kamera handycame, speed gun, carada scan, perangkat lunak skill spector, kinovea, dan spss. Parameter kinematika yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup sudut ankle awalan, sudut knee awalan, sudut hip awalan, sudut tumpuan, maximum angular of knee velocity, maximum angular of hip velocity, dan ball velocity. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan sebelum dan sesudah kelelahan pada beberapa parameter seperti kadar asam laktat ($p = 0.000 < 0.05$) dan maximum angular of knee velocity ($p = 0.023 < 0.05$). Namun, tidak ditemukan perbedaan signifikan pada parameter lain yaitu sudut ankle awalan ($p = 0.992 > 0.05$), sudut knee awalan ($p = 0.875 > 0.05$), sudut hip awalan ($p = 0.492 > 0.05$), sudut tumpuan ($p = 0.774 > 0.05$), maximum angular of hip velocity ($p = 0.637 > 0.05$), dan ball velocity ($p = 0.667 > 0.05$). Berdasarkan hasil data analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa meskipun kelelahan mempengaruhi beberapa parameter kinematika, tubuh memiliki mekanisme adaptasi untuk mempertahankan efisiensi biomekanik selama aktivitas fisik intensif. Penelitian ini bermanfaat bagi pelatih dan pemain futsal dalam merancang latihan dan strategi pemulihan untuk meningkatkan performa dan mengurangi dampak kelelahan.

Sejarah Artikel

Dimasukkan : 24 Januari 2025
Direview : 4 Februari 2025
Diterima : 11 Februari 2025
Disetujui : 28 Februari 2025

Kata-kata Kunci:

Kelelahan lower body, kinematika, tendangan instep, futsal

Article History

Submitted : January 24, 2025
Reviewed : February 4, 2025
Accepted : February 11, 2025
Published : February 28, 2025

Keywords:

Lower body fatigue, kinematics, instep kick, futsal

Abstract. This study aimed to analyze the effect of lower body muscle fatigue on kinematic parameters of the instep kick in female futsal players. A quantitative method with a descriptive approach using a pre-test and post-test design was applied. The sample consisted of 12 female players from the 35 Futsal Club in Bandung. Instruments used included the Accutrend lactate strip, Handycam camera, speed gun, Carada Scan, Skill Spector software, Kinovea, and SPSS. The kinematic parameters analyzed in this study included ankle angle at initiation, knee angle at initiation, hip angle at initiation, support angle, maximum angular knee velocity, maximum angular hip velocity, and ball velocity. The results showed significant differences before and after fatigue in several parameters, such as lactate levels ($p = 0.000 < 0.05$) and maximum angular knee velocity ($p = 0.023 < 0.05$). However, no significant differences were found in other parameters, including ankle angle at initiation ($p = 0.992 > 0.05$), knee angle at initiation ($p = 0.875 > 0.05$), hip angle at initiation ($p = 0.492 > 0.05$), support angle ($p = 0.774 > 0.05$), maximum angular hip velocity ($p = 0.637 > 0.05$), and ball velocity ($p = 0.667 > 0.05$). Based on the analysis and discussion, it can be concluded that although fatigue affects some kinematic parameters, the body has adaptive mechanisms to maintain biomechanical efficiency during intense physical activity. This study benefits coaches and futsal players in designing training programs and recovery strategies to enhance performance and minimize the impact of fatigue.

PENDAHULUAN

Futsal merupakan olahraga *indoor* populer yang menuntut keterampilan teknik dan kebugaran fisik yang tinggi dari para pemainnya (Spyrou et al., 2020). Kecepatan, kelincahan, dan akurasi termasuk keterampilan penting dalam futsal khususnya untuk teknik *dribbling* dan *shooting* (Mudian & Prasetyo, 2023). Tendangan *instep* menjadi salah satu teknik dasar yang penting dalam olahraga futsal karena mampu menghasilkan *shooting* yang akurat dan bertenaga (Himawan, 2022). Teknik ini sering digunakan untuk mencetak gol, mengingat tendangan keras yang dihasilkan membuat bola sulit ditangkap oleh penjaga gawang (Arjunnaja et al., 2022). Meskipun teknik ini tampak sederhana, berbagai faktor dapat memengaruhi efektivitasnya, salah satunya adalah kekuatan ekstremitas bawah yang mempengaruhi kecepatan menembak dan tingkat kelelahan pada pemain futsal.

Kelelahan dapat memengaruhi fungsi otot yang pada akhirnya berdampak pada penurunan performa pemain futsal (Souglis et al., 2023). Khususnya pada otot tubuh bagian bawah yang secara signifikan berpengaruh terhadap kemampuan menendang dalam berbagai cabang olahraga. Dalam permainan bola, transfer energi yang melibatkan seluruh tubuh sangat penting untuk mendukung tendangan punggung kaki, di mana peran kaki, batang tubuh, dan panggul menjadi kunci dalam menghasilkan kecepatan kaki (Augustus et al., 2021). Namun, kondisi ini juga dapat memicu kelelahan neuromuskular perifer yang berdampak pada penurunan kemampuan atlet (Yanez et al., 2022). Menurut penelitian Supriatna & Rusdiana, (2019), dampak kelelahan otot terhadap performa teknik olahraga, terutama pada kinematika gerakan seperti tendangan, terbukti sangat signifikan dalam menurunkan efisiensi dan efektivitas gerakan atlet. Oleh karena itu, penting untuk memahami sejauh mana kelelahan otot dapat mempengaruhi parameter kinematika saat melakukan teknik tendangan *instep*.

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari bagaimana sebuah benda bergerak tanpa mempertimbangkan gaya yang menyebabkannya bergerak (Suwanto Raharjo, 2019). Analisis

kinematika melibatkan evaluasi posisi, kecepatan, dan percepatan dalam suatu gerakan, yang bertujuan untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi kecepatan dan efisiensi gerak (Ishac & Eager, 2021). Selain itu, analisis ini juga memungkinkan identifikasi kelemahan teknik, sehingga dapat memberikan rekomendasi spesifik untuk meningkatkan performa atlet. Dalam konteks futsal, analisis kinematika sangat relevan untuk mengoptimalkan teknik tendangan instep, membantu menciptakan gerakan yang lebih presisi, bertenaga, dan efisien, terutama dalam kondisi kelelahan. Pemahaman terhadap dampak kelelahan otot pada berbagai parameter kinematik dapat menjadi dasar pengembangan teknik yang lebih efektif. Temuan ini sejalan dengan penelitian Putra et al., (2023) yang menunjukkan bahwa analisis kinematik membantu mengevaluasi efektivitas teknik tendangan penalti pada pemain futsal, sekaligus memberikan wawasan untuk perbaikan teknik dan performa.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kelelahan lower body terhadap parameter kinematika tendangan instep pada atlet futsal putri. Pendekatan ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh kelelahan terhadap kualitas tendangan pemain futsal putri dan mengembangkan strategi pelatihan untuk meningkatkan teknik tendangan serta menjaga kebugaran fisik pemain. Hasil dari penelitian ini tidak hanya akan bermanfaat bagi pelatih dan pemain futsal, tetapi juga dapat berkontribusi pada pengembangan ilmu olahraga secara keseluruhan, khususnya dalam konteks analisis kinerja atlet. Penelitian ini akan dianalisis menggunakan perangkat lunak kinonea dan skill spectator yang berguna untuk melihat pengaruh dan mengevaluasi gerakan tendangan instep pemain futsal putri sebelum dan sesudah kelelahan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif (Hidayat et al., 2019). Dengan menggunakan *pre-test* dan *post-test design*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kelelahan otot *lower body* terhadap teknik tendangan *instep* yang diukur dari parameter kinematika yaitu sudut *angkle* awalan, sudut *knee* awalan, sudut *hip* awalan, sudut tumpuan, *maximum angular of knee velocity*, *maximum angular of hip velocity*, dan *ball velocity*. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling yaitu pengambilan sampel dilakukan berdasarkan pertimbangan tertentu sesuai dengan tujuan penelitian (Adam & Hidayah, 2022). Lokasi penelitian yang dipilih dalam penelitian ini adalah di lapangan Queen Futsal Kota Bandung. Subjek penelitian ini adalah anggota klub futsal putri 35 Kota Bandung. Sampel di dalam penelitian ini sebanyak 12 pemain futsal putri.

Instrument yang digunakan untuk pengambilan data video dilakukan dengan menggunakan kamera Panasonic Handycam HC-V100 Full HD yang diposisikan pada sudut samping untuk merekam gerakan tendangan *instep* saat *shooting*. Sedangkan, tripod berguna

menjaga kestabilan kamera selama perekaman. Strip Laktat *Accutrend* untuk mengukur kadar lemak darah sebagai indikator kelelahan otot *lower body*. Carada Scan digunakan untuk mengukur antropometri terdiri dari tinggi badan, berat badan, presentase lemak tubuh, dan BMI. *Speed Gun* digunakan untuk mengukur laju kecepatan bola. Aplikasi yang digunakan untuk membantu menganalisis gerakan adalah kinovea dan skill speactor. Aplikasi Kinovea dapat membantu menganalisis variasi gerakan 2D, kemudian skill spector dapat membantu membuat animasi dan lintasan gerakan dengan merekonstruksi koordinat 3D. Perangkat lunak Kinovea dan skill spector layak digunakan dalam penelitian ini karena mampu mendukung pelaksanaan analisis kinematika tendangan *instep* sebelum dan sesudah kelelahan.

Dalam memudahkan proses penelitian, peneliti telah menyusun langkah-langkah penelitian sebagai pengembangan dari desain penelitian yang telah dibuat. Prosedur pengumpulan data diawali dengan: (1) Melakukan pengukuran antropometri terhadap sampel yang terdiri dari tinggi badan, berat badan, presentase lemak tubuh, dan BMI, (2) Kemudian melakukan pengecekan kadar asam laktat (mmol) dalam darah sebelum dilakukan pengujian, cara yang digunakan yaitu dengan cara mengambil sampel melalui ujung jari sampel, (3) Melaksanakan pemanasan terlebih dahulu sekitar 5 menit agar menghindari kemungkinan cedera. (4) Para sampel akan dipasangkan marker-marker di bagian *lower body*, (5) Sampel melakukan kalibrasi dengan berdiri tegak sambil merentangkan tangan menghadap kamera, (6) Semua sampel langsung melakukan *shooting* sebelum melakukan treatment kelelahan, sampel diberi kesempatan melakukan *shooting* sebanyak 2 kali, (7) Sampel akan melakukan *treatment* kelelahan terdiri dari *sprint* 35m sebanyak 6 *repetisi*, *squat* selama 30 *second*, *counter movement jump* selama 30 *second*, serta *squat jump* selama 30 *second*, (8) Kemudian atlet melakukan pengecekan kadar asam laktat darah setelah diberikan *treatment* kelelahan, (9) Terakhir, tanpa ada jeda istirahat setelah melakukan *treatment* kelelahan, sampel langsung melakukan *shooting* sebanyak 2 kali.

Tabel 1. Deskripsi Data Antropometri Sampel

No.	Variable	N	Min.	Max.	Mean
1.	Umur	12	16	22	18,5
2.	Tinggi Badan	12	150	171	157,6
3.	Berat Badan	12	40,9	60	50,3
4.	FAT	12	15,1	28,2	23,6
5.	BMI	12	16,1	25,3	20,3
6.	Asam Laktat Sebelum	12	1,0	2,8	1,8
7.	Asam Laktat Sesudah	12	8,2	15,4	12,7

Analisis data penelitian ini menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 26 untuk membandingkan hasil data yang akan diolah. Untuk menguji normalitas menggunakan

metode Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05. Jika nilai signifikan ($p > 0,05$), data dinyatakan berdistribusi normal. Kemudian, selanjutnya dilakukan uji perbandingan menggunakan Paired Simple T Test untuk mengetahui perbedaan yang berkaitan dengan parameter kelelahan. Data kelelahan diperoleh setelah melakukan treatment rast test (*sprint* 35 m sebanyak 6 repetisi) dan bosco test (*squat*, *counter movement jump*, dan *squat jump*) serta pengukuran asam laktat dilakukan sebagai bagian dari pengumpulan data.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kelelahan otot *lower body* terhadap teknik tendangan instep yang diukur dari parameter kinematika yaitu sudut *ankle* awalan, sudut *knee* awalan, sudut *hip* awalan, sudut tumpuan, *maximum angular of knee velocity*, *maximum angular of hip velocity*, dan *ball velocity*. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan serangkaian tes yang diberikan kepada semua sampel yang berjumlah 12 pemain futsal putri klub futsal 35 Kota Bandung.

Tabel 2. Deskripsi Data Asam Laktat

No.	Variabels	AVERAGE BEFORE \pm SD	AVERAGE BEFORE \pm SD	Signifikansi (perbedaan)
1.	Asam Laktat (Mmol/L)	1.8 \pm 0.4	12.7 \pm 1.8	0.000*

Berdasarkan hasil data yang digambarkan pada tabel 2, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan asam laktat sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan dengan nilai sign $0.00 < 0.05$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar asam laktat mengalami peningkatan yang signifikan sesudah kelelahan. Rata-rata kadar asam laktat sebelum kelelahan adalah 1.8 \pm 0.4 mmol/L, sedangkan sesudah kelelahan meningkat menjadi 12.7 \pm 1.8 mmol/L. Perbedaan ini secara statistik signifikan dengan nilai ($p = 0.000$), yang mengindikasikan bahwa kelelahan tersebut berhasil meningkatkan kadar asam laktat dalam tubuh.

Tabel 3. Data Sudut Awalan

No.	Variabels	AVERAGE BEFORE \pm SD	AVERAGE AFTER \pm SD	Signifikansi (perbedaan)
1.	Ankle Awalan ($^{\circ}$)	148.07 \pm 7.7	148.04 \pm 11.2	0.992
2.	Knee Awalan ($^{\circ}$)	101.1 \pm 15.4	101.7 \pm 19.6	0.875
3.	Hip Awalan ($^{\circ}$)	133.3 \pm 16.5	136.6 \pm 13.3	0.492

Berdasarkan hasil data yang digambarkan pada table 3, bahwa menggambarkan fase *ankle* awalan sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan nilai sig ($p = 0.992$). Pada sudut *ankle* awalan sebelum terjadinya

kelelahan, sampel menunjukkan nilai rata-rata sebesar $148.07^\circ \pm 7.7^\circ$, sedangkan sesudah kelelahan nilai rata-rata menurun menjadi sebesar $148.04^\circ \pm 11.2^\circ$. Pada fase *knee* awalan sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan tidak terdapat perbedaan signifikan dengan nilai sig ($p = 0.875$). Pada sudut *knee* sebelum terjadi kelelahan, sampel menunjukkan nilai rata-rata sebesar $101.1^\circ \pm 15.4^\circ$, sedangkan sesudah kelelahan naik menjadi $101.7^\circ \pm 19.6^\circ$. Kemudian pada fase terakhir *hip* awalan sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan nilai sig ($p = 0.492$). Pada sudut *hip* sebelum terjadi kelelahan, sampel menunjukkan nilai rata-rata sebesar $133.3^\circ \pm 16.5^\circ$, sedangkan sesudah kelelahan naik menjadi $136.6^\circ \pm 13.3^\circ$.

Tabel 4. Data Sudut Tumpuan

No.	Variabels	AVERAGE BEFORE \pm SD	AVERAGE AFTER \pm SD	Signifikansi (perbedaan)
1.	Sudut Tumpuan ($^\circ$)	132.2 ± 5.9	131.4 ± 7.4	0.774

Berdasarkan hasil data yang digambarkan pada table 4, menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada sudut tumpuan sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan dengan nilai sig ($p = 0.774$). Pada sudut tumpuan sebelum terjadi kelelahan nilai rata-rata sebesar $132.2^\circ \pm 5.9^\circ$, sedangkan sesudah mengalami kelelahan nilai rata-rata sudut tumpuan menjadi sebesar $131.4^\circ \pm 7.4^\circ$.

Tabel 5. Data Kecepatan

No.	Variabels	AVERAGE BEFORE \pm SD	AVERAGE AFTER \pm SD	Signifikansi (perbedaan)
1.	Maximum Angular of Knee Velocity (deg/s)	1004.7 ± 218.8	1120.5 ± 275.6	0.023*
2.	Maximum Angular of Hip Velocity (deg/s)	656.1 ± 276.9	683.9 ± 164.07	0.637
3.	Ball Velocity (km/h)	40.9 ± 3.2	40.6 ± 4.4	0.667

Berdasarkan hasil data yang digambarkan pada table 5, menggambarkan bahwa *ball velocity* sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan tidak terdapat perbedaan signifikan dengan nilai sig ($p = 0.667$). Nilai rata-rata kecepatan bola maksimal sebelum kelelahan sebesar 40.9 ± 3.2 , sedangkan kecepatan bola maksimal sesudah kelelahan menjadi 40.6 ± 4.4 . Sama halnya, dengan *ball velocity*, *maximum angular of hip velocity* sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan tidak terdapat perbedaan signifikan dengan nilai sig ($p = 0.637$). Nilai rata-rata kecepatan sudut hip maksimal sebelum kelelahan 656.1 ± 276.9 , sedangkan kecepatan sudut hip maksimal sesudah kelelahan menjadi 683.9 ± 164.07 . Namun beda halnya, pada *maximum angular of knee velocity* sebelum kelelahan dan sesudah kelelahan terdapat perbedaan signifikan dengan nilai sig ($p = 0.023^*$). Nilai rata-rata kecepatan sudut

lutut maksimal sebelum kelelahan sebesar 1004.7 ± 218.8 , sedangkan nilai rata-rata sesudah kelelahan menjadi 1120.5 ± 275.6 .

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelelahan fisik memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar asam laktat, namun tidak banyak memengaruhi sudut biomekanik tubuh seperti sudut awalan dan sudut tumpuan. Peningkatan kadar asam laktat dari 1.8 ± 0.4 mmol/L sebelum kelelahan menjadi 12.7 ± 1.8 mmol/L setelah kelelahan mencerminkan pergeseran metabolisme dari aerobik ke anaerobik. Dalam kondisi aktivitas fisik yang intensif, tubuh cenderung mengandalkan jalur metabolisme anaerobik untuk memenuhi kebutuhan energi yang cepat. Proses ini menghasilkan asam laktat sebagai produk metabolit utama, yang apabila terakumulasi dalam jumlah besar, dapat menyebabkan penurunan performa otot akibat pengasaman lingkungan intra-seluler. Temuan ini sejalan dengan penelitian Admin et al., (2019) yang menunjukkan bahwa kadar asam laktat meningkat drastis pada aktivitas fisik yang melampaui ambang anaerobic, dimana latihan aerobik dan anaerobik secara signifikan meningkatkan kadar asam laktat dan laktat dehidrogenase (LDH).

Di sisi lain, hasil analisis sudut awalan pada *ankle*, *knee*, dan *hip* tidak menunjukkan perubahan signifikan setelah kelelahan. Hal ini relevan dengan temuan Huang et al., (2023) yang menunjukkan bahwa stabilitas biomekanik tidak selalu terpengaruh oleh kelelahan otot. Rata-rata sudut *ankle* sedikit menurun dari 148.07° menjadi 148.04° , sedangkan sudut *knee* dan *hip* justru mengalami sedikit peningkatan masing-masing dari 101.1° menjadi 101.7° dan dari 133.3° menjadi 136.6° . Stabilitas sudut awalan ini menunjukkan bahwa tubuh mampu mempertahankan pola gerakan awal meskipun otot mengalami kelelahan. Mekanisme kompensasi ini memungkinkan tubuh untuk tetap menjaga efisiensi biomekanik dalam memulai gerakan. Begitu pula dengan sudut tumpuan yang tetap stabil, dengan nilai rata-rata sedikit berubah dari 132.2° menjadi 131.4° . Stabilitas sudut tumpuan ini menunjukkan bahwa tubuh memiliki kemampuan adaptif untuk mempertahankan keseimbangan dan efisiensi biomekanik selama aktivitas fisik, meskipun terjadi penurunan performa otot akibat kelelahan.

Pada variabel kecepatan, hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada kecepatan sudut lutut dari 1004.7 ± 218.8 deg/s menjadi 1120.5 ± 275.6 deg/s. Peningkatan ini mencerminkan respons adaptif tubuh yang memungkinkan percepatan gerakan lebih tinggi, meskipun otot mengalami akumulasi asam laktat dan penurunan kapasitas kontraktile. Respons ini mungkin disebabkan oleh mekanisme rekrutmen serat otot cepat (*fast-twitch*) yang lebih dominan pada kondisi kelelahan, sehingga menghasilkan gerakan dengan percepatan lebih tinggi. Temuan ini relevan dengan studi Rodrigues et al., (2023) yang menunjukkan bahwa kecepatan segmental pada ekstremitas bawah lebih sensitif terhadap kelelahan dibandingkan

parameter lainnya. Sebaliknya, kecepatan sudut hip dan kecepatan bola tidak menunjukkan perubahan signifikan. Kecepatan sudut hip hanya sedikit meningkat dari 656.1 ± 276.9 deg/s menjadi 683.9 ± 164.07 deg/s. Sedangkan kecepatan bola tetap stabil tetapi terjadi sedikit penurunan, di sekitar 40.9 km/h sebelum kelelahan dan 40.6 km/h setelah kelelahan. Hal ini sejalan dengan penelitian Studi et al., (2022) yang menunjukkan bahwa perubahan teknik menendang yang dilakukan secara terus-menerus dapat menyebabkan kelelahan, sehingga mengakibatkan penurunan kecepatan pada detik-detik akhir tendangan. Stabilitas ini mengindikasikan bahwa tubuh mampu menjaga kontrol biomekanik dalam gerakan yang memerlukan presisi tinggi, seperti gerakan rotasi pinggul dan pelepasan bola, meskipun dalam kondisi kelelahan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelelahan fisik berdampak signifikan pada peningkatan kadar asam laktat dan kecepatan sudut lutut, namun tidak banyak memengaruhi sudut biomekanik dan kecepatan bola. Hal ini mencerminkan bahwa tubuh memiliki kemampuan adaptif untuk mempertahankan pola gerakan dan efisiensi biomekanik tertentu meskipun terjadi kelelahan fisiologis. Temuan ini penting untuk memahami bagaimana tubuh bereaksi terhadap kelelahan dalam aktivitas fisik intensif dan memberikan wawasan tentang strategi yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan performa atletik, seperti manajemen beban latihan dan program pemulihan yang terarah.

KESIMPULAN

Kelelahan otot lower body meningkatkan kadar asam laktat secara signifikan, mencerminkan pergeseran metabolisme dari *aerobic* ke *anaerobic*. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas fisik intensif berhasil menciptakan kondisi kelelahan yang terukur. Parameter kinematika seperti sudut awalan (*ankle, knee, hip*) dan sudut tumpuan tetap stabil. Stabilitas ini mencerminkan kemampuan tubuh untuk mempertahankan efisiensi gerakan meskipun terjadi penurunan performa otot akibat kelelahan. Namun, kecepatan sudut lutut maksimal menunjukkan peningkatan signifikan, menandakan adanya respons adaptif tubuh dalam meningkatkan percepatan gerakan. Sebaliknya, kecepatan sudut pinggul maksimal dan kecepatan bola tetap stabil tanpa perbedaan signifikan. Penelitian ini menunjukkan bahwa tubuh memiliki mekanisme adaptasi untuk mempertahankan efisiensi biomekanik selama aktivitas fisik intensif, meskipun kelelahan memengaruhi beberapa parameter kinematika. Penelitian ini bermanfaat bagi pelatih dan pemain futsal dalam merancang latihan dan strategi pemulihan untuk meningkatkan performa dan mengurangi dampak kelelahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A. B., & Hidayah, T. (2022). Analisis Biomekanika Gerak Pukulan Jarak Menengah Pada Atlet Woodball Universitas Negeri Semarang. *Tadulako Journal Sport Sciences And*, 0383, 33-44. <http://jurnal.fkip.untad.ac.id/index.php/tjsspe/article/download/2409/1729>
- Arjunnaja, A., Asnawi, S., Pamungkas, A. T., & Le tran, M. N. (2022). Analisis gerakan tendangan instep pada atlet sepakbola dalam peningkatan performa. *Sepakbola*, 2(1), 18. <https://doi.org/10.33292/sepakbola.v2i1.148>
- Augustus, S., Hudson, P. E., Harvey, N., & Smith, N. (2021). Whole-body energy transfer strategies during football instep kicking: implications for training practices. *Sports Biomechanics*, 00(00), 1–16. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1951827>
- Hidayat, A., Imanudin, I., & Ugelta, S. (2019). *Jurnal Terapan Ilmu Keolahragaan Analisa Kebutuhan Latihan Fisik Pemain Sepakbola Dalam Kompetisi AFF U-19 (Studi Analisis Terhadap Pemain Gelandang Timnas Indonesia U-19)*. 4(1), 1–4.
- Himawan, F. (2022). Pengaruh Penggunaan Media Audio Visual Terhadap Keterampilan Teknik Dasar Shooting Futsal (Studi kasus SMAN 3 Karawang). *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 8(3), 2483–2491. <https://doi.org/10.58258/jjime.v8i3.3711>
- Huang, C., Ye, J., Song, Y., Kovács, B., Baker, J. S., Mao, Z., & Gu, Y. (2023). The Effects of Fatigue on the Lower Limb Biomechanics of Amateur Athletes during a Y-Balance Test. *Healthcare (Switzerland)*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/healthcare11182565>
- Ishac, K., & Eager, D. (2021). Evaluating martial arts punching kinematics using a vision and inertial sensing system. *Sensors*, 21(6), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s21061948>
- Mudian, D., & Prasetyo, A. F. (2023). Korelasi Kecepatan Dan Kelincahan Terhadap Keterampilan Dribbling Futsal. *Biomatika : Jurnal Ilmiah Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan*, 9(1), 59–67. <https://doi.org/10.35569/biormatika.v9i1.1433>
- Piko, S.O., Flora, R., & Theodorus. (2019). Perbandingan Aktivitas Fisik Aerobik Dan Anaerobik Terhadap Kadar Laktat Dan Laktat Dehidrogenase (Ldh). *Jurnal Kesehatan Dan Pembangunan*, 9(17), 88–97. <https://doi.org/10.52047/jkp.v9i17.33>
- Putra, A. I. Y., Irawan, F. A., Hidayah, T., & Anam, K. (2023). Analisis Gerak Tendangan Penalti Pada Atlet U-19 Klub Futsal Fantaboys Di Kota Tanjungpinang. *Journal of SPORT (Sport, Physical Education, Organization, Recreation, and Training)*, 7(2), 143–155. <https://doi.org/10.37058/sport.v7i2.6673>
- Rodrigues, J. C. C., Penna, E. M., Machado, H. E. S., Sant'Ana, J., Diefenthaler, F., & Coswig, V. S. (2023). Effects of lower and upper body fatigue in striking response time of amateur karate athletes. *PeerJ*, 1, 1–14. <https://doi.org/10.7717/peerj.14764>
- Souglis, A., Bourdas, D. I., Gioldasis, A., Ispiridis, I., Philippou, A., Zacharakis, E., Apostolidis, A., Efthymiou, G., & Travlos, A. K. (2023). Time Course of Performance Indexes, Oxidative Stress, Inflammation, and Muscle Damage Markers after a Female Futsal Match. *Sports*, 11(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/sports11070127>
- Spyrou, K., Freitas, T. T., Marín-Cascales, E., & Alcaraz, P. E. (2020). Physical and Physiological Match-Play Demands and Player Characteristics in Futsal: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 11(November).

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.569897>

- Studi, P., Kepelatihan, P., Olahraga, F., & Gorontalo, U. N. (2022). *MULTILATERAL : Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga Kombinasi latihan fisik dan teknik : Efek terhadap kecepatan tendangan sabit dan ketahanan anaerob Combination of physical training and technique : Effects on sickle kick speed and anaerobic endurance*. 21(6), 156–168.
- Supriatna, E., & Rusdiana, A. (2019). *Pengaruh Kelelahan Otot (Muscle Fatigue) terhadap Performa Tendangan Mae Geri dalam Olahraga Karate*.
- Suwanto Raharjo, R. A. M. E. U. (2019). Analisis Penerapan Pemodelan Gerakan Karakter Manusia pada Animasi 3D dengan Menggunakan Metode Forward Kinematics. *Respati*, 14(3), 33–38. <https://doi.org/10.35842/jtir.v14i3.311>
- Yanez, C., Ochoa, N., Cardozo, L., Peña, J., Diaz, N., Ojeda, W., & Rodriguez, J. (2022). Assessment of Neuromuscular Fatigue 24 hours After a Futsal Simulated Protocol in University Female Athletes. *International Journal of Exercise Science*, 16(1), 205–216.