

The Effect of Leg Muscle Fatigue on Landing Biomechanics in Volleyball Athletes

Pengaruh Kelelahan Otot Tungkai Terhadap Biomekanika Pendaratan Pada Atlet Bola Voli

Finnasih¹, Agus Rusdiana², Iwa Ikhwan Hidayat³, Tian Kurniawan⁴, Tono Haryono⁵

^{1 2 3 4 5} Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

Article Info

Corresponding Author:

Finnasih

✉ finnasih08@upi.edu

History:

Submitted: 15-11-2024

Revised: 20-12-2024

Accepted: 30-12-2024

Keyword:

Service fatigue; biomechanics; landing; volleyball

Kata Kunci:

Kelelahan; Biomekanika; Pendaratan; Bola Voli

How to Cite:

Finnasih., Rusdiana, A., Hidayat, I. I., Kurniawan, T., Haryono, T. (2024). Pengaruh Kelelahan Otot Tungkai Terhadap Biomekanika Pendaratan Pada Atlet Bola Voli. Jurnal Muara Olahraga, 7(1), 81-92.

<https://doi.org/10.52060/jmo.v7i1.2668>

Abstract

This study aims to analyze the impact of lower body fatigue on landing biomechanics in volleyball athletes, focusing on knee flexion angle, valgus/varus deviation angle, and the relationship between center of gravity (CG) and ground reaction force (GRF). A quantitative approach with a pretest-posttest design was employed. Thirteen volleyball athletes from the University's sports club participated as samples. Biomechanical data were collected using cameras, force plates, and motion analysis software. Fatigue was induced through the Bosco test, and lactate levels were measured to confirm fatigue. The results showed that lower body fatigue significantly affected knee flexion angle ($p = 0.003$), while valgus/varus deviation angle ($p = 0.540$) and average CG-GRF ($p > 0.05$) showed no significant differences before and after fatigue. A negative and insignificant correlation was found between CG and GRF both before ($r = -0.041$, $p = 0.893$) and after fatigue ($r = 0.098$, $p = 0.751$). This study highlights the importance of neuromuscular training and lower body strengthening to reduce knee injury risks in volleyball athletes. Further research with more diverse protocols is needed to better understand these biomechanical mechanisms.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak kelelahan otot tungkai terhadap biomekanika pendaratan pada atlet bola voli, dengan fokus pada sudut fleksi lutut, sudut deviasi valgus/varus, serta hubungan antara pusat gravitasi (CG) dan gaya reaksi tanah (GRF). Pendekatan kuantitatif dengan desain pretest-posttest digunakan dalam penelitian ini. Tiga belas atlet bola voli dari UKM Bola Voli UPI berpartisipasi sebagai sampel. Data biomekanik dikumpulkan menggunakan kamera, force plate, dan perangkat lunak analisis gerak. Kelelahan diinduksi melalui tes Bosco, dan kadar asam laktat diukur untuk memastikan tingkat kelelahan. Hasil menunjukkan bahwa kelelahan otot tungkai secara signifikan memengaruhi sudut fleksi lutut ($p = 0,003$), sementara sudut deviasi valgus/varus ($p = 0,540$) dan rata-rata CG-GRF ($p > 0,05$) tidak menunjukkan perbedaan signifikan sebelum dan sesudah kelelahan. Korelasi negatif dan tidak signifikan ditemukan antara



Copyright © 2024 by
Jurnal Muara Olahraga.

This is an open access article under the cc-by license

 <https://doi.org/10.52060/jmo.v7i1.2668>

CG dan GRF, baik sebelum ($r = -0,041$, $p = 0,893$) maupun setelah kelelahan ($r = 0,098$, $p = 0,751$). Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya pelatihan neuromuskular dan penguatan otot tungkai untuk mengurangi risiko cedera lutut pada atlet bola voli. Penelitian lanjutan dengan protokol yang lebih beragam diperlukan untuk memahami lebih jauh mekanisme biomekanik ini.

A. Pendahuluan

Bola voli merupakan olahraga yang sudah populer di masyarakat, baik di Indonesia maupun di dunia yang membutuhkan berbagai keterampilan dan teknik (Afdi et al., 2019). Salah satu teknik penting dalam permainan olahraga ini adalah blocking, dimana atlet menggunakan kedua tangan dan lompatan yang tinggi untuk menghadang serangan lawan dari dekat net sekaligus sebagai serangan balik ke pihak lawan (Pardiman et al., 2021). Keberhasilan dalam melakukan blocking sangat dipengaruhi oleh kemampuan atlet dalam melakukan pendaratan yang tepat setelah lompatan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pendaratan yang tidak tepat berkontribusi terhadap performa yang kurang optimal dan peningkatan risiko cedera pada atlet (Anwar et al., 2020).

Kelelahan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan buruknya mekanika pendaratan (Zhang et al., 2021). Dalam olahraga bola voli, baik saat latihan maupun kompetisi, banyak lompatan yang dilakukan oleh atlet yang mengakibatkan kelelahan pada otot-otot ekstremitas bawah termasuk otot tungkai (Paz et al., 2017; Prieske et al., 2017). Hal ini yang pada akhirnya mengurangi kemampuan jaringan (seperti otot dan tendon) untuk menyerap dampak benturan saat pendaratan (Knihs et al., 2021). Al et al. (2000) mengungkapkan bahwa kekuatan otot yang buruk dan kelelahan dapat meningkatkan risiko stress cedera pada atlet karena lebih banyak gaya yang ditransmisikan melalui tulang, yang dapat menyebabkan peningkatan microdamage (Bishop et al., 2021).

Biomekanika adalah bidang studi yang sangat penting dalam dunia olahraga, analisis biomekanika yang tepat dapat membantu mengidentifikasi aspek-aspek teknik yang perlu ditingkatkan (Tsurayya & Hayati, 2024). Dalam penelitian ini, analisis biomekanika dapat digunakan untuk mengamati sudut sendi saat puncak pendaratan dan pergeseran pusat tekanan selama pendaratan setelah melakukan blocking. Beberapa penelitian telah mengkaji hubungan antara kelelahan otot dan performa atletik. Sebagai contoh, penelitian oleh Boos (2022) menunjukkan bahwa kelelahan dapat mengurangi kemampuan atlet dalam menjaga stabilitas tubuh saat pendaratan. Studi lain oleh Zhang et al. (2021) menemukan bahwa progresi kelelahan berkontribusi terhadap transisi strategi atlet selama pendaratan, yang menunjukkan adaptasi neuromuscular yang berbeda untuk mengatasi dampak kelelahan. Namun,

kajian spesifik mengenai pengaruh kelelahan otot tungkai terhadap teknik pendaratan saat melakukan blocking dalam bola voli masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menganalisis pengaruh kelelahan otot tungkai terhadap sudut sendi dan pergeseran pusat tekanan tubuh saat mendarat melalui pendekatan biomekanika. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting terhadap literatur biomekanika olahraga, serta membantu pelatih dan pemain dalam pengembangan program latihan yang lebih efektif dan strategi pencegahan cedera bagi atlet bola voli.

B. Metode

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling,

yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Subjek penelitian ini adalah atlet bola voli yang tergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) bola voli Universitas Pendidikan Indonesia. Jumlah sampel dalam penelitian ini sebanyak 13 orang dengan kriteria inklusi meliputi berjenis kelamin laki-laki, sehat jasmani, tidak memiliki riwayat cedera lutut dalam enam bulan terakhir, serta bersedia mengikuti seluruh rangkaian penelitian.

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan pre-test dan post-test design. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kelelahan otot tungkai terhadap teknik pendaratan dengan mengukur parameter kinematika, yaitu sudut fleksi lutut, sudut valgus/varus lutut pada saat puncakendaratan, serta hubungan antara pusat gravitasi tubuh (Center of Gravity/CG) dan gaya reaksi tanah (Ground Reaction Force/GRF) .

Instrumen penelitian ini meliputi dua kamera Panasonic Handycam HC-V100 Full HD yang diposisikan pada sudut depan dan samping untuk merekam gerakan pendaratan, dua tripod untuk menjaga stabilitas kamera selama perekaman., force plate untuk mengukur data GRF selama pendaratan, strip laktat Accutrend untuk mengukur kadar laktat darah sebagai indikator kelelahan otot tungkai, serta perangkat lunak Kinovea untuk analisis sudut fleksi lutut dan sudut valgus/varus lutut. Pengambilan data dilakukan pada awal bulan Desember di Laboratorium Sport Science FPOK UPI.

Prosedur pengumpulan data dimulai dengan pengukuran data antropometri, yang mencakup tinggi badan, berat badan, persentase lemak tubuh, dan indeks

massa tubuh (Body Mass Index/BMI). Setelah itu, dilakukan pengukuran kadar asam laktat dalam darah subjek sebelum pengujian, menggunakan metode pengambilan sampel darah dari ujung jari. Subjek kemudian melakukan pemanasan selama 10-15 menit untuk mempersiapkan kondisi fisik. Selanjutnya, dilakukan proses pemasangan marker reflektif pada titik-titik anatomis tubuh untuk mendukung analisis kinematika. Setelah pemasangan marker, subjek melakukan tes awal pendaratan sebelum diberikan perlakuan induksi kelelahan. Pada tahap ini, data analisis kinematika meliputi sudut fleksi lutut, sudut deviasi valgus/varus lutut pada saat puncak pendaratan, serta hubungan antara pusat gravitasi tubuh (Center of Gravity/CG) dan gaya reaksi tanah (Ground Reaction Force/GRF) direkam menggunakan dua kamera (posisi depan dan samping) dan force plate. Setelah tes awal, subjek menjalani perlakuan induksi kelelahan menggunakan Tes Bosco, yang melibatkan serangkaian gerakan *Squat Jump*, *Countermovement Jump*, dan *Continuous Jump with Straight Legs*. Tingkat kelelahan subjek dikonfirmasi melalui pengukuran kadar asam laktat darah. Kadar laktat diukur kembali setelah perlakuan untuk memastikan bahwa subjek telah mencapai kelelahan, dengan nilai ambang kelelahan ≥ 4 mmol/L. Setelah kondisi kelelahan tercapai, subjek kembali melakukan tes gerakan pendaratan dengan prosedur yang sama seperti pada tes awal. Pada tahap ini, semua data kembali direkam untuk dianalisis lebih lanjut.

Tabel Deskripsi Data Antropometri Sampel

	N	Min	Max	Mean
1 Umur	13	18	22	19,8
2 Tinggi Badan	13	169	183	174,2
3 Berat Badan	13	50	86	67,2
4 Fat	13	8	25	13,5
5 BMI	13	18	28	39,9
6 Laktat Sebelum	13	1	2,4	1,7
7 Laktat Setelah	13	7,8	16,8	11,7

Data yang dikumpulkan meliputi sudut fleksi lutut, sudut valgus/varus lutut pada saat puncak pendaratan, serta hubungan antara pusat gravitasi tubuh (CG) dan gaya reaksi tanah (GRF). Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial yang diolah melalui perangkat lunak IBM SPSS Statistics 26. Uji normalitas dilakukan menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05. Jika nilai signifikan ($p > 0,05$), data dinyatakan berdistribusi normal.

Setelah distribusi data ditentukan, analisis perbedaan dilakukan dengan uji statistik yang sesuai. Untuk variabel yang berdistribusi normal, digunakan uji *Paired Sample t-Test* guna mengevaluasi perbedaan sebelum dan setelah kelelahan. Sebaliknya, untuk variabel dengan distribusi tidak normal, digunakan uji *non-parametrik Wilcoxon Signed-Rank Test* untuk mengidentifikasi perubahan antara dua kondisi tersebut. Hubungan antara tinggi pusat gravitasi (CG) dan gaya reaksi tanah (GRF) vertikal dianalisis menggunakan uji korelasi. Jika data dari kedua variabel berdistribusi normal, digunakan uji korelasi *Pearson Product Moment*, sedangkan jika salah satu atau kedua variabel tidak normal, analisis dilakukan menggunakan uji *Spearman Rank Correlation*. Hasil analisis data disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah interpretasi data.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kelelahan otot tungkai terhadap sudut fleksi lutut, sudut deviasi valgus/varus lutut pada saat puncak pendaratan, serta hubungan antara pusat gravitasi tubuh (Center of Gravity/CG) dan gaya reaksi tanah (Ground Reaction Force/GRF). Kadar asam laktat diukur untuk memastikan kondisi kelelahan otot setelah perlakuan Tes Bosco. Hasil pengukuran kadar laktat sebelum dan setelah tes pada Tabel 2 menunjukkan peningkatan signifikan. Kadar laktat meningkat secara signifikan dari 1,7 mmol/L sebelum tes menjadi 11,7 mmol/L setelah tes. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan Tes Bosco berhasil menginduksi kelelahan otot pada subjek.

Tabel Asam Laktat Sebelum dan Setelah Kelelahan

Variable	Average Before $\pm$ SD	Average After $\pm$ SD	Signifikansi (Perbedaan)
Asam Laktat (mmol/L)	1,7 $\pm$ 0,5	11,7 $\pm$ 3,0	0,000*

Pada Tabel diatas menunjukkan rata-rata sudut fleksi lutut sebelum kelelahan adalah $70,6^\circ \pm 11,0^\circ$, sedangkan setelah kelelahan menurun menjadi $84,0^\circ \pm 9,4^\circ$. Perbedaan ini menunjukkan adanya penurunan sudut fleksi lutut setelah subjek mengalami kelelahan. Hasil analisis statistik dengan uji *paired t-test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,003 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa kelelahan otot tungkai secara signifikan memengaruhi sudut fleksi lutut pada saat puncak pendaratan.

Sudut deviasi valgus/varus lutut menunjukkan peningkatan setelah kelelahan. Sebelum kelelahan, rata-rata sudut deviasi adalah $10,1^\circ \pm 3,6^\circ$. Setelah kelelahan, nilai rata-rata meningkat menjadi $10,9^\circ \pm 2,9^\circ$. Namun, hasil uji *paired t-test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,540 ($p > 0,05$), yang berarti tidak ada perubahan signifikan pada sudut deviasi lutut setelah kelelahan.

Tabel Sudut Lutut Sebelum dan Setelah Kelelahan

Variabel	Average Before $\pm$ SD	Average After $\pm$ SD	Signifikansi (perbedaan)
Sudut Fleksi Lutut ($^\circ$)	$70,6^\circ \pm 11,0^\circ$	$84,0^\circ \pm 9,4^\circ$	0,003*
Sudut Deviasi Lutut ($^\circ$)	$10,1^\circ \pm 3,6^\circ$	$10,9^\circ \pm 2,9^\circ$	0,540

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa hubungan antara CG dan GRF vertikal tidak signifikan, baik sebelum maupun setelah kelelahan. Sebelum kelelahan, nilai korelasi adalah $r = -0,041$ dengan $p = 0,893$, sedangkan setelah kelelahan nilai korelasi adalah $r = 0,098$ dengan $p = 0,751$. Hasil ini menunjukkan bahwa ketinggian CG tidak secara langsung memengaruhi GRF maksimum pada puncak pendaratan, baik dalam kondisi segar maupun lelah.

Tabel Hubungan antara CG dan GRF Sebelum dan Setelah Kelelahan

Kondisi	Nilai Korelasi (r)	Signifikansi (p)	Interpretasi Hubungan
Sebelum Kelelahan	-0,041	0,893	Hubungan sangat lemah, tidak signifikan
Setelah Kelelahan	0,098	0,751	Hubungan sangat lemah, tidak signifikan

2. Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar laktat dalam darah mengalami perubahan yang signifikan dari 1,7 mmol/L sebelum tes menjadi 11,7 mmol/L setelah tes dengan nilai signifikansi 0,000. Peningkatan kadar laktat ini mengindikasikan terjadinya transisi dari metabolisme aerobik ke anaerobik, yang sering kali terjadi selama aktivitas fisik yang intens dan berkepanjangan (Flora, 2015). Ketika seseorang berpartisipasi dalam olahraga berat, tubuhnya mulai mengandalkan jalur anaerobik untuk menghasilkan energi, yang pada gilirannya menyebabkan akumulasi

laktat dalam darah (Mighra & Djaali, 2021). Kadar laktat yang tinggi tidak hanya menjadi indikator kelelahan, tetapi juga dapat menyebabkan kelelahan otot yang lebih serius. Kelelahan ini dapat mengganggu kontrol neuromuskular, yang penting untuk menjaga stabilitas sendi saat beraktivitas (Gutierrez et al., 2009). Dalam konteks olahraga, kadar laktat yang meningkat dapat berdampak negatif pada teknik pendaratan atlet, sehingga meningkatkan risiko cedera. Erfandy et al. (2022) mengungkapkan bahwa akumulasi laktat dalam tubuh dapat menurunkan kinerja atlet secara keseluruhan. Hal ini sejalan dengan temuan dari Zhang et al. (2021), yang menegaskan bahwa kelelahan yang diakibatkan oleh peningkatan kadar laktat berdampak pada biomekanika pendaratan.

Selanjutnya, hasil analisis menunjukkan bahwa sudut fleksi lutut juga mengalami perubahan signifikan dengan nilai signifikansi sebesar 0,003. Temuan ini menunjukkan bahwa kelelahan metabolik dapat memengaruhi kemampuan individu untuk mempertahankan sudut fleksi lutut yang optimal saat melakukan teknik mendarat. Penurunan sudut fleksi lutut ini menjadi perhatian utama karena dapat meningkatkan risiko cedera, terutama pada ligamen di sekitar sendi lutut (Putra et al., 2023). Sudut fleksi yang menurun saat melakukan pendaratan menyebabkan peningkatan stres pada ligamen lutut dengan mengurangi kemampuan hamstring untuk menahan gaya geser anterior pada tibia (Chappell et al., 2005). Kelelahan otot terutama pada otot-otot ekstremitas bawah, dapat secara signifikan mengurangi kemampuan otot untuk menyerap gaya benturan saat mendarat yang berpotensi memengaruhi sistem muskuloskeletal pasif dan meningkatkan risiko cedera (Hazzaa et al., 2023). Ortiz et al. (2010) menegaskan bahwa kelelahan menempatkan lutut dalam situasi yang tidak stabil dengan mengurangi stabilitas dinamisnya. Hal ini dapat menyebabkan risiko cedera meningkat, terutama pada sendi-sendi yang terlibat dalam aktivitas fisik yang intens.

Sebaliknya, sudut deviasi valgus atau varus tidak menunjukkan hasil yang signifikan, dengan nilai signifikansi sebesar 0,540. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun kelelahan bisa memengaruhi sudut fleksi lutut, perubahan pada sudut deviasi tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan. Ini menunjukkan bahwa sistem neuromuskular mungkin beradaptasi untuk mempertahankan kontrol sendi meskipun dalam keadaan lelah. Penelitian oleh Myer et al. (2013) menunjukkan

bahwa individu yang terlatih dalam teknik pendaratan yang baik dapat menjaga stabilitas lutut mereka, bahkan dalam kondisi kelelahan. Hal ini menunjukkan pentingnya pelatihan teknik pendaratan yang tepat untuk mengurangi risiko cedera, terlepas dari tingkat kelelahan yang dialami atlet. Faktor-faktor seperti pengalaman atletik dan teknik pendaratan juga dapat berkontribusi pada hasil ini. Atlet yang terbiasa dengan latihan pendaratan yang benar mungkin memiliki kontrol yang lebih baik atas sudut deviasi lutut mereka (Garcia et al., 2022). Dengan kata lain, pengalaman dan pelatihan yang tepat dapat meningkatkan kemampuan individu untuk mengelola posisi lutut mereka saat mendarat, meskipun mereka berada dalam kondisi lelah.

Analisis korelasi antara pusat gravitasi tubuh (CG) dan gaya reaksi tanah (GRF) tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Sebelum kondisi lelah, nilai korelasi antara CG dan GRF adalah -0,041 dengan signifikansi 0,893. Setelah kelelahan, nilai korelasi ini berubah menjadi 0,098 dengan signifikansi 0,751. Korelasi yang lemah ini menunjukkan bahwa meskipun kelelahan dapat memengaruhi kinerja fisik secara keseluruhan, perubahan posisi CG tidak secara langsung memengaruhi GRF. Ini mungkin disebabkan oleh interaksi yang kompleks antara berbagai faktor, seperti teknik pendaratan dan kontrol neuromuskular yang berbeda. Penelitian oleh Gabbett (2016) menunjukkan bahwa adaptasi neuromuskular dapat memengaruhi cara individu mengelola beban saat mendarat. Hal ini mungkin menjelaskan mengapa hubungan antara posisi CG dan besaran GRF tidak begitu kuat. Selain itu, teknik pendaratan yang berbeda dapat memengaruhi besaran GRF vertikal atlet (Garcia et al., 2022). Misalnya, jika seorang atlet berfokus pada menjaga keseimbangan saat mendarat, mereka mungkin mengubah cara mereka mengelola GRF, yang pada gilirannya dapat mengurangi korelasi antara posisi CG dan besar GRF yang diterima.

Dengan demikian, analisis ini menunjukkan bahwa baik kelelahan otot maupun teknik pendaratan memiliki peran penting dalam kinerja dan risiko cedera, terutama pada atlet yang terlibat dalam aktivitas fisik intens. Pelatihan yang tepat dan perhatian terhadap teknik dapat membantu mengurangi risiko cedera, bahkan dalam keadaan kelelahan, dan memberikan wawasan yang berharga bagi pelatih dan atlet dalam merancang strategi pencegahan cedera yang efektif.

D. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelelahan metabolik memiliki dampak yang signifikan terhadap sudut fleksi lutut, yang dapat meningkatkan potensi risiko cedera. Namun, tidak ditemukan perubahan signifikan pada sudut deviasi valgus/varus maupun hubungan antara CG dan GRF, yang mengindikasikan bahwa mekanisme adaptasi neuromuskular mungkin berperan dalam menjaga stabilitas sendi. Temuan ini menyoroti pentingnya pelatihan yang berfokus pada teknik pendaratan serta strategi neuromuskular untuk mengurangi risiko cedera, khususnya pada atlet yang melakukan aktivitas fisik dengan tingkat risiko tinggi. Berdasarkan hasil ini, disarankan untuk menerapkan pendekatan pelatihan yang holistik guna meningkatkan kekuatan otot dan kontrol neuromuskular, dengan tujuan akhir meminimalkan risiko cedera lutut pada atlet. Penelitian lebih lanjut dengan melibatkan sampel yang lebih besar dan protokol kelelahan yang beragam diperlukan untuk memberikan wawasan lebih mendalam mengenai dampak kelelahan terhadap stabilitas sendi lutut.

Daftar Pustaka

- Afdi, R. B., Zulman, Z., & Asmi, A. (2019). Pengaruh Model Latihan Passing Terhadap Kemampuan Passing Bawah Dan Passing Atas Pemain Bolavoli. *Sport Science*, 19(1), 33–40. <https://doi.org/10.24036/jss.v19i1.26>
- Al, D. R. S. C. Z. (2000). Stress Injury to the Bone Among Women Athletes. *Phphysical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 11(4), 929–947.
- Anwar, C., Kusuma, B., & Fatkhul, I. (2020). Analisis Biomekanika Open Smash Bola Voli di Club Bina Taruna Semarang. *Journal of Sport Coaching and Physical Education*, 5(2), 76–82. <https://doi.org/10.15294/jscpe.v5i2.36922>
- Bishop, M. E., Ahlmen, A., Rosendorf, J., Erickson, B. J., & Cohen, S. (2021). Bone stress injuries in female athletes. *Annals of Joint*, 6(8). <https://doi.org/10.21037/AOJ.2020.04.04>
- Boos, Z. P. (2022). THE EFFECTS OF FATIGUE ON LANDING IMPACT FORCES AND POSTURAL STEADINESS IN COLLEGIATE VOLLEYBALL PLAYERS [The University of Montana]. In Graduate Student Theses, Dissertations, & Professional Papers. <https://scholarworks.umt.edu/etd/11912%0AThis>
- Chappell, J. D., Herman, D. C., Knight, B. S., Kirkendall, D. T., Garrett, W. E., & Yu, B. (2005). Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. *American Journal of Sports Medicine*, 33(7), 1022–1029. <https://doi.org/10.1177/0363546504273047>

-
- Erfandy, W., & . A. (2022). Analisis Kadar Asam Laktat Atlet Putri Ukm Bolabasket Universitas Muhammadiyah Cirebon. *Sains Olahraga: Jurnal Ilmiah Ilmu Keolahragaan*, 4(2), 84. <https://doi.org/10.24114/so.v4i2.19886>
- Flora, R. (2015). Pengaruh Latihan Fisik Anaerobik Terhadap Kadar Laktat Plasma dan Kadar Laktat Jaringan Otot Jantung Tikus Wistar Effect Anaerobic Exercise on The Blood Lactate Levels and Myocardium Levels in Wistar Rats. *Journal Article*, 1, 40–42.
- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Garcia, S., Delattre, N., Berton, E., Divrechy, G., & Rao, G. (2022). Comparison of landing kinematics and kinetics between experienced and novice volleyball players during block and spike jumps. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00496-0>
- Gutierrez, G. M., Kaminski, T. W., & Douex, A. T. (2009). Neuromuscular Control and Ankle Instability. *PM and R*, 1(4), 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.01.013>
- Hazzaa, W. A., Hottenrott, L., Kamal, M. A., & Mattes, K. (2023). The Influence of General and Local Muscle Fatigue on Kinematics and Plantar Pressure Distribution during Running: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/sports11120241>
- Knihs, D. A., Zimmermann, H. B., & Pupo, J. D. (2021). Acute and delayed effects of fatigue on ground reaction force, lower limb stiffness and coordination asymmetries during a landing task. *Journal of Human Kinetics*, 76(1), 191–199. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0054>
- Mighra, B. A., & Djaali, W. (2021). Pengaruh RAST (Running-Based Anaerobic Sprint Test) terhadap Denyut Jantung dan Kadar Asam Laktat pada Atlet Futsal FIK UNJ. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 13(1), 113–119. <https://doi.org/10.37012/jik.v13i1.530>
- Myer, G. D., Sugimoto, D., Thomas, S., & Hewett, T. E. (2013). The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: A meta-analysis. *American Journal of Sports Medicine*, 41(1), 203–215. <https://doi.org/10.1177/0363546512460637>
- Ortiz, A., Olson, S. L., Etnyre, B., Trudelle-Jackson, E. E., Bartlett, W., & Venegas-Rios, H. L. (2010). Fatigue effects on knee joint stability during two jump tasks in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 1019–1027. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7c5d4>
-

-
- Pardiman, Aden Wijaya, & Siti Euis Kartika. (2021). Studi Literatur Latihan Vertical Jump Terhadap Teknik Block Pada Permainan Bola Voli. *SPORTIF: Jurnal Pendidikan Jasmani, Kesehatan, Dan Rekreasi*, 6(2), 42–51. <https://doi.org/10.54438/sportif.v6i2.266>
- Paz, G. A., Gabbett, T. J., Maia, M. F., Santana, H., Miranda, H., & Lima, V. (2017). Physical performance and positional differences among young female volleyball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(10), 1282–1289. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06471-9>
- Prieske, O., Demps, M., Lesinski, M., & Granacher, U. (2017). Combined Effects of Fatigue and Surface Instability on Jump Biomechanics in Elite Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 38(10), 781–790. <https://doi.org/10.1055/s-0043-111894>
- Putra, M. E., Fauzi, F., Kurniawan, F., & Ningrum, N. R. (2023). Analisis Mekanika Gerak Fase Mendarat Teknik Open Smash Bola Voli. *Jambura Health and Sport Journal*, 5(2), 114–121. <https://doi.org/10.37311/jhsj.v5i2.18961>
- Tsurayya, S., & Hayati, M. N. (2024). Analisis Biomekanika Kuantitatif Teknik Tembakan Bebas Dalam Basket. *Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia (JPPI)*, 1(4), 252–258.
- Zhang, Q., Ruan, M., Singh, N. B., Huang, L., Zhang, X., & Wu, X. (2021). Progression of fatigue modifies primary contributors to ground reaction forces during drop landing. *Journal of Human Kinetics*, 76(1), 161–173. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0052>