

# PENGARUH KELELAHAN OTOT *LOWER BODY* TERHADAP PARAMETER KINEMATIKA TENDANGAN *HIGH KICK* CABOR *MUAY THAI*

## *THE EFFECT OF LOWER BODY MUSCLE FATIGUE ON HIGH KICK KINEMATIC PARAMETERS MUAY THAI SPORT*

<sup>1\*</sup>Regi Wijaya Kusuma, <sup>2</sup>Agus Rusdiana, <sup>3</sup>Iwa Ikhwan Hidayat, <sup>4</sup>Iman Imanudin, <sup>5</sup>Tono Haryono,  
<sup>6</sup>Tian Kurniawan

<sup>1\*,2,3,4,5,6</sup>Program Studi Ilmu Keolahragaan, Fakultas Pendidikan Olahraga dan Kesehatan,  
Universitas Pendidikan Indonesia

Kontak koresponden: regiwijayak@upi.edu

### ABSTRAK

Kelelahan otot tubuh bagian bawah dapat memengaruhi kualitas teknik dalam olahraga dinamis seperti *Muay Thai*, termasuk parameter kinematika tendangan *high kick* yang memerlukan kekuatan, kecepatan, dan koordinasi optimal. Pemahaman mengenai hubungan ini penting untuk meningkatkan performa atlet dan mengurangi risiko cedera selama latihan maupun pertandingan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kelelahan otot tubuh bagian bawah terhadap parameter kinematika teknik tendangan *high kick* pada cabang olahraga *Muay Thai*. Teknik tendangan ini, yang memerlukan kekuatan, fleksibilitas, dan koordinasi tinggi, sering digunakan sebagai salah satu senjata utama dalam pertarungan. Penelitian menggunakan desain eksperimen dengan pendekatan *pretest-posttest*, melibatkan delapan atlet aktif *Muay Thai*. Pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian tes fisik dan pengukuran kinematika sebelum dan sesudah induksi kelelahan otot melalui metode *Bosco*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelelahan otot secara signifikan meningkatkan kadar asam laktat, namun tidak memengaruhi beberapa parameter kinematika, seperti posisi *toe*, *center of gravity*, dan sudut *knee* maupun *hip*. Sebaliknya, kecepatan *ankle* menunjukkan perubahan signifikan, menandakan adanya adaptasi biomekanik untuk menjaga performa tendangan meski terjadi kelelahan. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi pelatih dan atlet untuk mengoptimalkan strategi latihan dan pemulihan guna mempertahankan kualitas teknik sekaligus mengurangi risiko cedera.

**Kata Kunci:** kelelahan otot; kinematika; tendangan *high kick*; *Muay Thai*

### ABSTRACT

*Lower body muscle fatigue can affect the quality of technique in dynamic sports such as Muay Thai, including the kinematic parameters of high kicks that require optimal strength, speed, and coordination. Understanding these relationships is important to improve athlete performance and reduce the risk of injury during training and competition. This study aims to examine the effect of lower body muscle fatigue on the kinematic parameters of the high kick technique in the sport of Muay Thai. This kick technique, which requires high strength, flexibility, and coordination, is often used as one of the main weapons in combat. The study used an experimental design with a pretest-posttest approach, involving eight active Muay Thai athletes.*

*Data collection was carried out through a series of physical tests and kinematic measurements before and after muscle fatigue induction using the Bosco method. The results showed that muscle fatigue significantly increased lactic acid levels, but did not affect several kinematic parameters, such as toe position, center of gravity, and knee and hip angles. In contrast, ankle speed showed significant changes, indicating biomechanical adaptations to maintain kicking performance despite fatigue. These findings provide important insights for coaches and athletes to optimize training and recovery strategies to maintain technique quality while reducing the risk of injury.*

**Keywords:** *muscle fatigue; kinematics; high kick; Muay Thai*

## **Pendahuluan**

Beladiri *Muay Thai*, yang sering disebut sebagai "Seni Delapan Anggota Tubuh," merupakan salah satu cabang seni bela diri yang menggabungkan pukulan, tendangan, siku, dan lutut sebagai elemen utama dalam teknik pertarungannya (Bhumipol et al., 2023; Fitri Amalia, 2020; Gavagan & Sayers, 2017). Keunikannya terletak pada penggunaan hampir seluruh bagian tubuh dalam setiap gerakan, menjadikannya sangat efektif dalam pertahanan dan serangan (Kan et al., 2023; Persadanta et al., 2020). Teknik tendangan, seperti *high kick*, memainkan peran penting dalam *Muay Thai* karena memberikan kekuatan dan jarak yang lebih besar untuk menjatuhkan lawan (Luo et al., 2022). Gerakan tendangan yang cepat dan akurat membutuhkan kekuatan, fleksibilitas, dan koordinasi otot tubuh bawah yang sangat tinggi (Habsyi et al., 2024; Hidayat & Haryanto, 2021). Dalam latihan dan kompetisi, faktor-faktor fisiologis, seperti kelelahan otot pada bagian tubuh bawah, dapat mempengaruhi eksekusi teknik yang selama ini dilatih pada olahraga bela diri (Kadir et al., 2024). Kelelahan ini, yang terjadi akibat intensitas latihan atau pertandingan, bisa mengurangi kemampuan atlet dalam melakukan tendangan dengan maksimal, baik dari segi kekuatan maupun presisi. Oleh karena itu, penting untuk memahami dampak dari kelelahan otot terhadap kualitas teknik dalam olahraga ini, guna meningkatkan kinerja atlet dan efisiensi latihan.

Pentingnya teknik tendangan *high kick* dalam olahraga *Muay Thai* terletak pada kemampuannya untuk memberikan serangan yang kuat dan tepat sasaran, sekaligus memanfaatkan jarak yang lebih panjang dibandingkan dengan tendangan lainnya (Corcoran et al., 2024). Tendangan ini sering digunakan untuk menyerang bagian kepala lawan, yang dapat berakibat langsung pada penurunan kemampuan bertarung lawan (Bhumipol et al., 2023). Keunggulannya tidak hanya dalam hal kekuatan, tetapi juga pada kemampuan untuk mengejutkan lawan melalui kecepatan dan sudut serangan yang tak terduga. Selain itu, *high kick* mengandalkan kelincahan, fleksibilitas, dan koordinasi tubuh yang baik, terutama pada otot-otot tubuh bagian bawah, seperti paha, betis, dan otot inti, yang berperan dalam menjaga keseimbangan dan kestabilan saat melakukan tendangan (Diniz et al., 2021). Teknik ini, meskipun sangat efektif, membutuhkan penguasaan yang baik agar dapat dieksekusi dengan sempurna tanpa mengorbankan keselamatan, dan sering kali menjadi salah satu teknik unggulan dalam berbagai kompetisi *Muay Thai*.

Konsep kelelahan otot *lower body* dalam konteks olahraga, terutama pada atlet yang melakukan gerakan dinamis dan eksplosif seperti tendangan tinggi, berfokus pada penurunan kemampuan otot untuk menghasilkan tenaga dan kekuatan seiring berjalannya waktu (Cadegiani & Kater, 2019). Otot-otot seperti paha, betis, dan otot-otot pendukung lainnya berperan penting dalam mengendalikan gerakan tubuh yang cepat dan terkoordinasi, terutama dalam teknik tendangan yang membutuhkan dorongan kuat dari kaki. Ketika otot-otot ini mengalami kelelahan, mereka cenderung kehilangan kapasitas untuk melakukan kontraksi maksimal, yang menyebabkan penurunan kekuatan, kecepatan, dan ketepatan dalam setiap tendangan (Supriatna, 2020). Kelelahan otot juga dapat mempengaruhi koordinasi neuromuskular, sehingga atlet mungkin kesulitan dalam mempertahankan teknik yang benar, yang pada akhirnya dapat berisiko meningkatkan kemungkinan cedera. Pada tahap ini, pengelolaan kelelahan otot menjadi kunci untuk mempertahankan kualitas teknik dan mencegah penurunan performa, baik dalam sesi latihan maupun saat bertanding.

Dampak kelelahan otot terhadap performa teknik olahraga (Supriatna, 2020), terutama pada kinematika gerakan seperti tendangan, sangat signifikan. Ketika otot-otot tubuh bagian bawah, seperti paha, betis, dan otot-otot stabilisator lainnya, mengalami kelelahan, kemampuan untuk melakukan gerakan eksplosif dan terkontrol menjadi terganggu. Pada teknik tendangan, kinematika gerakan seperti sudut tendangan, kecepatan, dan kekuatan tendangan bisa terpengaruh, menyebabkan penurunan efisiensi gerakan. Kelelahan mengurangi ketepatan dalam menjaga posisi tubuh dan keseimbangan (Wawan et al., 2024), yang dapat menyebabkan tendangan menjadi lebih lambat, kurang kuat, atau bahkan kehilangan presisi. Selain itu, kelelahan dapat mempengaruhi waktu reaksi, memperpanjang durasi untuk mengeksekusi gerakan, dan mengurangi kontrol terhadap arah tendangan. Semua ini berpotensi mengurangi efektivitas teknik, meningkatkan risiko cedera, dan berdampak negatif pada kinerja atlet dalam kompetisi.

Relevansi penelitian ini sangat penting dalam upaya meningkatkan efisiensi teknik dan pemulihan pada atlet *Muay Thai*, karena pemahaman yang lebih mendalam tentang bagaimana kelelahan otot mempengaruhi kinematika gerakan dapat membantu merancang program latihan yang lebih efektif dan strategi pemulihan yang tepat. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa kelelahan dapat mempengaruhi posisi dan kecepata *ankle* (Septian et al., 2024). Penelitian sebelumnya dilakukan pada jenis tendangan lain, yaitu *Roundhouse* pada *Muay Thai*. Dengan mengetahui bagaimana kelelahan otot tubuh bagian bawah memengaruhi teknik tendangan seperti *high kick*, pelatih dan atlet dapat menyesuaikan intensitas latihan untuk mencegah penurunan performa dan mengurangi risiko cedera. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan panduan dalam mengoptimalkan fase pemulihan antara sesi latihan atau pertandingan, sehingga atlet dapat mempertahankan kualitas teknik meskipun dalam kondisi fisik yang tertekan. Hal ini juga dapat berdampak pada perancangan teknik pemulihan yang berbasis ilmiah, yang mengintegrasikan aspek fisiologis untuk mempercepat pemulihan dan meningkatkan daya tahan fisik atlet dalam menghadapi tuntutan kompetitif *Muay Thai*.

## Metode

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan pendekatan *pretest-posttest*. Sampel penelitian terdiri atas 8 orang anggota aktif cabang olahraga *Muay Thai* yang telah berlatih selama lebih dari satu tahun dan memiliki pengalaman mengikuti kejuaraan di berbagai kejuaraan *Muay Thai*. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengukur hasil data secara akurat. Pengumpulan data dilakukan melalui tes menggunakan metode *Bosco*. Dalam penelitian ini, peserta diberikan perlakuan berupa tiga jenis tes fisik: *Squat Jump* (SJ), *Counter Movement Jump* (CMJ), dan *Drop Jump* (DJ). Setiap tes dilakukan selama 60 detik untuk menginduksi kelelahan otot lower body, sesuai dengan tujuan penelitian (de la Rubia et al., 2024).

Tabel 1. Data Antropometri Partisipan

No	Variabel	Rata Rata/ std
1.	Usia	19±1,763
2.	BB	58,4±8,362
3.	TB	172,9±4,320
4.	Fat	13%± 0,039
5.	IMT	20,3± 2,875

Pengambilan data dilakukan melalui beberapa tahap berikut:

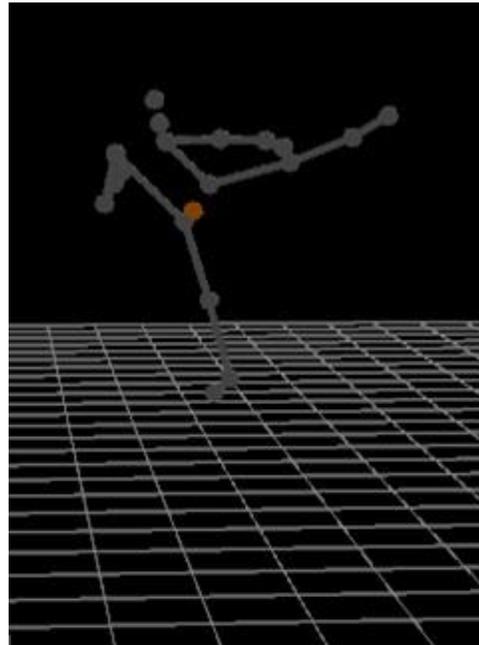
- Pengukuran Antropometri: Dilakukan pengukuran tinggi badan, berat badan, kadar lemak tubuh, dan Indeks Massa Tubuh (IMT) pada setiap sampel.
- Pengecekan Kadar Asam Laktat Awal: Dilakukan pengukuran kadar asam laktat (mmol) sebelum tes dimulai.
- Pemasangan Alat Pemantau Denyut Jantung: Alat Polar dipasang untuk memantau denyut jantung atlet selama tes berlangsung.
- Pemanasan: Peserta melakukan sesi pemanasan untuk mempersiapkan tubuh sebelum menjalani tes.
- Kalibrasi Peralatan: Semua peralatan yang digunakan selama tes dikalibrasi untuk memastikan akurasi pengukuran.
- Tes Awal: Peserta melakukan teknik tendangan *High Kick* sebagai tes awal sebelum perlakuan diberikan.
- Pemberian *Treatment Bosco*: Peserta melakukan tiga jenis tes fisik, yaitu *Squat Jump* (SJ), *Counter Movement Jump* (CMJ), dan *Drop Jump* (DJ), masing-masing selama 60 detik.
- Pengecekan Kadar Asam Laktat Setelah *Treatment*: Kadar asam laktat atlet diukur kembali setelah perlakuan untuk mengetahui tingkat kelelahan.
- Tes *High Kick* Ulang: Peserta mengulangi teknik tendangan *High Kick* untuk mengukur perubahan parameter kinematika setelah perlakuan.

Proses perekaman video tendangan dimulai dengan melakukan teknik tendangan awal oleh atlet sebelum mengalami kelelahan. Atlet berdiri di area yang telah ditentukan, dan tendangan

dilakukan sesuai instruksi. Setelah itu, atlet melaksanakan tes *Bosco* hingga mencapai kondisi kelelahan. Selanjutnya, sampel darah diambil untuk mengukur kadar asam laktat sebagai indikator tingkat kelelahan. Setelah pengambilan sampel, atlet kembali melakukan tendangan roundhouse kick di area yang sama.

Kamera video ditempatkan pada sisi samping atau sisi lapangan, dengan jarak sekitar 2,5 meter dari posisi atlet. Parameter kinematik yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi:

- Posisi *toe* terhadap sumbu Y.
- Posisi *Center of Gravity* (CG) terhadap sumbu Y.
- Kecepatan toe.
- Kecepatan ankle.
- Kecepatan knee.
- Sudut knee.
- Sudut hip.



Data yang terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan statistik. Nilai rata-rata (mean) digunakan untuk menggambarkan data, sementara uji normalitas dan hipotesis dilakukan untuk memastikan validitas hasil.

### Hasil

Berdasarkan data yang tertera pada tabel, terlihat adanya perbedaan signifikan kadar asam laktat antara sebelum dan sesudah kelelahan, dengan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,00, yang lebih kecil dari 0,05.

Tabel 2. Asam Laktat Sebelum Kelelahan dan Sesudah Kelelahan

Variable	Avg Before $\pm$ SD	AVG After $\pm$ SD	Sig (Perbedaan)
Asam Laktat (mmol/L)	2.4 $\pm$ 0.7	10.4 $\pm$ 0.4	0,000*

Berdasarkan tabel, dapat dilihat adanya perbedaan posisi antara sebelum dan setelah kelelahan. Berdasarkan data yang diperoleh, rata-rata posisi *toe* tidak menunjukkan perbedaan signifikan, dengan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,78, yang lebih besar dari 0,05. Selain itu, rata-rata posisi *center of gravity* juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, dengan nilai p lebih besar dari 0,05.

Tabel 3. Analisis Posisi

No	Variabel	Average Before $\pm$ SD	Average After $\pm$ SD	Sig (Perbedaan)
Posisi ( Y ) (m)				
1.	<i>Toe</i>	1.55 $\pm$ 0.08751	1.5213 $\pm$ 0.08659	0.78
2.	<i>Center Of Grafity</i>	1.007 $\pm$ 0.0328	1.010 $\pm$ 0.0396	0.105

Berdasarkan data pada tabel, terlihat adanya perubahan signifikan pada kecepatan *ankle*, dengan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,004, yang lebih kecil dari 0,05. Sebaliknya, posisi *toe* tidak menunjukkan perubahan signifikan, dengan nilai p sebesar 0,262, yang lebih besar dari 0,05. Demikian pula, pada parameter *knee*, tidak terdapat perubahan signifikan, dengan nilai p sebesar 0,478, yang juga lebih besar dari 0,05.

Tabel 4. Analisis Kecepatan

No	Variabel	Average Before $\pm$ SD	Average After $\pm$ SD	Sig (Perbedaan)
Kecepatan (Puncak) (m/s)				
1.	<i>Ankle</i>	5.410 $\pm$ 1.1764	5.476 $\pm$ 0.9379	0.004*
2.	<i>Toe</i>	7.978 $\pm$ 1.962	7.91 $\pm$ 1.686	0.262
3.	<i>Knee</i>	4602 $\pm$ 0.926	5026 $\pm$ 1.157	0.478

Berdasarkan data pada tabel, dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada sudut saat melakukan tendangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata sudut *knee* tidak mengalami perubahan signifikan, dengan nilai p sebesar 0,439, yang lebih besar dari 0,05. Begitu pula, rata-rata sudut *hip* juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, dengan nilai p sebesar 0,390, yang lebih besar dari 0,05.

Tabel 5. Analisis Sudut

No	Variabel	Average Before $\pm$ SD	Average After $\pm$ SD	Sig (Perbedaan)
Sudut (deg)				
1.	<i>Knee</i>	256.053 $\pm$ 27.309	274.894 $\pm$ 21.555	0.439
2.	<i>Hip</i>	139.446 $\pm$ 8.987	130.887 $\pm$ 11.392	0.390

Uji normalitas dilakukan untuk menentukan apakah data dalam suatu sampel mengikuti distribusi normal, yang merupakan asumsi penting dalam banyak uji statistik parametrik. Adapun uji normalitas menyatakan bahwa untuk nilai signifikansi (sig) hasil setelah posisi *toe* pada *based on mean*  $0.834 > 0.05$  maka data dinyatakan normal, COG  $0.284 > 0.5$  maka dinyatakan normal. Sedangkan untuk nilai signifikansi (sig) hasil setelah kecepatan *toe* pada *based on mean*  $0.838 > 0.05$  maka data dinyatakan normal, *knee*  $0.838 > 0.5$  maka dinyatakan normal dan *ankle*  $0.124 > 0.5$  maka dinyatakan normal. Untuk nilai signifikansi (sig) hasil setelah kecepatan sudut *knee* pada *based on mean*  $0.825 > 0.05$  maka data dinyatakan normal, *knee*  $0.570 > 0.5$  maka dinyatakan normal

Tabel 6. Uji Normalitas

No	Variabel	Average Before $\pm$ SD	Average After $\pm$ SD	Sig (Perbedaan)
Posisi				
1.	<i>Toe</i>	0.884	0.962	0.834
2.	<i>Center of Gravity</i>	0.932	0.899	0.284
Kecepatan				
1.	<i>Toe</i>	0.887	0.963	0.838
2.	<i>Knee</i>	0.954	0.963	0.838
3.	<i>Ankle</i>	0.860	0.861	0.124
Sudut				
1.	<i>Knee</i>	0.141	0.145	0.825
2.	<i>Hip</i>	0.619	0.925	0.570

Uji homogenitas digunakan untuk mengetahui apakah varians antar kelompok data dalam sebuah penelitian bersifat seragam atau tidak. Adapun uji homogenitas menyatakan bahwa untuk nilai signifikansi (sig) hasil posisi *toe* pada *based on mean*  $0.847 > 0.05$  maka data dinyatakan homogen, *center of gravity*  $0.832 > 0.05$  maka data dinyatakan homogen. Untuk nilai signifikansi (sig) hasil kecepatan *toe* pada *based on mean*  $0.373 > 0.05$  maka data dinyatakan homogen, *knee*  $0.551 > 0.05$  maka data dinyatakan homogen dan *ankle*  $0.633 > 0.5$  dinyatakan homogen. Untuk nilai signifikansi (sig) hasil sudut *knee* pada *based on mean*  $0.986 > 0.05$  maka data dinyatakan homogen, *hip*  $0.684 > 0.05$  maka data dinyatakan homogen.

Tabel 7. Uji Homogenitas

No	Variabel	Average After $\pm$ SD	Sig (Perbedaan)
Posisi			
1.	<i>Toe</i>	0.047	0.847
2.	<i>Center of Gravity</i>	0.047	0.832
Kecepatan			
1.	<i>Toe</i>	0.047	0.373
2.	<i>Knee</i>	0.373	0.551
3.	<i>Ankle</i>	0.238	0.633

		Sudut	
1.	Knee	0.000	0.986
2.	Hip	0.173	0.684

## Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelelahan otot *lower body* secara signifikan meningkatkan kadar asam laktat, yang konsisten dengan penelitian sebelumnya (Aquino et al., 2022) yang menyatakan bahwa aktivitas fisik intensif meningkatkan produksi asam laktat sebagai respons metabolik terhadap kebutuhan energi anaerob. Meskipun terjadi peningkatan kadar asam laktat, parameter posisi dan sudut seperti posisi *toe* dan *center of gravity* tidak mengalami perubahan signifikan. Hal ini mendukung temuan Huang et al. (2023), yang menunjukkan bahwa stabilitas biomekanik tidak selalu terpengaruh oleh kelelahan otot.

Sebaliknya, kecepatan *ankle* mengalami perubahan signifikan, yang dapat mencerminkan penyesuaian biomekanik tubuh dalam mempertahankan performa tendangan meskipun mengalami kelelahan. Temuan ini relevan dengan studi Rodrigues et al. (2023), yang menunjukkan bahwa kecepatan segmental pada ekstremitas bawah lebih sensitif terhadap kelelahan dibandingkan parameter lainnya. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana kelelahan memengaruhi kinematika tendangan *high kick*, terutama dalam konteks olahraga *Muay Thai*.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perubahan kecepatan *ankle* sebagai respons terhadap kelelahan otot *lower body* dapat diinterpretasikan sebagai strategi kompensasi tubuh untuk mempertahankan performa teknik tendangan. Penurunan kekuatan kontraksi otot akibat akumulasi asam laktat berpotensi memengaruhi kemampuan eksplosif otot, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi biomekanik. Namun, tubuh atlet cenderung mengompensasi dengan mengatur ulang pola gerakan melalui mekanisme proprioseptif dan refleks otot. Penyesuaian ini memungkinkan atlet tetap menghasilkan kecepatan tendangan yang optimal meskipun berada dalam kondisi kelelahan, sejalan dengan teori adaptasi motorik pada aktivitas fisik intensif yang diungkapkan oleh Leites et al. (2021).

Selain itu, temuan bahwa posisi *toe* dan *center of gravity* tetap stabil menunjukkan pentingnya pelatihan neuromuskular dalam olahraga *Muay Thai*. Stabilitas tersebut dapat dikaitkan dengan penguasaan teknik yang baik dan kemampuan menjaga keseimbangan dinamis, yang menjadi kunci dalam olahraga berbasis tendangan. Kondisi ini menegaskan bahwa kelelahan tidak secara langsung mengganggu stabilitas biomekanik jika atlet memiliki dasar pelatihan yang kuat. Hasil ini memberikan implikasi penting bagi pelatih dan praktisi olahraga untuk memprioritaskan latihan yang menekankan stabilitas postural dan pengendalian motorik, terutama dalam menghadapi kelelahan selama pertandingan.

## Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa kelelahan otot *lower body* secara signifikan meningkatkan kadar asam laktat, yang mencerminkan respon metabolik tubuh

terhadap aktivitas fisik intensif. Meskipun demikian, tidak semua parameter kinematika teknik tendangan *high kick* terpengaruh oleh kelelahan. Posisi *toe*, *center of gravity*, serta sudut *knee* dan *hip* menunjukkan tidak adanya perubahan yang signifikan, sementara kecepatan *ankle* mengalami peningkatan signifikan, yang menunjukkan adanya penyesuaian biomekanik untuk mempertahankan performa meskipun terjadi kelelahan. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi atlet *Muay Thai* dan pelatih untuk memahami dampak kelelahan terhadap performa teknik, khususnya dalam konteks latihan intensif atau pertandingan. Peneliti berikutnya disarankan untuk menggunakan sampel yang lebih besar dan beragam untuk meningkatkan generalisasi hasil, serta menambahkan analisis biomekanik tiga dimensi untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif. Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan aspek fisiologis lainnya, seperti aktivitas otot melalui elektromiografi (EMG), untuk mengidentifikasi keterlibatan otot secara lebih detail. Dari sisi praktis, temuan ini mengimplikasikan pentingnya strategi pemulihan dan pengelolaan kelelahan dalam program latihan, misalnya melalui penerapan metode pendinginan, pemberian suplemen nutrisi, atau pengaturan intensitas latihan untuk memaksimalkan performa tanpa meningkatkan risiko cedera.

## Referensi

- Aquino, M., Petrizzo, J., Otto, R. M., & Wygand, J. (2022). The Impact of Fatigue on Performance and Biomechanical Variables—A Narrative Review with Prospective Methodology. In *Biomechanics (Switzerland)* (Vol. 2, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/biomechanics2040040>
- Bhumipol, P., Makaje, N., Kawjaratwilai, T., & Ruangthai, R. (2023). Match analysis of professional Muay Thai fighter between winner and loser. *Journal of Human Sport and Exercise*, 18(3). <https://doi.org/10.14198/jhse.2023.183.12>
- Cadegiani, F. A., & Kater, C. E. (2019). Basal hormones and biochemical markers as predictors of overtraining syndrome in Male athletes: The EROS-Basal study. *Journal of Athletic Training*, 54(8). <https://doi.org/10.4085/1062-6050-148-18>
- Corcoran, D., Climstein, M., Whitting, J., & Del Vecchio, L. (2024). Impact Force and Velocities for Kicking Strikes in Combat Sports: A Literature Review. In *Sports* (Vol. 12, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/sports12030074>
- Diniz, R., Del Vecchio, F. B., Schaun, G. Z., Oliveira, H. B., Portella, E. G., Da Silva, E. S., Formalioni, A., Campelo, P. C. C., Peyré-Tartaruga, L. A., & Pinto, S. S. (2021). Kinematic Comparison of the Roundhouse Kick Between Taekwondo, Karate, and Muaythai. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002657>
- Fitri Amalia, E. (2020). Tingkat Kesadaran Diri Terhadap Kesehatan Mental untuk Atlet Muay Thai (UKM) Universitas Suryakencana. *Jurnal MAENPO: Jurnal Pendidikan Jasmani Kesehatan Dan Rekreasi*, 10(2). <https://doi.org/10.35194/jm.v10i2.944>
- Gavagan, C. J., & Sayers, M. G. L. (2017). A biomechanical analysis of the roundhouse kicking technique of expert practitioners: A comparison between the martial arts disciplines of Muay Thai, Karate, and Taekwondo. *PLoS ONE*, 12(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182645>
- Habsyi, F. Al, Mokoagow, A., Hadjarati, H., & Haryanto, A. I. (2024). Pengaruh Latihan Variasi

- Squat dan Latihan Variasi Lunges Terhadap Power Otot Tungkai pada Tendangan Dollyo Chagi. *Jumper: Jurnal Mahasiswa Pendidikan Olahraga*, 4(3), 534–540. <https://doi.org/https://doi.org/10.55081/jumper.v4i3.1243>
- Hidayat, S., & Haryanto, A. I. (2021). Pengembangan Tes Kelincahan Tendangan Pencak Silat. *Jambura Journal of Sports Coaching*, 3(2). <https://doi.org/10.37311/jjsc.v3i2.11338>
- 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>
- Kadir, S., Haryanto, A. I., Suardika, I. K., & Muktiani, N. R. (2024). Pelatihan Self-Massage untuk Karateka dalam Mengatasi Kelelahan Pasca Latihan. *Abdi Wiralodra: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(2), 323–336. <https://doi.org/https://doi.org/10.31943/abdi.v6i2.178>
- Kan, K., Wittaya, P., Kittipob, P., Jennarong, P., & Meechai, T. (2023). Inflatable boxing pads with air pressure sensor system for measuring kick force in Muay Thai. *Journal of Physics: Conference Series*, 2653(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2653/1/012001>
- Leites, M., Oliveira, C. B., & Franco, P. R. (2021). Motor adaptations and proprioceptive responses to muscle fatigue in high-performance athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(6), 903–912. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0332>
- Luo, S., Soh, K. G., Soh, K. L., Sun, H., Nasiruddin, N. J. M., Du, C., & Zhai, X. (2022). Effect of Core Training on Skill Performance Among Athletes: A Systematic Review. In *Frontiers in Physiology* (Vol. 13). <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.915259>
- Persadanta, P., Sukendro, S., & Rasyono, R. (2020). Pengaruh Resistance Band Exercise Terhadap Power Otot Atlet Muay Thai. *Jurnal Olahraga Dan Kesehatan Indonesia*, 1(1). <https://doi.org/10.55081/joki.v1i1.295>
- 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. <https://doi.org/10.7717/peerj.14764>
- Septian, G., Rusdiana, A., Imanudin, I., Badruzaman, Hidayat, I. I., Hardwis, S., Haryono, T., Umaran, U., Kurniawan, T., Ugelta, S., & Syahid, A. M. (2024). Pengaruh Kelelahan Otot Lower Body Terhadap Parameter Kinematika Teknik Tendangan Roundhouse Pada Olahraga Muaythai. *Jumper: Jurnal Mahasiswa Pendidikan Olahraga*, 5(1), 371–382. <https://doi.org/https://doi.org/10.55081/jumper.v5i1.2835>
- Supriatna, E. (2020). Pengaruh Kelelahan Otot (Muscle Fatigue) terhadap Performa Tendangan Mae Geri dalam Olahraga Karate. *JOSSAE Journal of Sport Science and Education*, 4(2). <https://doi.org/10.26740/jossae.v4n2.p74-78>
- Wawan, Siantoro, G., & Khamidi, A. (2024). Kemampuan Keseimbangan dan Koordinasi pada Siswa Kelas 3 dan 4 Sekolah Dasar. *Jambura Health and Sport Journal*, 6(2), 113–145. <https://doi.org/https://doi.org/10.37311/jhsj.v6i2.26840>