



Optimalisasi Performa Sprint: Tinjauan Biomekanika dan Fisiologis

Fatoni

Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

Email: fatoni@unm.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the relationship between biomechanical and physiological variables on sprint performance in short-distance runners. A total of 20 male athletes aged 18–21 years were the subjects. Biomechanical data were obtained through video analysis of sprint movements, including stride length, stride frequency, joint angles, and foot contact time. While physiological aspects were measured through vertical jump tests and Running-Based Anaerobic Sprint Test (RAST). Sprint times at distances of 30 and 60 meters were used as performance indicators. The results showed a significant correlation between stride length, foot contact time, cold muscle strength, and anaerobic capacity with sprint time ($p < 0.05$). A negative correlation was found in stride length and muscle strength, while foot contact time showed a positive correlation. These findings confirm that sprint efficiency is greatly influenced by a combination of good biomechanical techniques and optimal physiological capacity. The conclusion of this study is that the development of an effective sprint training program must include an integrated approach between movement technique training and physical condition, to optimize running performance to the maximum.

Keywords: *Sprint, Biomechanics, Sport Physiology, Athlete Performance.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara variabel biomekanik dan fisiologis terhadap performa sprint pada atlet lari jarak pendek. Sebanyak 20 atlet putra berusia 18–21 tahun yang menjadi subjek. Data biomekanik diperoleh melalui analisis video gerakan sprint, mencakup panjang langkah, frekuensi langkah, sudut sendi, dan waktu kontak kaki. Sedangkan, aspek fisiologis diukur melalui tes *vertical jump* dan *Running-Based Anaerobic Sprint Test* (RAST). Waktu sprint pada jarak 30 dan 60 meter digunakan sebagai indikator performa. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi signifikan antara panjang langkah, waktu kontak kaki, kekuatan otot tungkai, dan kapasitas anaerobik terhadap waktu sprint ($p < 0,05$). Korelasi negatif ditemukan pada panjang langkah dan kekuatan otot, sedangkan waktu kontak kaki menunjukkan korelasi positif. Temuan ini menegaskan bahwa efisiensi sprint sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara teknik biomekanik yang baik dan kapasitas fisiologis yang optimal. Kesimpulan penelitian ini adalah pengembangan program latihan sprint yang efektif harus mencakup pendekatan terintegrasi antara pelatihan teknik gerak dan kondisi fisik, untuk mengoptimalkan performa lari secara maksimal.

Penulis Korespondensi:

Fatoni | fatoni@unm.ac.id

Kata Kunci: *Sprint*, Biomekanik, Fisiologi Olahraga, Performa Atlet.

PENDAHULUAN

Performa lari, khususnya *sprint* merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara faktor biomekanik dan fisiologis yang saling berkaitan. Gerakan *sprint* adalah manifestasi dari koordinasi neuromuskular yang efisien, di mana aspek biomekanik, seperti teknik lari dan kekuatan otot, memiliki peranan krusial dalam menentukan kecepatan akhir. Penelitian menunjukkan bahwa kemampuan teknis dalam menerapkan gaya merupakan faktor penentu performa *sprint* yang penting, yang dibuktikan melalui pengukuran waktu dan kecepatan maksimum yang dicapai (Morin et al., 2011).

Penelitian mengidentifikasi bahwa komponen kunci untuk performa *sprint* meliputi waktu reaksi, posisi start, dan kecepatan saat penggunaan blok lari. Masing-masing faktor ini tidak dapat dipisahkan dari proses regulasi gerakan sentral dan karakteristik morfologis atlet, yang menegaskan pentingnya pemahaman biomekanik dalam konteks olahraga prestasi (Ozsu, 2014).

Adapun faktor fisiologis, termasuk energi yang dihasilkan oleh sistem tubuh juga berkontribusi terhadap performa *sprint*. Penelitian yang dilakukan oleh Tanaka et al. menemukan bahwa panjang tulang jari kaki dapat berhubungan dengan performa *sprint*, yang menunjukkan adanya pengaruh dari biomekanik lari yang berhubungan dengan beban mekanis yang diterima selama *sprint* (Tanaka et al., 2017). Ini menunjukkan bahwa faktor fisik, termasuk anatomi atlet, memainkan peran vital dalam kemampuan *sprint*.

Di sisi lain, periode pemanasan yang tepat juga terbukti mempengaruhi performa *sprint*. Aktivitas pemanasan yang melibatkan gerakan dinamis dan latihan tertentu dapat meningkatkan performa *sprint*, menunjukkan hubungan antara pemanasan yang efektif dan hasil *sprint* yang lebih baik (Gil et al., 2019). Penggabungan faktor biomekanik dan fisiologis ini mencerminkan bagaimana peningkatan performa dalam lari cepat tidak sekadar ditentukan oleh latihan fisik intensif, tetapi juga oleh pemahaman ilmiah terhadap mekanika tubuh dan faktor yang mempengaruhi secara keseluruhan.

Pelatihan atlet perlu memperhatikan aspek individual dari interaksi ini. Sebuah studi oleh Bezodis et al. menyebutkan bahwa analisis teknik *sprint* selama pelatihan dapat membantu dalam menentukan aspek mana yang perlu diperbaiki untuk hasil yang lebih optimal (Bezodis et al., 2018). Akibatnya, pendekatan holistik yang meliputi pemahaman teknik biomekanik, kondisi fisik, dan kebutuhan pemanasan spesifik dapat lebih meningkatkan performa *sprint* dalam konteks olahraga prestasi.

Dari perspektif biomekanik, efektivitas teknik *sprint* sangat dipengaruhi oleh berbagai variabel seperti posisi tubuh, panjang dan frekuensi langkah, dan sudut sendi, yang semuanya berkontribusi terhadap efisiensi gerak dan kecepatan maksimum. Penelitian menunjukkan bahwa posisi pelvik dan panjang langkah yang optimal dapat meningkatkan kemampuan akselerasi dan kecepatan lari. Cavedon et al. menemukan bahwa karakteristik antropometrik, pengaturan blok, dan teknik pelepasan blok terkait erat dengan performa *sprint*, sehingga metode pelatihan yang tepat untuk meningkatkan variabel-variabel tersebut sangat penting (Cavedon et al., 2022).

Masalah angkat tubuh saat melakukan *sprint* juga penting, di mana variasi sudut sendi dapat mempengaruhi efisiensi gerakan. Arakawa et al. menyebutkan perbedaan strategi sudut sendi pada pelari elit yang mengalami ketidakstabilan pergelangan kaki kronis, yang menunjukkan bahwa sudut sendi dan modifikasi di dalamnya dapat berpengaruh pada performa lari (Arakawa et al., 2023). Dengan demikian, mengoptimalkan sudut sendi dan posisi tubuh selama *sprint* bisa meningkatkan performa atlet secara signifikan.

Dari sisi fisiologis, kekuatan otot dan kapasitas anaerobik merupakan faktor krusial dalam mempertahankan performa sprint. Penelitian oleh Wang et al. menunjukkan bahwa pelatihan neuromuskular integratif yang disertai dengan pelatihan sprint reguler meningkatkan performa sprint melalui peningkatan pengembangan kekuatan dan impuls otot (Wang et al., 2022). Selain itu, studi oleh Iwasaki et al. menyebutkan bahwa intervensi pelatihan yang difokuskan pada pencegahan cedera dapat meningkatkan kekuatan otot dan sekaligus efisiensi gerakan atlet, yang berkontribusi pada kecepatan yang lebih baik dalam sprint (Iwasaki et al., 2023).

Kemampuan tubuh dalam memulihkan energi juga penting dalam sprint, terutama dalam konteks sprint yang intens dan singkat. Sistem muskuloskeletal, khususnya kapasitas plantarflexor, telah terbukti memainkan peran vital dalam produksi gaya dorong saat *sprint*. Willer et al. menekankan bahwa kapasitas produksi gaya horizontal yang rendah pada sprint dapat menjadi faktor risiko cedera hamstring, menunjukkan pentingnya pemulihan otot yang efisien untuk performa optimal (Edouard et al., 2021; Willer et al., 2021).

Dengan demikian, pemahaman mendalam tentang aspek biomekanik dan fisiologis dalam teknik sprint memberikan wawasan penting untuk mengembangkan program pelatihan yang efektif, yang dapat berkontribusi pada peningkatan hasil dan pengurangan risiko cedera pada atlet. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pendekatan terpadu antara pelatihan teknik biomekanik dan peningkatan kapasitas fisiologis dapat berdampak signifikan terhadap peningkatan performa lari. Namun, sebagian besar studi masih berfokus secara terpisah pada aspek biomekanik atau fisiologis, tanpa mengkaji secara integratif hubungan dinamis antara keduanya dalam konteks performa sprint. Selain itu, masih terbatas penelitian yang secara aplikatif menghubungkan data kuantitatif biomekanik dan fisiologis sebagai dasar penyusunan program pelatihan spesifik sprint.

Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dalam menyajikan analisis komprehensif yang mengintegrasikan kedua aspek tersebut secara simultan, guna menghasilkan pendekatan pelatihan berbasis data yang lebih tepat sasaran. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengkaji secara mendalam bagaimana interaksi antara parameter biomekanik dan variabel fisiologis dalam mempengaruhi performa sprint, serta bagaimana informasi ini dapat diterapkan untuk merancang program latihan yang lebih efektif dan spesifik bagi atlet sprint. Melalui pendekatan ini, dapat dikembangkan strategi pelatihan yang lebih spesifik, efisien, dan berbasis bukti ilmiah dalam meningkatkan kecepatan, efisiensi energi, dan daya tahan sprint, khususnya pada atlet cabang olahraga lari jarak pendek. Temuan ini juga diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara riset ilmiah dan praktik kepelatihan di lapangan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif korelasional untuk menganalisis hubungan antara variabel biomekanik dan fisiologis terhadap performa sprint pada atlet lari jarak pendek. Subjek terdiri dari 20 atlet putra usia 18–21 tahun yang aktif di klub atletik dan memiliki pengalaman latihan minimal dua tahun. Data biomekanik diperoleh melalui analisis video menggunakan dua kamera berkecepatan tinggi (120 fps) yang diposisikan pada bidang sagital (samping) sejauh lima meter dari lintasan, dengan ketinggian kamera sejajar pusat massa tubuh atlet. Kalibrasi dilakukan menggunakan tiang ukur berskala untuk menjamin akurasi pengukuran. Analisis gerakan dilakukan dengan perangkat lunak Dartfish Motion Analysis untuk mengidentifikasi sudut sendi lutut dan panggul, panjang dan frekuensi langkah, serta waktu kontak kaki. Validitas analisis diperkuat dengan analisis oleh dua peneliti secara independen dan menghasilkan nilai reliabilitas antar-rater (ICC) > 0,85.

Sementara itu, data fisiologis dikumpulkan melalui tes *vertical jump* untuk kekuatan eksplosif otot tungkai, *reaction timer* untuk kecepatan reaksi, serta tes RAST untuk kapasitas anaerobik. Waktu tempuh sprint 30 m dan 60 m dicatat menggunakan sistem fotocell gate sebagai indikator performa. Setiap tes dilakukan dua kali dengan waktu pemulihan antar tes selama 3–5 menit guna menghindari kelelahan. Sebelum dilakukan uji korelasi Pearson, data diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk dan dinyatakan berdistribusi normal ($p > 0,05$), sehingga asumsi analisis parametrik terpenuhi. Seluruh data dianalisis menggunakan SPSS versi 25 dengan tingkat signifikansi 0,05.

HASIL

Penelitian ini melibatkan 20 atlet lari putra usia 18–21 tahun di Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan. Hasil penelitian dapat dilihat pada tabel berikut:

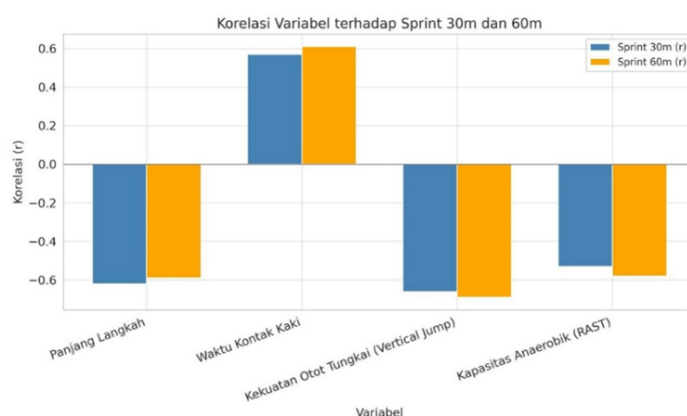
Tabel 1. Hasil Uji Korelasi Pearson Antara Variabel Biomekanik dan Fisiologis terhadap Performa *Sprint*

Variabel	Korelasi dengan Sprint 30m (r)	p-value	Korelasi dengan Sprint 60m (r)	p-value
Panjang Langkah	-0.62	0.004	-0.59	0.006
Waktu Kontak Kaki	0.57	0.008	0.61	0.005
Kekuatan Otot Tungkai (Vertical Jump)	-0.66	0.002	-0.69	0.001
Kapasitas Anaerobik (RAST)	-0.53	0.012	-0.58	0.007

Keterangan: $p < 0,05$, menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik.

Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa waktu rata-rata sprint 30 meter adalah $4,21 \pm 0,18$ detik, dan waktu sprint 60 meter adalah $7,34 \pm 0,27$ detik. Nilai rata-rata kekuatan eksplosif tungkai (tes *vertical jump*) adalah $54,2 \pm 6,1$ cm, sedangkan rata-rata kapasitas anaerobik berdasarkan hasil tes RAST adalah 490 ± 45 watt.

Analisis biomekanik menunjukkan bahwa rata-rata panjang langkah saat fase akselerasi adalah $1,92 \pm 0,14$ meter, dengan frekuensi langkah sebesar $4,3 \pm 0,3$ langkah/detik. Sudut fleksi lutut saat toe-off rata-rata sebesar $138,4^\circ \pm 5,7^\circ$, dan waktu kontak kaki dengan tanah rata-rata $0,11 \pm 0,02$ detik. Hasil uji korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang signifikan antara beberapa variabel biomekanik dan fisiologis terhadap performa sprint. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Grafik 1. berikut:



Grafik 1. Korelasi Variabel Terhadap Sprint

Grafik ini menyajikan hubungan antara empat variabel fisiologis dan biomekanik dengan kemampuan sprint pada jarak 30 meter dan 60 meter. Hubungan ini ditunjukkan dalam bentuk nilai korelasi (r), di mana nilai negatif menandakan hubungan berbanding terbalik (semakin besar nilai variabel, waktu sprint menurun) dan nilai positif menandakan hubungan searah (semakin besar nilai variabel, waktu sprint meningkat). Panjang Langkah menunjukkan korelasi negatif dengan sprint 30m ($r = -0.62$) dan 60m ($r = -0.59$), dengan nilai p yang signifikan ($p < 0.01$). Artinya, semakin panjang langkah seorang atlet, semakin cepat ia menyelesaikan sprint. Waktu Kontak Kaki menunjukkan korelasi positif terhadap sprint 30m ($r = 0.57$) dan 60m ($r = 0.61$). Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama kaki menyentuh tanah saat berlari, waktu sprint cenderung meningkat (lebih lambat). Oleh karena itu, waktu kontak kaki yang lebih singkat lebih menguntungkan.

Kekuatan Otot Tungkai (diukur melalui Vertical Jump) menunjukkan korelasi negatif yang kuat terhadap sprint 30m ($r = -0.66$) dan 60m ($r = -0.69$), dengan nilai signifikansi yang sangat baik ($p < 0.005$). Ini berarti kekuatan eksplosif otot tungkai sangat penting dalam meningkatkan kecepatan sprint. Kapasitas Anaerobik (RAST) juga menunjukkan korelasi negatif terhadap kedua sprint ($r = -0.53$ untuk 30m dan $r = -0.58$ untuk 60m), yang mengindikasikan bahwa semakin baik kapasitas anaerobik, semakin cepat waktu sprint.

Variabel-variabel tersebut memiliki hubungan yang signifikan terhadap performa sprint, dengan kekuatan otot tungkai dan panjang langkah menjadi dua faktor yang paling berpengaruh dalam meningkatkan kecepatan lari. Penekanan pada pengembangan eksplosivitas dan efisiensi biomekanik dapat menjadi strategi pelatihan yang efektif untuk meningkatkan performa sprint atlet.

PEMBAHASAN

Performa sprint atlet, khususnya dalam jarak 30 dan 60 meter dipengaruhi oleh kombinasi variabel biomekanik dan fisiologis. Penelitian terdahulu menekankan pentingnya penggunaan metode latihan yang tepat, seperti kombinasi drilling dan plyometrik, untuk meningkatkan keterampilan atlet dalam berbagai cabang olahraga, termasuk dalam hal kecepatan dan kekuatan eksplosif yang sangat relevan dengan performa sprint (Rahmadi et al., 2024). Selain itu, Hindawan et al. mengidentifikasi karakteristik antropometri dan kondisi fisik atlet yang dapat berkontribusi pada performa sprint, menunjukkan bahwa faktor-faktor fisik seperti panjang langkah berhubungan secara signifikan dengan kecepatan atlet (Hindawan et al., 2020).

Panjang langkah dan waktu sprint menunjukkan bahwa atlet dengan panjang langkah yang lebih besar cenderung memiliki waktu tempuh yang lebih singkat, suatu fenomena yang dijelaskan oleh prinsip biomekanik. Penelitian oleh Kurniawan et al. memperlihatkan bagaimana faktor fisiologis turut berperan dalam performa fisik atlet, dengan daya tahan dan kecepatan sebagai indikator utama yang diperoleh melalui pengujian sprint (Kurniawan et al., 2023). Penelitian ini menunjukkan bahwa panjang langkah optimal yang dikombinasikan dengan frekuensi langkah efektif dapat secara signifikan meningkatkan kecepatan total atlet, meskipun tidak spesifik menyebutkan angka atau nilai (Apriantono et al., 2020).

Temuan lain mengindikasikan bahwa kontrol terhadap faktor-faktor fisiologis, seperti $VO_2\max$ dan kekuatan otot, juga berpengaruh besar terhadap performa sprint. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Kurniawan et al. yang menemukan bahwa atlet dengan daya tahan $VO_2\max$ unggul memiliki performa lebih baik dalam berbagai tes fisik, termasuk sprint (Kurniawan et al., 2023). Namun, Mustikasari et al. berfokus pada implementasi teknologi dalam pembelajaran, dan relevansinya terhadap pembahasan

performa atlet secara langsung tidak terlalu kuat (Mustikasari et al., 2024). Dengan demikian, baik variabel biomekanik dan fisiologis memiliki hubungan yang signifikan dan saling mendukung dalam mencapai performa sprint yang optimal dalam olahraga.

Berdasarkan temuan terbaru dalam penelitian sprint dan pengukuran kekuatan eksplosif, ada beberapa variabel yang berkontribusi terhadap efisiensi sprint elite, termasuk waktu kontak tanah, kekuatan otot, dan potensi anaerobik. Penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak kaki yang lebih singkat selama fase tumpuan terbukti berhubungan positif dengan efisiensi sprint, di mana kemampuan atlet untuk menghasilkan gaya reaksi tanah yang besar dalam waktu singkat menjadi penentu kinerja yang baik (Feser et al., 2021; Wdowski & Gittoes, 2020). Sebagai contoh, penelitian oleh Feser et al. menggarisbawahi pentingnya mengurangi gaya rem selama fase akselerasi untuk meningkatkan kinerja sprint (Feser et al., 2021). Sementara itu, Pandey et al. menekankan bahwa stabilitas gerakan lateral dan gaya vertikal sangat penting untuk akselerasi yang efektif dalam sprinting (Pandey et al., 2021).

Di sisi fisiologis, kekuatan eksplosif otot tungkai yang diukur melalui tes vertical jump menunjukkan korelasi negatif yang signifikan terhadap waktu sprint, menggambarkan bahwa kemampuan untuk memproduksi gaya dengan cepat berkontribusi signifikan pada akselerasi awal, terutama dalam pelaksanaan hingga 30 meter (Diker et al., 2021; Washif & Kok, 2022). Pentingnya power output dalam pengembangan kecepatan melalui pelatihan resistensi, di mana kombinasi berbagai jenis latihan menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan eksplosif dan, pada gilirannya, kinerja sprint. Hal ini sejalan dengan penelitian Fernández-Galván, yang menegaskan hubungan antara kekuatan maksimum dan kemampuan akselerasi di kalangan pemain muda (Fernández-Galván et al., 2021).

Dari perspektif anaerobik, hasil tes RAST menunjukkan kontribusi yang penting dalam mempertahankan kecepatan sprint pada jarak 60 meter, mengindikasikan peran besar dari sistem energi anaerob laktat dalam mendukung intensitas tinggi dalam periode pendek (Loturco et al., 2020). Dengan kata lain, kemampuan anaerobik berkontribusi pada kelangsungan performa dengan menyeimbangkan antara kekuatan yang dihasilkan dan waktu kontak tanah (Sugisaki et al., 2023).

Faktor-faktor yang mempengaruhi performa atlet sprint, termasuk waktu kontak, kekuatan otot, dan kemampuan anaerobik, memiliki hubungan yang kuat dan saling mendukung dalam konteks peningkatan kinerja atlet. Penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak yang lebih singkat saat berlari dapat meningkatkan kecepatan sprint (Amana et al., 2023). Selain itu, kekuatan otot memiliki korelasi positif yang signifikan dengan kemampuan sprint. Kebutuhan untuk peningkatan kekuatan otot tungkai pada atlet, yang dapat difasilitasi melalui program pelatihan yang tepat (Samin, 2024).

Dari sisi anaerobik, kekuatan otot dan kapasitas anaerobik berperan penting dalam mendukung kinerja sprint. Daya tahan dan kekuatan dapat mempengaruhi kecepatan, yang merupakan indikator penting dalam kinerja sprint (Humaedi et al., 2023). Selain itu, Protokol hidrasi dapat berkontribusi terhadap kekuatan otot tungkai, yang relevan dalam konteks performa atlet (Lubis et al., 2021).

Pendekatan latihan yang terarah untuk mengembangkan kekuatan eksplosif dan mengurangi waktu kontak tanah sangat potensial untuk meningkatkan performa sprint di kalangan atlet elite. Latihan yang terstruktur dengan fokus pada bounding terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja fisik atlet. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian oleh Mudariani et al. yang menunjukkan bahwa latihan yang dirancang untuk meningkatkan kelincahan dan kekuatan otot tungkai dapat memberikan manfaat signifikan bagi atlet (Mudariani et al., 2021).

Berdasarkan semua temuan tersebut, jelas bahwa integrasi antara waktu kontak kaki, kekuatan otot tungkai, dan kapasitas anaerobik dalam program latihan dapat menciptakan strategi pelatihan yang holistik dan efektif untuk meningkatkan performa sprint. Secara praktis, hal ini menjadi sangat penting bagi pelatih dalam merancang program latihan yang tidak hanya fokus pada peningkatan kekuatan atau kecepatan semata, tetapi juga menyoroti aspek biomekanik gerakan yang terbukti berkontribusi signifikan terhadap efisiensi dan output sprint. Temuan ini menunjukkan bahwa pelatih sebaiknya melakukan evaluasi biomekanik secara berkala menggunakan teknologi analisis gerak untuk memantau sudut sendi, panjang langkah, dan waktu kontak kaki, serta mengintegrasikan latihan spesifik seperti plyometrik, latihan reaktif, dan kekuatan fungsional yang dirancang khusus untuk meningkatkan parameter-parameter tersebut. Pendekatan berbasis sains ini memungkinkan perencanaan pelatihan yang lebih terukur, terarah, dan sesuai dengan kebutuhan individual atlet.

Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu dipertimbangkan. Pertama, jumlah sampel yang terbatas ($n=20$) dan terdiri dari atlet putra usia 18–21 tahun dari satu wilayah membuat generalisasi hasil ke populasi yang lebih luas, termasuk atlet wanita atau kelompok usia lain, menjadi terbatas. Kedua, analisis biomekanik hanya dilakukan pada bidang sagital, sehingga dimensi gerak lain seperti frontal atau transversal belum tercakup. Selain itu, data fisiologis seperti kapasitas anaerobik diperoleh melalui tes lapangan, yang meskipun praktis, mungkin memiliki keterbatasan dalam akurasi dibandingkan uji laboratorium. Oleh karena itu, disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk melibatkan sampel yang lebih besar dan beragam, serta mengintegrasikan teknologi analisis gerak 3D dan uji fisiologis berbasis laboratorium untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai determinan biomekanik dan fisiologis dalam performa sprint. Kolaborasi lintas disiplin antara pelatih, biomekanik, dan fisiolog olahraga juga direkomendasikan untuk menghasilkan pendekatan pelatihan yang lebih integratif dan aplikatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa performa sprint pada atlet lari dipengaruhi secara signifikan oleh faktor biomekanik dan fisiologis. Panjang langkah, waktu kontak kaki, kekuatan eksplosif otot tungkai, dan kapasitas anaerobik terbukti memiliki hubungan yang kuat terhadap waktu tempuh sprint, baik pada jarak 30 meter maupun 60 meter. Atlet dengan panjang langkah yang optimal, waktu kontak kaki yang singkat, kekuatan tungkai yang tinggi, serta kapasitas anaerobik yang baik cenderung memiliki performa lari yang lebih efisien dan cepat.

Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan pelatihan yang terintegrasi, mencakup aspek teknik gerak dan kondisi fisik spesifik sprint. Oleh karena itu, pelatih disarankan untuk mengkombinasikan latihan biomekanik seperti perbaikan teknik lari dengan latihan fisiologis seperti plyometric dan anaerobic conditioning untuk mengoptimalkan performa lari atlet. Pendekatan ini mendukung pengembangan atlet secara menyeluruh, berbasis bukti ilmiah, dan sesuai dengan tuntutan fisiologis serta mekanika gerakan dalam sprint.

DAFTAR PUSTAKA

Amana, A. I., Wahyudi, U., & Fitriady, G. (2023). Survei Kondisi Fisik Atlet Renang Kabupaten Tulungagung dan Kota Batu Tahun 2023. *SPORT-Mu: Jurnal Pendidikan Olahraga*, 4(1), 40–53. <https://doi.org/10.32528/sport-mu.v4i1.18798>

- Apriantono, T., Syahrudin, S., Winata, B., & Karim, D. A. (2020). Korelasi Antara Lompat Vertikal Dengan Performa Sprint 60 Meter Pada Atlet Taekwondo dan Karate. *Media Ilmu Keolahragaan Indonesia*, 10(2), 63–68. <https://doi.org/10.15294/miki.v10i2.27140>
- Arakawa, H., Okudaira, M., Tanigawa, S., Maemura, H., & Fukuda, T. (2023). Altered Joint Angle Strategy for Sprinting in Elite Sprinters with Chronic Ankle Instability. *The Asian Journal of Kinesiology*, 25(3), 3–11. <https://doi.org/10.15758/ajk.2023.25.3.3>
- Bezodis, I. N., Kerwin, D. G., Cooper, S.-M., & Salo, A. I. T. (2018). Sprint Running Performance and Technique Changes in Athletes During Periodized Training: An Elite Training Group Case Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 755–762. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0378>
- Cavedon, V., Bezodis, N. E., Sandri, M., Pirlo, M., Zancanaro, C., & Milanese, C. (2022). Relationships between anthropometric characteristics, block settings, and block clearance technique during the sprint start. *Journal of Sports Sciences*, 40(10), 1097–1109. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2049082>
- Diker, G., Müniroğlu, S., Ön, S., Özkamçı, H., & Darendeli, A. (2021). The relationship between sprint performance and both lower and upper extremity explosive strength in young soccer players. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 25(1), 10–14. <https://doi.org/10.15561/26649837.2021.0102>
- Edouard, P., Lahti, J., Nagahara, R., Samozino, P., Navarro, L., Guex, K., Rossi, J., Brughelli, M., Mendiguchia, J., & Morin, J.-B. (2021). Low Horizontal Force Production Capacity during Sprinting as a Potential Risk Factor of Hamstring Injury in Football. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15), 7827. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157827>
- Fernández-Galván, L. M., Boullosa, D., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., & Casado, A. (2021). Examination of the Sprinting and Jumping Force-Velocity Profiles in Young Soccer Players at Different Maturational Stages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4646. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094646>
- Feser, E. H., Neville, J., Bezodis, N., Macadam, P., Uthoff, A. M., Nagahara, R., Tinwala, F., & Cronin, J. B. (2021). Waveform analysis of shank loaded wearable resistance during sprint running acceleration. *Journal of Sports Sciences*, 39(17), 2015–2022. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1912966>
- Gil, M. H., Neiva, H. P., Garrido, N. D., Aidar, F. J., Cirilo-Sousa, M. S., Marques, M. C., & Marinho, D. A. (2019). The Effect of Ballistic Exercise as Pre-Activation for 100 m Sprints. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1850. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101850>
- Hindawan, I., Apriantono, T., Herman, I., Fahmi Hasan, M., Dwi Juniarsyah, A., Indah Ihsani, S., Ikhwan Hidayat, I., Winata, B., Safei, I., Sunadi, D., & Kusnaedi, K. (2020). ANALISIS KARAKTERISTIK ANTROPOMETRI DAN KONDISI FISIK ATLET PELAJAR DISEKOLAH PUSAT PENDIDIKAN DAN LATIHAN PELAJAR SE-PULAU JAWA. *Jurnal Sains Keolahragaan Dan Kesehatan*, 5(1), 55–71. <https://doi.org/10.5614/jskk.2020.5.1.6>

- Humaedi, H., Eka Wahyudhi, A. S. B. S., & Gunawan, G. (2023). BIOMOTOR ATLET ELIT PADA OLAHRAGA UNGGULAN. *Jambura Journal of Sports Coaching*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.37311/jjsc.v5i1.16781>
- Iwasaki, R., Takahashi, N., & Shinkai, H. (2023). Acute effects of sprint training for hamstrings injury prevention on male college soccer players. *Scientific Journal of Sport and Performance*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.55860/BKNF3100>
- Kurniawan, Rahmat Hermawan, & Joan Siswoyo. (2023). ANALISIS PERFORMA FISIK ATLET PEMUSATAN LATIHAN PROVINSI LAMPUNG. *Jurnal Kejaora (Kesehatan Jasmani Dan Olah Raga)*, 8(1), 27–34. <https://doi.org/10.36526/kejaora.v8i1.2198>
- Loturco, I., Pereira, L. A., Fílder, A., Olivares-Jabalera, J., Reis, V. P., Fernandes, V., Freitas, T. T., & Requena, B. (2020). Curve sprinting in soccer: relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biology of Sport*, 37(3), 277–283. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2020.96271>
- Lubis, L., Salsabila, N., & Wiramihardja, S. (2021). Pengaruh protokol hidrasi dan status hidrasi terhadap kekuatan otot tungkai bawah, atensi, dan passing atlet futsal remaja. *Jurnal Keolahragaan*, 9(1). <https://doi.org/10.21831/jk.v9i1.29089>
- Morin, J., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical Ability of Force Application as a Determinant Factor of Sprint Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680–1688. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ea37>
- Mudariani, N. W., Artanayasa, I. W., & Sudiana, I. K. (2021). Pengaruh pelatihan hurdle drill dan dot drill terhadap kelincahan dan kekuatan otot tungkai. *Multilateral : Jurnal Pendidikan Jasmani Dan Olahraga*, 20(3), 266. <https://doi.org/10.20527/multilateral.v20i3.11617>
- Mustikasari, N., Lina, R. K., & Devina, C. N. (2024). IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY IN LEARNING PRACTICE OF ANATOMY AND PHYSIOLOGY OF THE HUMAN BODY IN THE DEPARTMENT PHYSIOTHERAPY POLTEKKES KEMENKES JAKARTA III. *Jurnal Fisioterapi Dan Kesehatan Indonesia*, 4(01), 20–26. <https://doi.org/10.59946/jfki.2024.285>
- Ozsu, I. (2014). Biomechanical structure of sprint start and effect of biological feedback methods on sprint start performance. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 16(1), 71–71. <https://doi.org/10.15314/TJSE.201416166>
- Pandy, M. G., Lai, A. K. M., Schache, A. G., & Lin, Y. (2021). How muscles maximize performance in accelerated sprinting. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(10), 1882–1896. <https://doi.org/10.1111/sms.14021>
- Rahmadi, E., Mashud, M., & Warni, H. (2024). Meningkatkan keterampilan akurasi flying shoot menggunakan kombinasi metode latihan drilling dengan plyometrik pada pemain bola tangan. *Journal of SPORT (Sport, Physical Education, Organization, Recreation, and Training)*, 8(2), 552–566. <https://doi.org/10.37058/sport.v8i2.11488>
- Samin, G. (2024). PENINGKATAN KINERJA FISIK ATLET FUTSAL MELALUI UJI KONDISI FISIK: STUDI KASUS OLAHRAGAWAN POHUWATO. *Jambura Journal of Sports Coaching*, 6(2), 128–137.

<https://doi.org/10.37311/jjsc.v6i2.26512>

- Sugisaki, N., Kobayashi, K., Yoshimoto, T., Mitsukawa, N., Tsuchie, H., Takai, Y., & Kanehisa, H. (2023). Influence of horizontal resistance loads on spatiotemporal and ground reaction force variables during maximal sprint acceleration. *PLOS ONE*, *18*(12), e0295758. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295758>
- Tanaka, T., Suga, T., Otsuka, M., Misaki, J., Miyake, Y., Kudo, S., Nagano, A., & Isaka, T. (2017). Relationship between the length of the forefoot bones and performance in male sprinters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(12), 1673–1680. <https://doi.org/10.1111/sms.12857>
- Wang, Z.-H., Pan, R.-C., Huang, M.-R., & Wang, D. (2022). Effects of Integrative Neuromuscular Training Combined With Regular Tennis Training Program on Sprint and Change of Direction of Children. *Frontiers in Physiology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.831248>
- Washif, J. A., & Kok, L.-Y. (2022). Relationships Between Vertical Jump Metrics and Sprint Performance, and Qualities that Distinguish Between Faster and Slower Sprinters. *Journal of Science in Sport and Exercise*, *4*(2), 135–144. <https://doi.org/10.1007/s42978-021-00122-4>
- Wdowski, M. M., & Gittoes, M. J. R. (2020). First-stance phase force contributions to acceleration sprint performance in semi-professional soccer players. *European Journal of Sport Science*, *20*(3), 366–374. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1629178>
- Willer, J., Allen, S. J., Burden, R. J., & Folland, J. P. (2021). Neuromechanics of Middle-Distance Running Fatigue: A Key Role of the Plantarflexors? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *53*(10), 2119–2130. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002695>