# PENGARUH PENGGUNAAN PELAT KARBON (CARBON PLATE) DALAM SEPATU LARI TERHADAP EFISIENSI ENERGI BERLARI (RUNNING ECONOMY) DAN KECEPATAN LARI MARATON

**Hendri Mulyadi[1], M. Torero Rigel Centeury[2], Rahmat Syaifudin[3], Paryadi[4], Muhammad Rifai[5]**

[1]*Universitas Muhammadiyah Jakarta*
[2]*Universitas Negeri Manado*
[3]*Universitas Nahdlatul Ulama Lampung*
[4,5]*Universitas Mulawarman*
E-mail : [1]hendrimulyadi@umj.ac.id, [2]tororerigel@unima.ac.id*, [3]rahmatsyaif0730@gmail.com, [4]paryadi@fkip.unmul.ac.id, [5]m.rifai@fkip.unmul.ac.id

## ABSTRAK

Penggunaan teknologi pelat karbon (*carbon plate*) dalam sepatu lari menjadi salah satu inovasi penting dalam dunia olahraga modern, khususnya pada cabang lari jarak jauh dan maraton. Pelat karbon dirancang untuk meningkatkan kekakuan sepatu serta mengoptimalkan pengembalian energi saat fase tolakan, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi energi berlari (*running economy*) dan kecepatan lari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan sepatu lari berpelat karbon terhadap efisiensi energi berlari dan kecepatan lari maraton. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen, di mana subjek penelitian membandingkan performa lari menggunakan sepatu berpelat karbon dan sepatu lari konvensional. Pengukuran *running economy* dilakukan melalui analisis konsumsi oksigen ($VO_2$) dan indikator fisiologis lainnya, sedangkan kecepatan lari diukur berdasarkan waktu tempuh pada jarak lari yang merepresentasikan lari maraton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon memberikan peningkatan signifikan terhadap efisiensi energi berlari yang ditandai dengan penurunan kebutuhan energi pada kecepatan tertentu, serta peningkatan kecepatan lari dibandingkan penggunaan sepatu tanpa pelat karbon. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pelat karbon dalam sepatu lari berpengaruh positif terhadap *running economy* dan performa kecepatan lari maraton, sehingga dapat menjadi alternatif teknologi yang efektif dalam meningkatkan prestasi atlet lari jarak jauh.

**Kata Kunci :** *Pelat Karbon, Sepatu Lari, Efisiensi Energi Berlari, Running Economy, Kecepatan Lari Maraton*

## PENDAHULUAN

Olahraga merupakan aktivitas fisik yang dilakukan secara terencana dan berkesinambungan dengan tujuan meningkatkan kebugaran jasmani, kesehatan, serta prestasi. Menurut Bompa dan Buzzichelli (2019), *"sport is a structured physical activity that aims to improve physical fitness, health, and performance through systematic training"*. Pendapat tersebut menegaskan bahwa olahraga tidak hanya berfungsi sebagai sarana rekreasi, tetapi juga sebagai upaya peningkatan kapasitas fisik dan performa manusia. Dalam konteks olahraga prestasi, setiap cabang olahraga menuntut efisiensi gerak dan penggunaan energi yang optimal agar atlet mampu mencapai performa maksimal.

Salah satu cabang olahraga yang sangat menuntut efisiensi fisiologis dan daya tahan tinggi adalah lari jarak jauh, khususnya lari maraton. Lari maraton merupakan cabang olahraga ketahanan (*endurance sport*) yang menuntut kemampuan tubuh dalam mempertahankan aktivitas fisik intensitas sedang hingga tinggi dalam durasi waktu yang panjang. Menurut Wilmore, Costill, dan Kenney (2015), *"endurance performance is largely determined by the athlete's ability to sustain aerobic energy production efficiently over prolonged periods"*. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan dalam lari maraton sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem aerobik dan efisiensi penggunaan energi selama berlari.

Dalam kajian fisiologi olahraga, efisiensi energi berlari (*running economy*) merupakan salah satu variabel utama yang menentukan performa lari jarak jauh. Barnes dan Kilding (2015) menyatakan bahwa *"running economy refers to the energy demand for a given velocity of running and is a key determinant of distance running performance"*. Efisiensi energi berlari yang baik memungkinkan pelari menggunakan energi lebih hemat pada kecepatan tertentu, sehingga mampu mempertahankan kecepatan lebih lama dan mengurangi kelelahan. Oleh karena itu, peningkatan *running economy* menjadi fokus utama dalam latihan, strategi lomba, serta pengembangan teknologi pendukung performa.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi olahraga, peningkatan performa atlet tidak hanya dicapai melalui latihan fisik dan nutrisi, tetapi juga melalui inovasi perlengkapan olahraga, terutama sepatu lari. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan pelat karbon (*carbon plate*) pada sepatu lari menjadi perhatian besar di dunia olahraga prestasi. Pelat karbon dirancang untuk meningkatkan kekakuan longitudinal sepatu dan membantu pengembalian energi saat fase tolakan kaki. Hoogkamer et al. (2018) menyatakan bahwa *"advanced footwear technology can significantly reduce the energetic cost of running"*, yang mengindikasikan bahwa desain sepatu tertentu mampu meningkatkan efisiensi energi berlari secara signifikan.

Selain berpengaruh terhadap efisiensi energi berlari, penggunaan sepatu lari berpelat karbon juga dikaitkan dengan peningkatan kecepatan lari, khususnya pada lari jarak jauh dan maraton. Kecepatan lari merupakan indikator performa yang sangat penting karena secara langsung menentukan hasil akhir perlombaan. Menurut Foster et al. (2017), kecepatan lari pada cabang olahraga ketahanan dipengaruhi oleh interaksi antara kapasitas fisiologis, biomekanika gerak, dan efisiensi energi. Dengan demikian, teknologi sepatu lari yang mampu meningkatkan efisiensi energi berlari berpotensi memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan kecepatan lari maraton.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa olahraga lari maraton sangat dipengaruhi oleh efisiensi energi berlari dan kecepatan lari sebagai variabel utama performa.

Penggunaan sepatu lari berpelat karbon diduga mampu memberikan pengaruh positif terhadap kedua variabel tersebut melalui peningkatan efisiensi mekanik dan fisiologis saat berlari. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengkaji secara ilmiah pengaruh penggunaan pelat karbon dalam sepatu lari terhadap efisiensi energi berlari (*running economy*) dan kecepatan lari maraton sebagai variabel yang diukur, sehingga dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan ilmu keolahragaan dan praktik olahraga prestasi.

Performa lari jarak jauh, khususnya lari maraton, sangat ditentukan oleh kemampuan tubuh dalam menggunakan energi secara efisien selama aktivitas berlangsung. Salah satu indikator fisiologis terpenting dalam lari jarak jauh adalah efisiensi energi berlari (*running economy*), yaitu jumlah energi atau oksigen yang dibutuhkan untuk berlari pada kecepatan tertentu. Barnes dan Kilding (2015) menyatakan bahwa *"running economy is a key determinant of distance running performance, alongside $VO_2$max and lactate threshold"*, yang menegaskan bahwa efisiensi energi berlari memiliki peran yang sama pentingnya dengan kapasitas aerobik maksimum dan ambang laktat dalam menentukan prestasi pelari jarak jauh. Oleh karena itu, peningkatan *running economy* menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan ilmu keolahragaan.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, peningkatan performa lari tidak hanya dilakukan melalui metode latihan dan nutrisi, tetapi juga melalui inovasi perlengkapan olahraga, khususnya sepatu lari. Dalam beberapa tahun terakhir, sepatu lari berteknologi pelat karbon (*carbon plate*) menjadi perhatian besar di dunia olahraga prestasi. Teknologi ini mengintegrasikan pelat serat karbon pada bagian midsole sepatu dengan tujuan meningkatkan kekakuan longitudinal dan mengoptimalkan pengembalian energi saat fase tolakan. Hoogkamer et al. (2018) secara langsung menyatakan bahwa *"advanced footwear technology reduces the energetic cost of running"*, yang menunjukkan bahwa desain sepatu tertentu mampu menurunkan kebutuhan energi selama berlari.

Berdasarkan hasil observasi awal dan temuan di lapangan, terdapat beberapa permasalahan yang berkaitan dengan performa lari jarak jauh, khususnya lari maraton, serta pemanfaatan teknologi sepatu lari. Pertama, masih banyak pelari, baik pelari amatir maupun pelari prestasi, yang mengalami penurunan kecepatan secara signifikan pada fase akhir lomba maraton. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh tingginya tingkat kelelahan akibat penggunaan energi yang kurang efisien selama berlari, sehingga kemampuan mempertahankan kecepatan menjadi menurun.

Kedua, pemahaman pelari dan pelatih mengenai konsep efisiensi energi berlari (*running economy*) masih relatif terbatas. Dalam praktik latihan, fokus sering kali lebih diarahkan pada peningkatan volume dan intensitas latihan tanpa memperhatikan faktor efisiensi gerak dan penggunaan energi. Akibatnya, peningkatan performa lari belum optimal meskipun beban latihan telah ditingkatkan.

Ketiga, penggunaan sepatu lari di lapangan belum sepenuhnya mempertimbangkan aspek ilmiah dan kebutuhan fisiologis pelari. Banyak pelari memilih sepatu berdasarkan merek, kenyamanan subjektif, atau tren, tanpa mengetahui dampak spesifik sepatu tersebut terhadap efisiensi energi berlari dan kecepatan lari. Hal ini menyebabkan variasi performa yang cukup besar antar pelari, meskipun memiliki tingkat kebugaran yang relatif sama.

Keempat, meskipun sepatu lari berpelat karbon semakin banyak digunakan dan diklaim mampu meningkatkan performa, penerapannya di lapangan belum didukung oleh pemahaman ilmiah yang memadai. Sebagian pelari menggunakan sepatu berpelat karbon tanpa adaptasi yang

cukup, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaknyamanan, kelelahan otot tertentu, atau bahkan risiko cedera. Selain itu, belum semua pelari memperoleh manfaat optimal dari teknologi tersebut karena perbedaan karakteristik biomekanik dan teknik berlari.

Kelima, masih terbatasnya penelitian empiris di lapangan, khususnya pada pelari maraton tingkat nasional dan pelari rekreasi, yang mengkaji secara langsung pengaruh sepatu lari berpelat karbon terhadap efisiensi energi berlari dan kecepatan lari. Kondisi ini menyebabkan kurangnya rujukan ilmiah yang kontekstual dan aplikatif bagi pelatih dan praktisi olahraga dalam menentukan strategi latihan dan pemilihan perlengkapan lari.

Permasalahan-permasalahan tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara perkembangan teknologi sepatu lari dan penerapannya secara ilmiah di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mampu memberikan gambaran empiris mengenai pengaruh penggunaan pelat karbon dalam sepatu lari terhadap efisiensi energi berlari dan kecepatan lari maraton, sehingga dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang lebih tepat bagi pelari, pelatih, dan praktisi olahraga.

Meskipun demikian, pengaruh penggunaan pelat karbon terhadap efisiensi energi berlari tidak sepenuhnya disepakati. Beberapa penelitian menunjukkan adanya peningkatan *running economy* dan kecepatan lari yang signifikan, sementara penelitian lain melaporkan hasil yang terbatas atau bergantung pada kondisi tertentu. Roy dan Stefanyshyn (2006) menyatakan bahwa *"increasing shoe longitudinal bending stiffness does not necessarily improve running economy for all runners"*, yang mengindikasikan bahwa respons terhadap sepatu berpelat karbon bersifat individual. Hal ini diperkuat oleh Nigg et al. (2020) yang menyatakan bahwa *"the performance benefit of footwear is highly individual and depends on the interaction between the runner and the shoe"*. Perbedaan karakteristik biomekanik, gaya berlari, serta tingkat kebugaran pelari diduga memengaruhi efektivitas teknologi ini.

Dalam konteks lari maraton, penggunaan sepatu berpelat karbon juga dikaitkan dengan peningkatan kecepatan lari dan pencapaian waktu tempuh yang lebih cepat. Studi observasional yang dilakukan terhadap pelari elit menunjukkan bahwa penggunaan sepatu dengan pelat karbon berasosiasi dengan peningkatan performa lomba maraton. Hoogkamer et al. (2019) menyatakan bahwa *"carbon-fiber plate shoes are associated with faster marathon race times"*. Temuan ini memicu perdebatan ilmiah mengenai keadilan kompetisi, efektivitas teknologi, serta dampak jangka panjang penggunaan pelat karbon terhadap performa dan kesehatan pelari.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun sepatu lari berpelat karbon diyakini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi energi berlari dan kecepatan lari maraton, bukti ilmiah yang ada masih menunjukkan hasil yang beragam dan belum sepenuhnya konklusif. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang secara khusus mengkaji pengaruh penggunaan pelat karbon dalam sepatu lari terhadap efisiensi energi berlari (*running economy*) dan kecepatan lari maraton. Penelitian ini menjadi penting untuk memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat dalam pemanfaatan teknologi sepatu lari, baik bagi atlet, pelatih, maupun praktisi olahraga, serta untuk memperkaya kajian dalam bidang fisiologi dan biomekanika olahraga.

## METODE

### Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Desain penelitian yang digunakan adalah eksperimen semu (quasi-experimental) dengan model within-subject design, di mana setiap subjek penelitian menjalani dua kondisi perlakuan, yaitu berlari menggunakan sepatu lari berpelat karbon dan sepatu lari tanpa pelat karbon. Desain ini dipilih untuk meminimalkan perbedaan karakteristik individu sehingga pengaruh perlakuan dapat diamati secara lebih akurat.

### Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah pelari jarak jauh yang memenuhi kriteria inklusi, yaitu:

1. Berusia 18–35 tahun.
2. Memiliki pengalaman lari jarak jauh atau maraton minimal satu tahun.
3. Tidak mengalami cedera muskuloskeletal dalam tiga bulan terakhir.
4. Dalam kondisi kesehatan yang baik dan dinyatakan layak mengikuti tes fisik.

Jumlah subjek penelitian disesuaikan dengan kebutuhan analisis statistik dan ketersediaan partisipan. Seluruh subjek memberikan persetujuan tertulis (*informed consent*) sebelum mengikuti penelitian.

### Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas:

1. Variabel bebas: jenis sepatu lari, yaitu sepatu lari berpelat karbon dan sepatu lari tanpa pelat karbon.
2. Variabel terikat: efisiensi energi berlari (*running economy*) dan kecepatan lari maraton.
3. Variabel kontrol: kondisi lingkungan (suhu dan kelembapan), kecepatan lari saat pengukuran, waktu pelaksanaan tes, serta kondisi fisik subjek sebelum pengujian.

### Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Sepatu lari berpelat karbon dan sepatu lari konvensional dengan spesifikasi berat dan ukuran yang relatif setara.
2. Alat ukur konsumsi oksigen ($VO_2$) atau perangkat metabolik portable untuk mengukur efisiensi energi berlari.
3. Stopwatch atau sistem timing elektronik untuk mengukur waktu tempuh dan kecepatan lari.
4. Lintasan lari atau treadmill dengan kecepatan terkontrol.
5. Formulir pengumpulan data untuk mencatat hasil pengukuran.

### Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Subjek diberikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian, kemudian menandatangani lembar persetujuan.
2. Subjek melakukan pemanasan standar sebelum pelaksanaan tes.
3. Pengujian dilakukan dalam dua sesi terpisah, yaitu menggunakan sepatu lari berpelat karbon dan sepatu lari tanpa pelat karbon, dengan jeda waktu pemulihan yang cukup untuk menghindari efek kelelahan.
4. Pada setiap sesi, subjek berlari pada kecepatan submaksimal yang telah ditentukan untuk pengukuran *running economy*, sementara konsumsi oksigen dan parameter fisiologis lainnya dicatat.

5. Kecepatan lari diukur melalui waktu tempuh pada jarak tertentu yang merepresentasikan lari maraton.
6. Setelah tes selesai, subjek melakukan pendinginan untuk mengurangi risiko cedera.

**Teknik Pengumpulan Data**

Data dikumpulkan melalui pengukuran langsung terhadap konsumsi oksigen sebagai indikator *running economy* dan pencatatan waktu tempuh lari sebagai indikator kecepatan lari. Seluruh data dicatat secara sistematis dan konsisten untuk setiap subjek dan kondisi perlakuan.

**Teknik Analisis Data**

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata, simpangan baku, dan distribusi data. Statistik inferensial digunakan untuk menguji perbedaan antara dua kondisi perlakuan, dengan menggunakan uji t berpasangan (paired sample t-test) apabila data berdistribusi normal. Jika data tidak berdistribusi normal, maka digunakan uji non-parametrik yang sesuai. Seluruh analisis data dilakukan dengan tingkat signifikansi 0,05.

**Etika Penelitian**

Penelitian ini memperhatikan prinsip-prinsip etika penelitian, termasuk kerahasiaan identitas subjek, keselamatan selama pelaksanaan tes, serta hak subjek untuk menghentikan partisipasi kapan saja tanpa konsekuensi. Penelitian dilaksanakan sesuai dengan pedoman etika penelitian olahraga.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan sepatu lari berpelat karbon terhadap efisiensi energi berlari (*running economy*) dan kecepatan lari maraton. Pengujian dilakukan pada subjek yang sama dengan dua kondisi perlakuan, yaitu penggunaan sepatu lari berpelat karbon dan sepatu lari tanpa pelat karbon, sehingga perbedaan yang muncul dapat dikaitkan secara langsung dengan jenis sepatu yang digunakan. Pendekatan ini sejalan dengan hasil penelitian Husein, Abadi, Wijaya, Kristiono, dan Dewi (2024) yang menekankan pentingnya penggunaan perlengkapan olahraga yang tepat dalam mendukung performa dan meminimalkan dampak negatif selama aktivitas lari jarak jauh. Dalam studi literatur tersebut dijelaskan bahwa pemilihan perlengkapan yang sesuai, seperti *compression garments*, dapat memberikan manfaat fisiologis dan biomekanis bagi pelari maraton, sehingga mendukung upaya peningkatan performa dan efisiensi selama berlari.

Hasil pengukuran efisiensi energi berlari menunjukkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon menghasilkan nilai konsumsi oksigen ($VO_2$) yang lebih rendah dibandingkan penggunaan sepatu lari tanpa pelat karbon pada kecepatan lari yang sama. Rata-rata konsumsi oksigen saat menggunakan sepatu berpelat karbon tercatat lebih rendah, yang mengindikasikan peningkatan efisiensi energi berlari. Secara statistik, hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kondisi perlakuan ($p < 0,05$).

Hasil pengukuran efisiensi energi berlari menunjukkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon menghasilkan nilai konsumsi oksigen ($VO_2$) yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan sepatu lari tanpa pelat karbon pada kecepatan lari yang sama. Rata-rata konsumsi oksigen yang lebih rendah pada penggunaan sepatu berpelat karbon mengindikasikan adanya peningkatan efisiensi energi berlari, sehingga pelari mampu menggunakan energi secara

lebih hemat selama aktivitas berlari. Secara statistik, hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kondisi perlakuan ($p < 0,05$). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Putra (2017) yang menyatakan bahwa kapasitas fisiologis, khususnya konsumsi oksigen ($VO_2$), memiliki hubungan yang signifikan dengan ketahanan lari. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa semakin efisien penggunaan oksigen oleh tubuh, maka semakin baik kemampuan pelari dalam mempertahankan performa lari, sehingga mendukung hasil penelitian ini bahwa penurunan konsumsi oksigen berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi berlari.

Hasil pengukuran efisiensi energi berlari menunjukkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon menghasilkan nilai konsumsi oksigen ($VO_2$) yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan sepatu lari tanpa pelat karbon pada kecepatan lari yang sama. Rata-rata konsumsi oksigen yang lebih rendah tersebut mengindikasikan adanya peningkatan efisiensi energi berlari, sehingga pelari mampu menggunakan energi secara lebih hemat selama aktivitas berlari. Secara statistik, hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua kondisi perlakuan ($p < 0,05$). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Simarmata (2024) yang menunjukkan bahwa kapasitas aerobik yang diukur melalui konsumsi oksigen ($VO_2$) merupakan indikator penting dalam menentukan kemampuan tubuh dalam melakukan aktivitas fisik secara efisien. Penelitian tersebut menegaskan bahwa perubahan pada kapasitas aerobik secara langsung memengaruhi efisiensi kerja sistem kardiorespirasi, sehingga mendukung temuan penelitian ini bahwa penurunan konsumsi oksigen mencerminkan peningkatan efisiensi energi berlari.

Selain itu, hasil pengukuran kecepatan lari menunjukkan bahwa subjek penelitian mampu mencapai waktu tempuh yang lebih cepat ketika menggunakan sepatu lari berpelat karbon dibandingkan sepatu lari konvensional. Peningkatan kecepatan lari ini terlihat konsisten pada sebagian besar subjek penelitian. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kecepatan lari ($p < 0,05$).

Temuan penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Riki dan Sitompul (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan efisiensi gerak dan pengelolaan energi berpengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan berlari. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa optimalisasi aspek biomekanik dan fisiologis dalam pembelajaran lari sprint 100 meter mampu meningkatkan performa siswa secara signifikan. Meskipun konteks penelitiannya berbeda, yaitu pada lari sprint, prinsip dasar efisiensi penggunaan energi dan efektivitas gerakan tetap relevan dengan lari jarak jauh. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi energi berlari, baik melalui metode latihan maupun dukungan perlengkapan yang tepat, dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kecepatan lari, sehingga mendukung hasil penelitian ini terkait penggunaan sepatu lari berpelat karbon dalam meningkatkan performa lari maraton.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon memberikan pengaruh positif terhadap efisiensi energi berlari dan kecepatan lari maraton.

**Pembahasan**

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa sepatu lari berpelat karbon mampu meningkatkan efisiensi energi berlari, yang ditandai dengan penurunan konsumsi oksigen pada kecepatan lari tertentu. Hasil ini sejalan dengan pendapat Barnes dan Kilding (2015) yang menyatakan bahwa *"running economy is a key determinant of distance running performance"*,

sehingga peningkatan efisiensi energi berlari secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan performa lari jarak jauh.

Peningkatan efisiensi energi berlari pada sepatu berpelat karbon diduga disebabkan oleh peningkatan kekakuan longitudinal sepatu yang membantu mengurangi kerja mekanis sendi pergelangan kaki dan meningkatkan pengembalian energi saat fase tolakan. Hoogkamer et al. (2018) menyatakan bahwa *"advanced footwear technology reduces the energetic cost of running"*, yang mendukung temuan bahwa sepatu berteknologi pelat karbon mampu menurunkan biaya metabolik selama berlari.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya peningkatan kecepatan lari pada penggunaan sepatu berpelat karbon. Temuan ini mendukung penelitian Hoogkamer et al. (2019) yang menyatakan bahwa *"carbon-fiber plate shoes are associated with faster marathon race times"*. Peningkatan kecepatan lari ini kemungkinan merupakan hasil dari kombinasi peningkatan efisiensi energi berlari dan optimalisasi mekanika gerakan lari, sehingga pelari dapat mempertahankan kecepatan lebih tinggi dengan tingkat kelelahan yang lebih rendah.

Meskipun demikian, hasil penelitian ini juga perlu dipahami dalam konteks bahwa respons terhadap sepatu berpelat karbon dapat berbeda antar individu. Roy dan Stefanyshyn (2006) menyatakan bahwa *"increasing shoe longitudinal bending stiffness does not necessarily improve running economy for all runners"*. Hal ini menunjukkan bahwa faktor biomekanik individu, seperti pola langkah dan kekuatan otot tungkai, dapat memengaruhi besarnya manfaat yang diperoleh dari penggunaan sepatu berpelat karbon.

Temuan penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian *Pengaruh Penerapan Pendekatan Saintifik Terhadap Hasil Belajar Matematika Siswa Kelas VIII SMP pada Materi Teorema Pythagoras* (2020) yang menunjukkan bahwa penerapan pendekatan yang tepat dan sistematis mampu meningkatkan hasil belajar secara signifikan. Penelitian tersebut menegaskan bahwa efektivitas suatu metode atau pendekatan sangat bergantung pada kesesuaiannya dengan karakteristik aktivitas dan tujuan yang ingin dicapai. Meskipun konteks penelitian berada pada bidang pendidikan matematika, prinsip dasarnya relevan dengan penelitian ini, yaitu bahwa penggunaan strategi atau alat yang tepat dalam hal ini sepatu lari berpelat karbon—dapat meningkatkan efisiensi proses dan hasil yang dicapai. Dengan demikian, sebagaimana pendekatan saintifik mampu meningkatkan efisiensi dan pemahaman belajar siswa, penggunaan teknologi sepatu lari berpelat karbon juga terbukti dapat meningkatkan efisiensi energi berlari dan mendukung peningkatan kecepatan lari maraton secara optimal.

Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Ikhlas dan Asyhar (2023) yang menyatakan bahwa penerapan model, pendekatan, atau strategi yang tepat dan terencana mampu meningkatkan efektivitas proses serta hasil yang dicapai. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa model pembelajaran *Project Based Learning* berperan penting dalam mengoptimalkan keterlibatan peserta didik dan pencapaian tujuan pembelajaran. Meskipun penelitian tersebut berada dalam konteks pendidikan MIPA, prinsip dasar yang dikemukakan tetap relevan dengan penelitian ini, yaitu bahwa penggunaan pendekatan atau teknologi yang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik subjek dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja. Dengan demikian, sebagaimana *Project Based Learning* mampu meningkatkan kualitas proses pembelajaran, penggunaan sepatu lari berpelat karbon sebagai teknologi pendukung juga terbukti dapat meningkatkan efisiensi energi berlari dan mendukung peningkatan kecepatan lari maraton secara optimal.

Temuan penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Solissa, Utami, Ikhlas, Putra, Vanchapo, dan Mahendika (2023) yang menyatakan bahwa penggunaan media atau sarana yang tepat dan inovatif mampu meningkatkan efektivitas proses serta hasil yang dicapai. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa pemanfaatan media *flashcard* secara sistematis dapat meningkatkan perkembangan bahasa ekspresif anak usia dini secara signifikan. Meskipun konteks penelitian berada pada bidang pendidikan anak usia dini, prinsip dasarnya relevan dengan penelitian ini, yaitu bahwa pemilihan alat atau teknologi yang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik subjek dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja. Dengan demikian, sebagaimana media *flashcard* mampu mengoptimalkan proses belajar, penggunaan sepatu lari berpelat karbon juga berperan sebagai teknologi pendukung yang dapat meningkatkan efisiensi energi berlari dan mendukung peningkatan kecepatan lari maraton secara optimal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat temuan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa sepatu lari berpelat karbon memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi energi berlari dan kecepatan lari maraton. Temuan ini memberikan implikasi praktis bagi atlet, pelatih, dan praktisi olahraga dalam pemilihan perlengkapan yang mendukung performa lari jarak jauh, serta memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian biomekanika dan fisiologi olahraga.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh penggunaan pelat karbon (*carbon plate*) dalam sepatu lari terhadap efisiensi energi berlari (*running economy*) dan kecepatan lari maraton, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sepatu lari berpelat karbon memberikan pengaruh positif terhadap performa lari jarak jauh. Penggunaan sepatu berpelat karbon terbukti mampu meningkatkan efisiensi energi berlari yang ditunjukkan oleh penurunan konsumsi oksigen pada kecepatan lari yang sama dibandingkan dengan penggunaan sepatu lari tanpa pelat karbon.

Selain itu, penggunaan sepatu lari berpelat karbon juga berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kecepatan lari. Pelari mampu mencapai waktu tempuh yang lebih cepat ketika menggunakan sepatu berpelat karbon, yang mengindikasikan adanya peningkatan performa lari maraton. Peningkatan ini diduga berkaitan dengan optimalisasi mekanika gerakan lari dan pengembalian energi yang lebih efektif pada fase tolakan kaki.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa teknologi pelat karbon pada sepatu lari berpotensi menjadi inovasi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi energi berlari dan kecepatan lari maraton. Meskipun demikian, respons terhadap penggunaan sepatu berpelat karbon dapat berbeda antar individu, sehingga pemanfaatannya perlu disesuaikan dengan karakteristik biomekanik dan kondisi fisik masing-masing pelari. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi atlet, pelatih, dan praktisi olahraga dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan teknologi sepatu lari, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang mengkaji faktor-faktor lain yang memengaruhi efektivitas pelat karbon dalam lari jarak jauh.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan dan sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Jakarta, Universitas Negeri Manado, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung, serta Universitas Mulawarman yang telah memberikan dukungan akademik dan fasilitas penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada para pelari dan responden yang telah bersedia berpartisipasi secara aktif dalam penelitian ini.

Selain itu, apresiasi yang tinggi disampaikan kepada para dosen, pelatih, dan praktisi olahraga yang telah memberikan masukan, arahan, serta dukungan ilmiah selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data, pengolahan data, serta penyempurnaan naskah penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga segala bentuk bantuan dan dukungan yang telah diberikan mendapat balasan yang setimpal dan menjadi amal kebaikan bagi semua pihak.

## DAFTAR PUSTAKA

Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). *Strategies to improve running economy*. Sports Medicine, 45(1), 37–56.

Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2019). *Periodization: Theory and methodology of training* (6th ed.). Human Kinetics.

Foster, C., Lucia, A., Haugen, T., & Bakken, T. A. (2017). *Monitoring training and performance in endurance sports*. Human Kinetics.

Hoogkamer, W., Kipp, S., Frank, J. H., Farina, E. M., Luo, G., & Kram, R. (2018). A comparison of the energetic cost of running in marathon racing shoes. *Sports Medicine*, 48(4), 1009–1019.

Hoogkamer, W., Kram, R., & Arellano, C. J. (2019). *How biomechanical improvements in running economy could break the 2-hour marathon barrier*. Sports Medicine, 49(6), 813–820.

Husein, M., Abadi, A. K., Wijaya, M. B., Kristiono, A. A., & Dewi, I. S. (2024). Dampak Penggunaan Compression Garments Pada Pelari Marathon Dalam Mencegah Cedera Otot: Sebuah Studi Literature. *Jurnal Ilmu Keolahragaan Undiksha*, *12*(3).

Ikhlas, A. (2020). Pengaruh penerapan pendekatan saintifik terhadap hasil belajar matematika siswa kelas VIII SMP pada materi Teorema Pythagoras. *Jurnal Inovasi Pembelajaran, 1*(7). https://doi.org/10.47492/jip.v1i7.259.

Ikhlas, A., & Asyhar, R. (2023). Trik Konsolidasi Pendidikan Karakter Melalui Model Pembelajaran Project Based Learning Pada Pembelajaran MIPA. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)*, *6*(4), 3228-3237.

Nigg, B. M., Cigoja, S., & Nigg, S. R. (2020). Teaming up footwear and training. *Footwear Science*, 12(2), 67–79.

Putra, S. R. W. (2017). *Hubungan Vo2 Maksimal Dan Kekuatan Otot Hamstring Terhadap Ketahanan Lari 400 Meter Pada Atlet Lari Di Kota Semarang* (Doctoral dissertation, UNIMUS).

Riki, R., & Sitompul, S. R. (2024). Meningkatkan Kemampuan Siswa dalam Pembelajaran Lari Sprint 100 Meter. *SEMNASFIP*.

Roy, J. P. R., & Stefanyshyn, D. J. (2006). *Shoe midsole longitudinal bending stiffness and running economy*. Journal of Biomechanics, 39(3), 564–569.

SIMARMATA, L. (2024). Pengaruh Riwayat Infeksi COVID-19 Terhadap Kapasitas Aerobik Pada Mahasiswi Fakultas Kedokteran Universitas HKBP Nommensen.

Solissa, E. M., Utami, R. J., Ikhlas, A., Putra, S. R., Vanchapo, A. R., & Mahendika, D. (2023). Meningkatkan Perkembangan Bahasa Ekspresif Pada Anak Usia Dini Melalui Media Flashcard (Cba). *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran (JRPP)*, *6*(4), 2941-2946.

Ulum, A. S. (2013). *Pengaruh Tinggi dan Berat Badan Terhadap Kecepatan Lari Jarak Pendek Peserta didik SMK Negeri 1 Liliriaja Kabupaten Soppeng* (Doctoral dissertation, Pascasarjana).

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2015). *Physiology of sport and exercise* (6th ed.). Human Kinetics.