

Analisis Gerak Pendaratan Kaki Terkait Risiko Berlari *Overstriding* Pada Pelari Remaja Malang 2 Training Club

Rhaka Dhanu Ferdiansyah, Mahmud Yunus*, Ahmad Abdullah, Slamet Raharjo

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: mahmud.yunus.fik@um.ac.id

Paper received: 3-1-2023; revised: 20-1-2023; accepted: 24-1-2023

Abstract

During running, there is a mechanism for changing the angle of the lower limb joints during the foot landing phase. A foot landing motion analysis intervention is needed to identify the risk of overstriding. The study focused on the joints of the lower extremities (hips, knees, and ankles) during the foot landing phase through the motion analysis phase of the subject. This research method uses quantitative qualitative with analytical descriptive design. The sampling technique used non-probability sampling, with the type of purposive sampling. 15 adolescent runners with endurance consisting of (12) boys and (3) girls have given informed consent. The test protocol of 60 seconds of each subject's treadmill running at a rate of 3.8 m/s (8.7 mph) was applied to one camera-recorded trial. Analysis of motion and angle for 30 seconds at the joints of the lower extremities from the lateral sagittal plane using the Kinovea software. The mean results of the angle values of the three lower extremity joints in various ranges. Characteristically, the motion produced from the angle of the subject's lower extremity joints, dominantly doing the landing phase of the hind foot accompanied by a condition of tibial extension which indicates the risk of overstriding.

Keywords: motion analysis; running; overstriding; lower extremity

Abstrak

Selama berlari, terjadi mekanisme perubahan sudut sendi ekstremitas bawah saat fase pendaratan kaki. Intervensi analisis gerak pendaratan kaki diperlukan untuk mengidentifikasi risiko overstriding. Penelitian terfokus pada persendian ekstremitas bawah (panggul, lutut, dan engkel) saat fase pendaratan kaki melalui tahap analisis gerak dari subjek. Metode penelitian ini menggunakan kuantitatif kualitatif dengan desain deskriptif analitik. Teknik sampling menggunakan non-probability sampling, dengan jenis purposive sampling. 15 pelari remaja dengan daya tahan terdiri dari (12) laki-laki dan (3) perempuan telah menyetujui informed consent. Protokol tes lari *treadmill* setiap subjek selama 60 detik pada laju 3.8 m/s (8.7 mph) berlaku satu kali percobaan yang direkam kamera. Analisis gerak dan sudut selama 30 detik pada persendian ekstremitas bawah dari bidang sagital sisi lateral menggunakan perangkat lunak *Kinovea*. Rerata hasil nilai sudut ketiga sendi ekstremitas bawah pada rentang yang bervariasi. Secara karakteristik gerak yang dihasilkan dari sudut sendi ekstremitas bawah subjek, dominan melakukan fase pendaratan telapak kaki belakang disertai kondisi ekstensi tibia yang mengindikasikan risiko *overstriding*.

Kata kunci: analisis gerak; berlari; *overstriding*; ekstremitas bawah

1. Pendahuluan

Selama berlari jarak jauh, melibatkan integrasi gerakan yang kompleks. Kecenderungan aktif terjadi pada ekstremitas bawah tubuh. Mengacu pada observasi secara langsung oleh peneliti, terdapat pokok permasalahan cedera ekstremitas bawah terkait mekanisme lari dari pelari Malang 2 Training Club. Sudut pada gerak sendi ekstremitas bawah menunjang pembebanan tubuh terhadap kinematika gaya berlari, efek utama diamati pada sudut puncak sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki (kecuali dorsofleksi) (Fukuchi et al., 2017). Saat pendaratan kaki terjadi pembebanan mekanis gerak dorsofleksi melalui sendi pergelangan

kaki, bersama dengan pembebanan tubuh melalui sendi pinggul mengakibatkan efek negatif pada sendi lutut (Jin & Hahn, 2018). Gerakan serupa saat mendarat menggunakan pinggul atau lutut dengan jangkauan berlebihan, menimbulkan *overstride* (Preece et al., 2019).

Hasil dari analisis kinetika berlari di Universitas Northumbria diperoleh reaksi dorsofleksi yang identik dari pelari menunjukkan sekitar 80% menggunakan strategi pendaratan kaki belakang yang berisiko langkah berlebihan (S. Lee & Mick, 2021). Hasil identifikasi biomekanika terhadap cedera terkait lutut pada pelari rekreasi di Universitas Udayana, membuktikan bahwa 80% dari populasi lari ketika kontak awal dengan tanah menggunakan pendaratan bagian tumit kaki (Ngurah et al., 2019). Penelitian yang dilakukan di Sekolah Kedokteran Harvard terkait mekanisme lari, diperoleh persentase 87,1% dari subjek perempuan kondisi sehat kecenderungan pemuatan tubuh dengan rearfoot yang berdampak pada sudut langkah yang melampaui (Sugimoto et al., 2018).

Ekstremitas bawah dapat diasumsikan sebagai sistem yang membutuhkan koordinasi pola dinamis persendian (Qiao & Jindrich, 2016). Tanpa perubahan kompensasi pada dorsofleksi pergelangan kaki, posisi tibia yang relatif vertikal saat mendarat cenderung pada pola pijakkan telapak kaki tengah atau depan (Sancho et al., 2019). Pendaratan kaki belakang secara alami melakukan tumpuan terhadap permukaan tanah dalam posisi dorsofleksi engkel, pada pendaratan kaki depan terjadi posisi plantarfleksi sendi engkel (Almeida et al., 2015). Penelitian tentang efek lari berkepanjangan pada pelari rekreasi kategori usia remaja sampai dewasa di laboratorium biomekanika Universitas Massachusetts, bahwa analisis biomekanika dari gerak sendi ekstremitas bawah terjadi perubahan nilai sudut dari sendi pinggul, lutut, dan pergelangan kaki selama fase pendaratan kaki (Weir et al., 2019).

Ulasan latar belakang masalah mengarahkan kontribusi penelitian ini untuk mengidentifikasi pendaratan kaki saat berlari terkait kondisi langkah yang berlebihan. Aspek sudut yang dianalisis gerak pendaratan kaki terfokus pada sendi ekstremitas bawah. Dengan demikian, melalui tindakan analisis gerak ekstremitas bawah dapat memperoleh kajian khusus terkait pendaratan kaki pelari dalam menghilangkan risiko *overstriding*.

2. Metode

Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif kualitatif. Peneliti menggunakan metode deskriptif analitik untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan data yang telah terkumpul (Hamad, 2017). Metode deskriptif pada penelitian ini bertujuan untuk menyajikan dan mengungkap fakta dari penelitian yang dilakukan (Lestari & Winarno, 2020). Teknik analisis mendalam (*in-depth analysis*) digunakan untuk mengkaji kondisi setiap kasus, karena secara khusus sifat kasus setiap subjek terdapat perbedaan. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari yang berlokasi di *Performance Laboratory* Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang. Teknik *sampling* menggunakan metode *non probability sampling*. Jenis *sampling* menggunakan *purposive sampling*, dengan cara mengidentifikasi dan memilih kasus tertentu yang akan menggunakan sumber daya penelitian terbatas secara efektif (Palinkas et al., 2015). Subjek laki-laki dan perempuan dalam penelitian ini diperoleh 15 pelari dari populasi atlet Malang 2 *Training Club*. Instrumen tes diatas *treadmil* tipe *Sole F85* dengan durasi 60 detik pada laju 3.8 m/s (8.7 mph) (Bressel et al., 2017). Subjek melakukan satu kali percobaan menggunakan sepatu lari netral yang direkam menggunakan kamera *mirrorless* tipe SONY Alpha A6000 Kit 16-50mm beserta *tripod* dengan tipe yang relevan. Sarana analisis sudut pada sendi panggul, sendi lutut dan sendi engkel dari

subjek menggunakan perangkat lunak *Kinovea* versi 0.9.5. Hasil rekaman video lari subjek dilakukan analisis sudut sendi ekstremitas bawah selama 30 detik pada tampilan dua dimensi dari bidang sagital sisi lateral. Peneliti menggunakan tabel sebagai pengelompokan data subjek yang berisikan hasil rata-rata dari nilai sudut sendi ekstremitas bawah dan kategori pendaratan kaki setiap subjek yang telah melalui tahap analisis gerak.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis sudut persendian ekstremitas bawah dan kategori pendaratan telapak kaki saat fase pendaratan kaki subjek dari pelari Malang 2 *Training Club* dipaparkan sebagai berikut.

Tabel 1. Nilai Rerata Hasil Analisis Sudut Dengan Kategori FFS

Subjek	Sudut sendi panggul (°)	Sudut sendi lutut (°)	Sudut sendi engkel (°)	Pendaratan Telapak Kaki
Subjek 1	19,9°	16,4°	14,6°	FFS
Subjek 2	25,9°	13,2°	6,7°	FFS
Subjek 3	25,2°	13,6°	9,4°	FFS
Subjek 4	24,3°	15,0°	9,3°	FFS
Subjek 5	23,5°	15,3°	9,0°	FFS
Subjek 6	24,1°	19,8°	7,2°	FFS
Subjek 7	26,4°	11,0°	8,0°	FFS

Keterangan : FFS (*Fore Foot Strike*) atau pendaratan telapak kaki bagian depan

Tabel 2. Nilai Rerata Hasil Analisis Sudut Dengan Kategori FFS

Subjek	Sudut sendi panggul(°)	Sudut sendi lutut(°)	Sudut sendi engkel(°)	Pendaratan Telapak Kaki
Subjek 8	23,3°	9,2°	16,1°	RFS
Subjek 9	29,6°	17,1°	16,7°	RFS
Subjek 10	37,0°	22,9°	19,7°	RFS
Subjek 11	23,7°	8,9°	7,3°	RFS
Subjek 12	15,3°	10,5°	2,1°	RFS
Subjek 13	27,7°	18,4°	12,7°	RFS
Subjek 14	24,2°	6,9°	14,5°	RFS
Subjek 15	29,7°	15,7°	13,5°	RFS

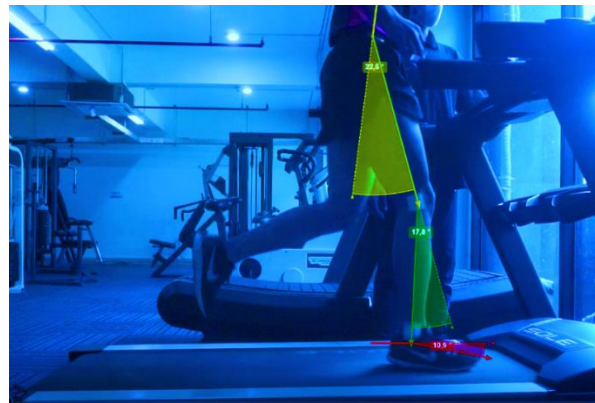
Keterangan : RFS (*Rear Foot Strike*) atau pendaratan telapak kaki bagian belakang



Gambar 1. Hasil sudut pendaratan kaki subjek yang menunjukkan tibia ekstensi



Gambar 2. Hasil sudut pendaratan kaki subjek yang menunjukkan tibia vertikal



Gambar 3. Hasil sudut pendaratan kaki subjek yang menunjukkan tibia fleksi

3.1. Kajian Hasil Analisis Gerak Pendaratan Kaki Pada Subjek Terkait Risiko *Overstriding*

Subjek pertama konsisten menghasilkan sudut sendi pinggul pada rentang gerak fleksi yang kecil. Posisi badan termasuk tulang pinggang mengalami sedikit kemiringan ke depan pusat massa tubuh. Sudut sendi lutut mengarah pada gerak fleksi, dengan rentang gerak sendi lutut yang tidak terlalu besar. Sudut sendi lutut menghasilkan gerak fleksi dan membentuk tibia vertikal, memungkinkan tingkat pemuatan yang rendah ketika kontak awal dengan

permukaan lari. Kondisi sudut sendi lutut dari subjek pertama dapat meminimalkan pemuatan pada pusat massa tubuh. Pada sudut sendi engkel mengarah pada gerak plantarfleksi yang secara aktual menggunakan kontak awal kaki bagian depan. Pendaratan kaki depan memberikan tingkat pemuatan beban tubuh yang lebih sedikit pada sendi lutut. Penting untuk menerapkan teknik berlari secara keseluruhan sebagai komponen utama meningkatkan ekonomi berlari (Folland et al., 2017).

Subjek kedua menghasilkan fase kontak awal kaki dengan gerak fleksi sudut pinggul. Rentang gerak yang dihasilkan dari sudut sendi pinggul cukup besar. Terbukti dengan analisis gerak pada posisi batang tubuh seringkali tertekuk dari anterior pusat massa tubuh. Bagian paha yang mengarah ke anterior dari pusat massa tubuh menyebabkan fleksi sendi panggul dominan lebih besar. Sudut pada sendi lutut mengalami gerak fleksi yang rendah dengan kondisi tibia yang dominan vertikal terhadap pergelangan kaki. Dengan peningkatan fleksi sendi panggul dengan sendi lutut menjadi sedikit menekuk dari kondisi fleksi batang tubuh (Warrener et al., 2021).

Subjek ketiga menghasilkan gerak fleksi sendi panggul dengan posisi area pinggang sejajar dengan bagian paha yang relatif condong ke depan dari pusat massa tubuh. Sudut sendi lutut menunjukkan gerak fleksi tetapi secara analisis gerak kondisi respon pemuatan tubuh penting untuk diidentifikasi kembali. Pada beberapa segmen sendi lutut adanya kecenderungan mengarah ke gerak ekstensi. Sendi engkel mengarah pada gerak plantarfleksi dengan pendaratan telapak kaki depan. Pola pergelangan kaki dengan sudut fleksi plantar yang cenderung tinggi dapat menjadi mekanisme pendaratan potensial untuk mengurangi risiko cedera pada ligamen anterior dan otot pinggul (J. Lee et al., 2018).

Subjek keempat melakukan kontak awal sendi ekstremitas bawah dengan gerak fleksi sendi panggul. Ditandai dengan bagian pinggang sedikit condong ke depan pusat massa tubuh, tetapi bagian paha lebih condong ke depan. Sudut sendi lutut menunjukkan gerak fleksi yang kecil yang relatif membetuk posisi tibia fleksi dan vertikal. Melalui fleksi lutut yang memungkinkan respon kontak awal kaki dapat meminimalkan benturan beban tubuh terhadap permukaan lari. Sendi engkel mengarah pada gerak plantarfleksi yang secara khusus menggunakan pendaratan telapak kaki bagian depan. Kondisi pendaratan kaki yang tepat dan pengurangan fleksi berlebihan membatasi rotasi tibia dalam mengontrol gerakan langkah yang berlebihan (Sulowska et al., 2019). Pada respon kontak awal kaki, letak dari malleolus lateral yang dominan ke anterior dari sendi pinggul.

Subjek kelima menghasilkan sudut pada gerak sendi ekstremitas bawah dengan kontak awal kaki yang tidak terlalu jauh didepan pusat massa tubuh. Pelari dengan jarak jauh mendarat setidaknya sedikit di depan pusat massa tubuh, diperlukan untuk gerakan maju tanpa melampaui didepan dari sumbu sendi pinggul (Xu et al., 2022). Kondisi tersebut dapat diidentifikasi secara lateral dari sendi engkel melalui fleksi sendi lutut sampai anterior depan sendi pinggul. Tetapi fase pendaratan kaki menggunakan bagian depan yang dilakukan subjek menimbulkan tingkat pembebanan yang lebih kecil pada ekstremitas bawah.

Subjek keenam menghasilkan sudut pada sendi ekstremitas bawah dengan kontak awal kaki berada tidak jauh dibawah pusat massa tubuh. Kondisi tersebut dianalisis pada bagian paha yang terangkat ke anterior yang dilanjutkan ke fleksi sendi lutut relatif tibia vertikal. Sedangkan pendaratan kaki menggunakan telapak kaki bagian depan yang meminimalisir respon pemogokkan terhadap permukaan lari. Kondisi tungkai bawah terkait pendaratan kaki,

memungkinkan momentum lari yang lebih efisien. Secara substansial pelari yang menggunakan pendaratan telapak kaki bagian depan meningkatkan laju langkah terhadap penurunan tingkat beban ke pinggul dan lutut (Willy et al., 2016).

Subjek ketujuh menghasilkan fase kontak awal kaki yang berada cukup jauh dibawah pusat massa tubuh. Diawali dari bagian paha yang kurang terangkat terhadap sendi lutut yang mengarah ke posisi tibia yang diperpanjang. Secara akut memengaruhi fase kontak awal kaki melampaui lebih jauh ke depan dari pusat massa tubuh. Menariknya pendaratan yang dilakukan menggunakan telapak kaki bagian depan, sedangkan secara analisis beberapa segmen relatif mendarat dengan seluruh bagian telapak kaki. Perubahan pola pendaratan kaki dapat terjadi saat jarak tempuh terakumulasi, yang memungkinkan perubahan penyerapan tenaga terhadap reaksi permukaan lari (Miller, 2017).

Subjek kedelapan menghasilkan fase kontak awal kaki yang berada terlalu jauh didepan pusat massa tubuh. Posisi pinggang yang relatif dengan bagian paha yang condong ke depan. Posisi sendi lutut yang membentuk diagonal lurus ke anterior yang memperjelas bahwa langkah yang dilakukan berlebihan. Sedangkan pendaratan kaki menggunakan telapak kaki bagian belakang dapat memicu pemogokkan fase pemuatan berlari. Penyebab utama dari kondisi pendaratan telapak kaki belakang dihasilkan dari gaya benturan yang tinggi saat menghantam tanah dengan tumit terlebih dahulu (Hassan et al., 2017).

Subjek kesembilan melakukan fase kontak awal kaki berada jauh terhadap titik pusat massa tubuh. Bagian pinggang yang dominan tegak tetapi bagian paha yang terangkat ke anterior. Fleksi sendi lutut yang mengarah ke ekstensi tibia membuat sendi engkel melampaui ke depan tubuh. Langkah pendaratan kaki menggunakan telapak kaki belakang yang secara akut memperlambat ke fase selanjutnya. Secara konsisten, langkah pendaratan yang lebih lama dengan batang tubuh lebih tegak dikaitkan dengan kehilangan keseimbangan kedepan (Graham et al., 2017). Melalui analisis dari sudut sendi ekstremitas bawah berpotensi melakukan mekanisme pendaratan kaki yang berlebihan.

Subjek kesepuluh menghasilkan sudut sendi ekstremitas bawah dengan kontak awal kaki yang berada jauh dibawah pusat massa tubuh. Secara analisis gerak terdapat persamaan dengan subjek kesembilan. Ditandai dengan bagian paha yang condong ke depan dengan sendi lutut yang cenderung melakukan ekstensi tibia. Kondisi tersebut menempatkan kontak awal kaki lebih jauh didepan sendi panggul. Gerak dorsofleksi yang ditemukan cukup besar terkait dengan momen ekstensor lutut yang mengurangi dorongan untuk melakukan langkah selanjutnya. Peningkatan dorsofleksi pada kontak awal telapak kaki meningkatkan fase propulsi (pemuatan tubuh) yang lebih lama (Sun et al., 2018).

Subjek kesebelas menunjukkan fase kontak awal kaki yang cukup jauh dibawah pusat massa tubuh. Ditandai dengan letak pendaratan telapak kaki belakang membuat sendi engkel lebih maju. Diikuti fleksi sendi lutut cenderung membentuk ekstensi tibia yang lebih condong didepan daripada sendi pinggul termasuk bagian paha dan pinggang. Kondisi dorsofleksi membuat kemiringan telapak kaki menumpu pada bagian belakang, memperjelas kontak awal kaki yang berlebihan dari titik pusat massa tubuh.

Subjek duabelas menunjukkan sudut sendi ekstremitas bawah pada fase kontak awal kaki yang tidak terlalu jauh dibawah pusat massa tubuh. Ditandai dengan postur pinggang yang tegak dan bagian paha yang sedikit condong ke depan. Sudut fleksi sendi lutut menggambarkan

tibia yang cenderung vertikal. Secara khusus, subjek kedua belas secara sudut pada pendaratan kaki menunjukkan gerak dorsofleksi yang kecil, Namun beberapa segmen pendaratan kaki menggunakan seluruh telapak kaki. Identifikasi tersebut memungkinkan kontak awal kaki tidak berlebihan dan pembebanan tubuh dapat berkurang.

Subjek ketigabelas melakukan kontak awal kaki yang berada jauh dibawah pusat massa tubuh. Gerakan yang dilakukan tidak beda jauh dengan subjek kesembilan. Dibuktikan dengan postur pinggang yang cenderung tegak dengan bagian paha yang condong ke depan. Momen tersebut berdampak mengurangi kekuatan reaksi tanah secara vertikal dalam membantu gerakan berikutnya (Patoz et al., 2021). Pada fleksi sendi lutut menggambarkan tibia ekstensi yang berkorelasi dengan letak sendi engkel cenderung didepan pusat massa tubuh. Kemiringan telapak kaki yang menumpu pada bagian tumit menunjukkan gerak dorsofleksi dengan mendaratkan telapak kaki belakang ketika kontak awal.

Subjek keempatbelas menghasilkan sudut sendi ekstremitas bawah pada kontak awal kaki berada jauh dibawah titik pusat masa tubuh. Secara analisis gerak kondisi tungkai bawah dalam posisi yang sangat relatif diagonal lurus ke anterior. Dengan bagian paha yang sedikit condong ke depan dan diikuti pola ekstensi tibia. Sedangkan dorsofleksi sendi engkel meningkatkan tumpuan kontak awal kaki pada telapak kaki belakang. Alasan yang dapat dipertimbangkan bahwa kemiringan yang berpusat pada telapak kaki belakang kurangnya pola langkah mekanis tungkai bawah yang terkait dengan ekonomi berlari (Day & Hahn, 2019). Kondisi tersebut meningkatkan beban tubuh pada bagian lutut

Subjek kelimabelas dideskripsikan kontak awal kaki yang mendarat didepan pusat massa tubuh. Bagian paha yang lebih condong ke depan dengan posisi tibia yang cenderung ekstensi. Peningkatan ekstensi bagian paha disertai batang tubuh yang tegak, cenderung meningkatkan tegangan geser ke depan pada tibia gerakan maju yang berlebihan (Ameer & Muaidi, 2017). Memungkinkan sendi engkel melakukan kemiringan telapak kaki yang melakukan tumpuan pada bagian tumit. Kondisi tersebut menghasilkan pendaratan telapak kaki belakang, karena telapak kaki bagian belakang lebih dekat terhadap permukaan lari.

Pada sudut sendi ekstremitas bawah subjek terbukti menggambarkan panjang langkah yang bervariasi. Kondisi tersebut kemungkinan besar memengaruhi distribusi beban tubuh saat berlari. Kondisi panjang langkah yang berkurang, kemungkinan berdampak positif terhadap rendahnya potensi cedera pada tulang tibia (Anderson et al., 2020). Subjek yang melakukan pendaratan telapak kaki depan (FFS), memungkinkan kontak dengan permukaan lari lebih singkat. Berkaitan dengan aspek parameter langkah, durasi kontak kaki depan yang lebih pendek terhadap permukaan tanah telah dikaitkan dengan efisien berlari yang baik (Santos-Concejero et al., 2014).

Secara umum pola pendaratan telapak kaki depan dikaitkan dengan kekuatan maksimum vertikal yang lebih besar dengan pembebanan lebih rendah pada sendi ekstremitas bawah (Patoz et al., 2020). Terbukti bahwa pola pendaratan telapak kaki depan mengalami sedikit beban lutut, sedangkan pendaratan dengan telapak kaki belakang mengurangi beban pada tendon Achilles (Lyght et al., 2016). Pendaratan dengan kaki depan dikaitkan dengan pengurangan cedera tulang kering pada pelari remaja (Luedke et al., 2016).

Berbeda dengan pendaratan telapak kaki bagian belakang, terjadi kondisi sudut sendi engkel mengalami dorsofleksi yang mendahului telapak kaki belakang. Pola serangan kaki

belakang dapat mengurangi laju berlari yang disebabkan perlambatan fase propulsi atau pemuatan tubuh (Lussiana et al., 2017). Perlu peningkatan intervensi program latihan dari pelatih terkait peningkatan keterampilan langkah berlari. Keterampilan atlet dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode *drill* yang diberikan secara berulang-ulang serta variatif (Setyawati et al., 2022). Pernyataan tersebut dapat diterapkan pada konteks latihan keterampilan langkah kaki saat berlari terkait risiko *overstriding*.

Akhirnya telah diketahui, respon gerak antar sendi ekstremitas bawah saat momen kontak awal kaki yang tidak berlebihan didepan pusat massa tubuh. Dalam kondisi berlari yang terhindar dari ketegangan tungkai bawah serta fase pendaratan kaki yang optimal menghilangkan risiko langkah berlebihan. Penelitian ini bukan tanpa keterbatasan, misalnya hanya menganalisis efek pada kondisi pendaratan kaki terkait langkah berlebihan hanya dari satu sisi lateral. Selain itu, penelitian ini tidak memeriksa aktivasi otot tungkai bawah subjek terkait dampak sementara dari hasil reaksi terhadap permukaan lari dan perubahan mekanis saat fase pendaratan telapak kaki.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan bahwa keseluruhan subjek diperoleh rata-rata nilai sudut pada sendi panggul dengan rentang $25,3^\circ$ yang menghasilkan gerak fleksi. Pada sendi lutut dengan rentang $14,3^\circ$ yang dominan menghasilkan gerak fleksi. Pada sendi engkel terdapat dua kategori, terdiri dari gerak plantarfleksi dan gerak dorsofleksi. Nilai sudut dari gerak plantarfleksi pada rentang $9,2^\circ$, sedangkan nilai sudut dari gerak dorsofleksi pada rentang $12,4^\circ$. Secara karakteristik gerak yang dihasilkan dari ketiga sudut, sebagian besar subjek melakukan fase pendaratan dengan telapak kaki belakang disertai kondisi ekstensi tibia yang mengindikasikan risiko *overstriding*.

Daftar Rujukan

- Almeida, M. O., Davis, I. S., & Lopes, A. D. (2015). Biomechanical differences of foot-strike patterns during running: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(10), 738–755. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.6019>
- Ameer, M. A., & Muaidi, Q. I. (2017). Relation between peak knee flexion angle and knee ankle kinetics in single-leg jump landing from running: a pilot study on male handball players to prevent ACL injury. *The Physician and Sportsmedicine*, 45(3), 337–343. <https://doi.org/10.1080/00913847.2017.1344514>
- Anderson, L. M., Bonanno, D. R., Hart, H. F., & Barton, C. J. (2020). What are the Benefits and Risks Associated with Changing Foot Strike Pattern During Running? A Systematic Review and Meta-analysis of Injury, Running Economy, and Biomechanics. *Sports Medicine*, 50(5), 885–917. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01238-y>
- Day, E. M., & Hahn, M. E. (2019). Increased toe-flexor muscle strength does not alter metatarsophalangeal and ankle joint mechanics or running economy. *Journal of Sports Sciences*, 37(23), 2702–2710. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1661562>
- Folland, J. P., Allen, S. J., Black, M. I., HANDSAKER, J. C., & FORRESTER, S. E. (2017). Running Technique is an Important Component of Running Economy and Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(7), 1412–1423. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001245>
- Fukuchi, R. K., Fukuchi, C. A., & Duarte, M. (2017). A public dataset of running biomechanics and the effects of running speed on lower extremity kinematics and kinetics. *PeerJ*, 2017(5), 3298. <https://doi.org/10.7717/peerj.3298>
- Graham, D. F., Carty, C. P., Lloyd, D. G., & Barrett, R. S. (2017). Muscle contributions to the acceleration of the whole body centre of mass during recovery from forward loss of balance by stepping in young and older adults. *PLOS ONE*, 12(10), e0185564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185564>
- Hamad, M. M. (2017). Using WhatsApp to Enhance Students' Learning of English Language "Experience to Share." *Higher Education Studies*, 7(4), 74. <https://doi.org/10.5539/hes.v7n4p74>

- Hassan, M., Daiber, F., Wiehr, F., Kosmalla, F., & Krüger, A. (2017). FootStriker: An EMS-based Foot Strike Assistant for Running. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 1(1), 1–18. <https://doi.org/10.1145/3053332>
- Jin, L., & Hahn, M. E. (2018). Modulation of lower extremity joint stiffness, work and power at different walking and running speeds. *Human Movement Science*, 58(July 2017), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.01.004>
- Lee, J., Song, Y., & Shin, C. S. (2018). Effect of the sagittal ankle angle at initial contact on energy dissipation in the lower extremity joints during a single-leg landing. *Gait & Posture*, 62, 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.019>
- Lee, S., & Mick, W. (2021). Causes and Prevention of Running-Related Injury: An Engineering Perspective. *International Journal of Sports and Exercise Medicine*, 7(2), 1–12. <https://doi.org/10.23937/2469-5718/1510185>
- Lestari, W. T., & Winarno, M. E. (2020). Efektifitas Waktu Pelaksanaan Pembelajaran Pendidikan Jasmani, Olahraga dan Kesehatan di UPT Sekolah Dasar. *Sport Science and Health*, 2(9), 464–470. <https://doi.org/10.17977/um062v2i92020p464-470>
- Luedke, L. E., Heiderscheit, B. C., Williams, D. S. B., & Rauh, M. J. (2016). Influence of Step Rate on Shin Injury and Anterior Knee Pain in High School Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(7), 1244–1250. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000890>
- Lussiana, T., Gindre, C., Hébert-Losier, K., Sagawa, Y., Gimenez, P., & Mourot, L. (2017). Similar Running Economy With Different Running Patterns Along the Aerial-Terrestrial Continuum. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 481–489. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0107>
- Lyght, M., Nockerts, M., Kernozek, T. W., & Ragan, R. (2016). Effects of Foot Strike and Step Frequency on Achilles Tendon Stress During Running. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(4), 365–372. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0183>
- Miller, R. H. (2017). Joint Loading in Runners Does Not Initiate Knee Osteoarthritis. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 45(2), 87–95. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000105>
- Ngurah, I. G., Aryana, W., Ayu, I., & Artha, A. (2019). *Correlation between knee related injury and biomechanics in distance runners*. 5. <https://doi.org/10.5348/100011003WA2019OA>
- Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. (2015). Purposeful Sampling for Qualitative Data Collection and Analysis in Mixed Method Implementation Research. *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, 42(5), 533–544. <https://doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y>
- Patoz, A., Lussiana, T., Gindre, C., & Mourot, L. (2021). Predicting Temporal Gait Kinematics: Anthropometric Characteristics and Global Running Pattern Matter. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.625557>
- Patoz, A., Lussiana, T., Thouvenot, A., Mourot, L., & Gindre, C. (2020). Duty Factor Reflects Lower Limb Kinematics of Running. *Applied Sciences*, 10(24), 8818. <https://doi.org/10.3390/app10248818>
- Preece, S. J., Bramah, C., & Mason, D. (2019). The biomechanical characteristics of high-performance endurance running. *European Journal of Sport Science*, 19(6), 784–792. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1554707>
- Qiao, M., & Jindrich, D. L. (2016). Leg joint function during walking acceleration and deceleration. *Journal of Biomechanics*, 49(1), 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.11.022>
- Sancho, I., Malliaras, P., Barton, C., Willy, R. W., & Morrissey, D. (2019). Biomechanical alterations in individuals with Achilles tendinopathy during running and hopping: A systematic review with meta-analysis. *Gait and Posture*, 73(November 2018), 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.07.121>
- Santos-Concejero, J., Tam, N., Granados, C., Irazusta, J., Bidaurrezaga-Letona, I., Zabala-Lili, J., & Gil, S. M. (2014). Stride Angle as a Novel Indicator of Running Economy in Well-Trained Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 1889–1895. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000325>
- Setyawati, A., Januarto, O., & Kurniawan, R. (2022). Upaya Meningkatkan Keterampilan Pukulan Forehand Smash Bulutangkis Menggunakan Metode Drill Variasi Bagi Atlet PB. Malang Badminton Club Kota Malang. *Sport Science and Health*, 4(2), 119–130. <https://doi.org/10.17977/um062v4i22022p119-130>

- Sugimoto, D., Brilliant, A. N., d'Hemecourt, D. A., d'Hemecourt, C. A., Morse, J. M., & d'Hemecourt, P. A. (2018). Running mechanics of females with bilateral compartment syndrome. *Journal of Physical Therapy Science*, 30(8), 1056–1062. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.1056>
- Sulowska, I., Mika, A., Oleksy, Ł., & Stolarczyk, A. (2019). The Influence of Plantar Short Foot Muscle Exercises on the Lower Extremity Muscle Strength and Power in Proximal Segments of the Kinematic Chain in Long-Distance Runners. *BioMed Research International*, 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/6947273>
- Sun, X., Yang, Y., Wang, L., Zhang, X., & Fu, W. (2018). Do Strike Patterns or Shoe Conditions Have a Predominant Influence on Foot Loading? *Journal of Human Kinetics*, 64(1), 13–23. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0205>
- Warrener, A., Tamai, R., & Lieberman, D. E. (2021). The effect of trunk flexion angle on lower limb mechanics during running. *Human Movement Science*, 78, 102817. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102817>
- Weir, G., Jewell, C., Wyatt, H., Trudeau, M. B., Rohr, E., Brüggemann, G. P., & Hamill, J. (2019). The influence of prolonged running and footwear on lower extremity biomechanics. *Footwear Science*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/19424280.2018.1539127>
- Willy, R. W., Buchenic, L., Rogacki, K., Ackerman, J., Schmidt, A., & Willson, J. D. (2016). In-field gait retraining and mobile monitoring to address running biomechanics associated with tibial stress fracture. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(2), 197–205. <https://doi.org/10.1111/sms.12413>
- Xu, D., Quan, W., Zhou, H., Sun, D., Baker, J. S., & Gu, Y. (2022). Explaining the differences of gait patterns between high and low-mileage runners with machine learning. *Scientific Reports*, 12(1), 2981. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07054-1>