

PERFORMA FUNGSIONAL DAN KINEMATIKA EKSTREMITAS BAWAH ATLET REMAJA DENGAN CHRONIC ANKLE INSTABILITY: STUDI MATCHED-CONTROL

Dimas Sondang Irawan¹, Anita Faradilla Rahim², Erwanico Syahputra³,
Arif Abdullah⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Fisioterapi, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia
e-mail: dimas@umm.ac.id

Abstract: Chronic Ankle Instability (CAI) is associated with impaired neuromuscular control and altered lower-extremity movement patterns, potentially affecting functional performance in adolescent athletes. However, evidence regarding differences in functional performance and lower-extremity kinematics between adolescent athletes with and without CAI remains limited. To compare functional performance and lower-extremity kinematics between adolescent athletes with and without CAI. A matched-control cross-sectional study was conducted involving 60 adolescent athletes aged 16–17 years, consisting of 30 athletes with CAI and 30 healthy controls matched by age, sex, sport type, and limb dominance. Functional performance was assessed using the Functional Reach Test (FRT), Agility T-Test, 20-m Sprint, Side Hop Test, and Cutting Agility Skill Test (CAST). Lower-extremity kinematics, including knee valgus, ankle dorsiflexion, and hip flexion, were evaluated using two-dimensional (2D) video analysis with Kinovea. Group classification used the Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT; CAI: ≤ 24 ; control: ≥ 28). Group differences were analyzed using the independent samples t-test ($p < 0.05$). Athletes with CAI demonstrated significantly longer Side Hop Test completion time (3.43 ± 0.19 s vs. 2.94 ± 0.15 s; $p < 0.001$), greater knee valgus ($14.43 \pm 2.56^\circ$ vs. $8.92 \pm 1.60^\circ$; $p < 0.001$), lower ankle dorsiflexion ($27.84 \pm 3.99^\circ$ vs. $35.67 \pm 2.61^\circ$; $p < 0.001$), and lower hip flexion ($41.43 \pm 3.59^\circ$ vs. $48.05 \pm 2.09^\circ$; $p < 0.001$) than healthy controls. No significant differences were observed in FRT, Agility T-Test, 20-m Sprint, or CAST (all $p > 0.05$). Adolescent athletes with CAI exhibited impaired lateral hopping performance and altered lower-extremity kinematics—specifically greater knee valgus, restricted ankle dorsiflexion, and reduced hip flexion—compared with healthy controls. These findings indicate that CAI is more strongly associated with changes in movement patterns and dynamic stability across the lower-extremity kinetic chain than with global functional performance.

Keywords: *chronic ankle instability*, functional performance, kinematics, *Kinovea*, adolescent athletes

Abstrak: *Chronic Ankle Instability* (CAI) mengganggu kontrol neuromuskular dan stabilitas dinamis pada atlet remaja, disertai bukti yang berkembang mengenai perubahan pola gerak ekstremitas bawah yang menyertainya. Membandingkan performa fungsional dan kinematika ekstremitas bawah antara atlet remaja dengan dan tanpa CAI. *Matched-control cross-sectional* pada 60 atlet remaja usia 16–17 tahun (30 CAI, 30 kontrol) yang dipasangkan berdasarkan usia, jenis kelamin, cabang olahraga, dan dominansi tungkai. Performa fungsional diukur menggunakan *Functional Reach Test* (FRT), *Agility T-Test*, *Sprint* 20 meter, *Side Hop Test*, dan *Cutting Agility Skill Test* (CAST). Kinematika ekstremitas bawah (*knee valgus*, *dorsiflexion ankle*, *hip flexion*) dinilai melalui analisis video 2D menggunakan perangkat lunak *Kinovea* selama tugas fungsional. Klasifikasi kelompok menggunakan *Cumberland Ankle Instability Tool* (CAIT; CAI: ≤ 24 ; kontrol: ≥ 28). Analisis statistik menggunakan *independent t-test* ($p < 0,05$). Kelompok CAI menunjukkan waktu *Side Hop Test* lebih lama ($3,43 \pm 0,19$ dtk vs. $2,94 \pm 0,15$ dtk; $p < 0,001$; $d = 2,88$), *knee valgus* lebih besar ($14,43 \pm 2,56^\circ$ vs. $8,92 \pm 1,60^\circ$; $p < 0,001$; $d = 2,58$), *dorsiflexion ankle* lebih kecil ($27,84 \pm 3,99^\circ$ vs. $35,67 \pm 2,61^\circ$; $p < 0,001$; $d = 2,32$), dan *hip flexion* lebih kecil ($41,43 \pm 3,59^\circ$ vs. $48,05 \pm 2,09^\circ$; $p < 0,001$; $d = 2,26$). Tidak terdapat perbedaan signifikan pada FRT, *T-Test*, *Sprint*, dan CAST. CAI pada atlet remaja berhubungan dengan defisit performa lompatan lateral reaktif dan perubahan kinematika multi-segmental yang melibatkan seluruh rantai kinetik ekstremitas bawah. Integrasi *Side Hop Test* dan skrining kinematika 2D direkomendasikan dalam asesmen fungsional atlet remaja dengan riwayat instabilitas pergelangan kaki.

Kata kunci: *chronic ankle instability*, performa fungsional, kinematika, *Kinovea*, atlet remaja

PENDAHULUAN

Cedera *lateral ankle sprain* (LAS) merupakan salah satu cedera *musculoskeletal* yang paling sering terjadi pada atlet, terutama pada cabang olahraga yang melibatkan lompatan, perubahan arah secara cepat, dan pendaratan berulang (Doherty et al., 2017). Meskipun sebagian besar atlet dapat kembali berolahraga setelah fase akut, sekitar 40% berkembang menjadi *chronic ankle instability* (CAI), kondisi yang ditandai oleh episode *giving way*, instabilitas berulang, nyeri *persistent*, serta penurunan fungsi setelah cedera awal (Donovan et al., 2020). Kondisi ini tidak hanya meningkatkan risiko cedera berulang, tetapi juga berhubungan dengan penurunan performa olahraga, keterbatasan aktivitas fisik, serta peningkatan risiko *osteoarthritis* pergelangan kaki pada usia yang lebih muda (Gribble et al., 2016).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa CAI bukan hanya merupakan gangguan lokal pada sendi pergelangan kaki, melainkan juga mempengaruhi fungsi neuromuskular seluruh ekstremitas bawah. Individu dengan CAI dilaporkan mengalami penurunan *proprioepsi*, gangguan kontrol sensorimotor, keterlambatan aktivasi otot *peroneal*, serta perubahan strategi kontrol postural selama aktivitas dinamis (Delahunt et al., 2018; Mendez-Rebolledo et al., 2024). Defisit tersebut mengubah mekanisme stabilisasi selama fase *landing*, *cutting*, maupun perubahan arah sehingga mempengaruhi pola gerak pada sendi lutut dan panggul sebagai bagian dari rantai kinetik bawah (Dong et al., 2024).

Perubahan kontrol neuromuskular tersebut sering disertai perubahan kinematika ekstremitas bawah, antara lain peningkatan sudut *knee valgus*, keterbatasan *ankle dorsiflexion*, dan perubahan *hip flexion* selama tugas fungsional (Hakimi Poor et al., 2022; Yu et al., 2022). Adaptasi tersebut diperkirakan merupakan mekanisme kompensasi untuk

mempertahankan stabilitas ketika sendi pergelangan kaki tidak lagi mampu memberikan kontrol mekanis maupun sensorimotor secara optimal. Akibatnya, gangguan yang awalnya terjadi pada sendi distal dapat mempengaruhi koordinasi gerak seluruh ekstremitas bawah selama aktivitas olahraga (Luan et al., 2024).

Berbagai instrumen telah digunakan untuk mengevaluasi konsekuensi fungsional CAI. Tes seperti *Functional Reach Test* (FRT), *Agility T-Test*, *Side Hop Test*, dan *Cutting Agility Skill Test* (CAST) mampu menilai aspek keseimbangan dinamis, kelincahan, maupun kemampuan melakukan gerakan eksplosif yang sering digunakan dalam praktik fisioterapi olahraga (Koshino et al., 2016; Remus & Caulfield, 2017). Selain evaluasi performa fungsional, analisis kinematika dua dimensi (*2D motion analysis*) menggunakan perangkat lunak *Kinovea* mulai banyak digunakan karena lebih sederhana, murah, dan mudah diaplikasikan dibandingkan sistem analisis gerak tiga dimensi, sehingga memiliki potensi sebagai metode skrining di lapangan maupun praktik klinis (Remus & Caulfield, 2017).

Meskipun demikian, penelitian terdahulu umumnya hanya berfokus pada salah satu aspek, performa fungsional atau kinematika ekstremitas bawah secara terpisah. Sebagian besar penelitian juga dilakukan pada populasi dewasa atau menggunakan sistem analisis gerak tiga dimensi yang memerlukan laboratorium biomekanika dengan biaya tinggi (Donahue & Herb, 2017; Luan et al., 2024). Bukti mengenai hubungan antara performa fungsional dan perubahan kinematika ekstremitas bawah pada atlet remaja dengan CAI menggunakan pendekatan analisis video dua dimensi yang lebih aplikatif di lapangan masih relatif terbatas, sehingga bukti ilmiah yang dapat langsung diterapkan pada proses skrining dan evaluasi atlet remaja belum memadai.

Kebaharuan penelitian ini terletak pada integrasi penilaian performa fungsional menggunakan lima instrumen klinis (*Functional Reach Test*, *Agility T-Test*, *Sprint 20m*, *Side Hop Test*, dan *Cutting Agility Skill Test*) dengan analisis kinematika dua dimensi berbasis *Kinovea* dalam satu desain *matched-control* pada atlet remaja. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap perubahan fungsi dan pola gerak akibat CAI menggunakan metode yang lebih mudah diaplikasikan pada lingkungan olahraga maupun pelayanan fisioterapi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan performa fungsional dan kinematika ekstremitas bawah antara atlet remaja dengan dan tanpa *chronic ankle instability*.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain *matched-control cross-sectional* untuk membandingkan performa fungsional dan kinematika ekstremitas bawah antara atlet remaja dengan dan tanpa CAI. Sebanyak 60 atlet remaja usia 16–17 tahun berpartisipasi dari beberapa SMA di kota Malang, Jawa Timur, terdiri dari 30 atlet dengan CAI dan 30 atlet sehat sebagai kelompok kontrol yang dipasangkan berdasarkan usia, jenis kelamin, cabang olahraga, dan dominansi tungkai.

Kriteria inklusi: usia 16–17 tahun; aktif kompetitif minimal dua tahun; skor *Cumberland Ankle Instability Tool* (CAIT) ≤ 24 untuk kelompok CAI [10] atau ≥ 28 untuk kelompok kontrol. Kriteria eksklusi: riwayat fraktur atau tindakan operatif pada ekstremitas bawah, gangguan neurologis, cedera lutut atau pinggul dalam enam bulan terakhir, serta tidak mampu mengikuti seluruh prosedur pengukuran. Penelitian telah mendapatkan persetujuan etik No. E.4.d/114/KEPK/FIKES-UMM/XII/2024 dan seluruh partisipan beserta wali menandatangani *informed consent*.

Pengukuran Performa Fungsional

Performa fungsional dievaluasi menggunakan lima instrumen klinis. *Functional Reach Test* (FRT) mengukur jarak jangkauan anterior maksimal pada posisi berdiri satu tungkai (cm). *Agility T-Test* mengukur waktu tempuh lintasan berbentuk huruf T yang mencakup gerakan maju, lateral, dan mundur (detik). *Sprint 20m* mengukur kecepatan lari linear maksimal (detik). *Side Hop Test* mengukur waktu penyelesaian 14 lompatan lateral melewati garis 30 cm menggunakan satu tungkai (detik); nilai lebih singkat menunjukkan performa lebih baik. *Cutting Agility Skill Test* (CAST) mengukur waktu penyelesaian lintasan kelincahan dengan manuver *cutting* berulang yang menyerupai tuntutan olahraga (detik). Seluruh pengukuran dilakukan oleh fisioterapis terlatih sesuai protokol standar (Remus & Caulfield, 2017).

Analisis Kinematika

Kinematika ekstremitas bawah dianalisis menggunakan analisis video dua dimensi berbasis perangkat lunak *Kinovea* versi 0.9.5. Perekaman dilakukan menggunakan kamera digital dengan *frame rate* 60 Hz yang diposisikan tegak lurus terhadap bidang gerak pada jarak yang terstandar untuk seluruh partisipan guna meminimalkan kesalahan perspektif. Analisis dilakukan selama pelaksanaan *Side Hop Test* pada tungkai yang diuji. Variabel yang diukur meliputi: (1) sudut *knee valgus* pada fase *landing*, yaitu sudut frontal antara segmen femur dan tibia; (2) sudut *ankle dorsiflexion* pada fase *mid-stance*, yaitu sudut antara segmen tibia dan kaki; dan (3) sudut *hip flexion* pada fase awal *take-off*, yaitu sudut antara segmen batang tubuh dan femur. Penanda anatomis ditempatkan pada *anterior superior iliac spine*, titik tengah patella, *lateral malleolus*, dan basis metatarsal kelima untuk mempermudah digitalisasi sudut. Seluruh analisis dilakukan oleh satu penilai yang tidak mengetahui status kelompok partisipan (*blinded assessor*).

Analisis Statistik

Analisis menggunakan IBM SPSS 23. Normalitas data diuji dengan *Shapiro-Wilk*. Perbedaan antar kelompok diuji menggunakan *independent samples t-test* ($\alpha = 0,05$). *Effect size* dihitung menggunakan Cohen's *d* dengan interpretasi: kecil (0,2), sedang (0,5), besar ($\geq 0,8$) (Cohen, 1988).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebanyak 60 atlet remaja memenuhi kriteria penelitian dan seluruhnya menyelesaikan prosedur pengukuran. Hasil penelitian disajikan dalam tiga bagian, yaitu karakteristik partisipan, perbandingan performa fungsional, dan perbandingan kinematika ekstremitas bawah antara kelompok CAI dan kelompok kontrol.

Hasil Penelitian

Karakteristik Partisipan

Table 1 Karakteristik Partisipan

Variable	CAI (n=30)	Kontrol (n=30)
Usia (tahun)	16,37 ± 0,49	16,37 ± 0,49
TB (cm)	170,33 ± 3,79	168,60 ± 3,45
BB (kg)	61,13 ± 4,46	61,73 ± 4,50
BMI (kg/m ²)	21,10 ± 1,84	21,76 ± 2,05
Skor CAIT	18,73 ± 1,55	29,37 ± 0,72

Sumber: Data Primer, 2024. IMT = indeks massa tubuh; CAIT = *Cumberland Ankle Instability Tool*. * $p < 0,001$

Tabel 1 menunjukkan bahwa karakteristik dasar kedua kelompok relatif sebanding. Tidak terdapat perbedaan bermakna pada usia ($p = 1,000$), tinggi badan ($p = 0,069$), berat badan ($p = 0,606$), maupun indeks massa tubuh ($p = 0,194$), yang mengkonfirmasi keberhasilan prosedur *matching* (Donovan et al., 2020). Sebaliknya, skor CAIT berbeda secara signifikan antara kelompok CAI dan kontrol ($p < 0,001$), mengonfirmasi bahwa klasifikasi kelompok sesuai dengan kriteria penelitian (Hale & Hertel, 2008).

Peforma Fungsional

Table 2 Perbandingan Performa Fungsional Antar Kelompok

Variable	CAI	Kontrol	P	d
FRT (cm)	50,94 ± 5,90	50,87 ± 4,57	0,956	0,01
Agility T-Test (detik)	10,83 ± 0,84	11,23 ± 1,41	0,180	-0,35
Sprint 20m (detik)	4,65 ± 0,58	4,43 ± 0,69	0,184	0,35
Side Hop Test (detik)	3,43 ± 0,19	2,94 ± 0,15	<0,001*	2,88
CAST (detik)	11,30 ± 0,95	11,17 ± 1,12	0,649	0,12

Sumber: Data Primer, 2024. * $p < 0,001$; *d* = Cohen's *d*. Nilai negatif *d* menunjukkan kelompok Kontrol lebih cepat

Tabel 2 menunjukkan bahwa dari lima parameter performa fungsional yang dievaluasi, hanya *Side Hop Test* yang menunjukkan perbedaan bermakna antara kelompok CAI dan kontrol ($p < 0,001$). Kelompok CAI membutuhkan waktu penyelesaian yang lebih lama dibandingkan kelompok kontrol. Sebaliknya, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan pada *Functional Reach Test* (FRT), *Agility T-Test*, *Sprint 20 meter*, maupun *Cutting Agility Skill Test* (CAST) (seluruh $p > 0,05$).

Kinematika Ekstremitas Bawah

Table 3 Perbandingan Kinematika Ekstremitas Bawah Antar Kelompok

Variable Kinematis	CAI	Kontrol	p	d
Knee Valgus (°)	14,43 ± 2,56	8,92 ± 1,60	<0,001*	2,58
Dorsiflexion Ankle (°)	27,84 ± 3,99	35,67 ± 2,61	<0,001*	-2,32
Hip Flexion (°)	41,43 ± 3,59	48,05 ± 2,09	<0,001*	-2,26

Sumber: Data Primer, 2024. * $p < 0,001$; *d* = Cohen's *d*. Nilai negatif *d* menunjukkan CAI < Kontrol

Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh variabel kinematika ekstremitas bawah berbeda secara signifikan antara kedua kelompok. Atlet dengan CAI menunjukkan

sudut *knee valgus* yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol ($p < 0,001$). Sebaliknya, sudut *ankle dorsiflexion* dan *hip flexion* pada kelompok CAI lebih kecil dibandingkan kelompok kontrol (keduanya $p < 0,001$). Ketiga variabel menunjukkan *effect size* yang besar berdasarkan nilai Cohen's *d*.

Pembahasan

Penelitian ini bertujuan membandingkan performa fungsional dan kinematika ekstremitas bawah antara atlet remaja dengan dan tanpa CAI. Temuan utama menunjukkan bahwa hanya *Side Hop Test* yang mampu membedakan performa fungsional kedua kelompok, sedangkan FRT, *Agility T-Test*, *Sprint 20 meter*, dan CAST tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna. Sebaliknya, seluruh parameter kinematika yang dievaluasi, *knee valgus*, *dorsiflexion ankle*, dan *hip flexion* berbeda secara signifikan antara kelompok CAI dan kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa pada atlet remaja, perubahan biomekanika ekstremitas bawah lebih konsisten terdeteksi dibandingkan perubahan performa fungsional global.

Perbedaan yang ditemukan pada *Side Hop Test* kemungkinan disebabkan oleh karakteristik tugas yang memberikan tuntutan tinggi terhadap stabilitas dinamis unilateral, kontrol sensorimotor, dan kemampuan menghasilkan respons neuromuskular secara cepat selama siklus *landing-take-off* yang berulang. Berbeda dengan tes kelincahan yang memiliki pola gerakan lebih terprediksi, *Side Hop Test* memerlukan pengendalian gerak pada bidang frontal secara berulang sehingga lebih sensitif dalam mengevaluasi konsekuensi fungsional CAI. Defisit *proprioepsi*, keterlambatan aktivasi otot *peroneal*, serta *arthrogenic muscle inhibition* yang telah banyak dilaporkan pada individu dengan CAI berkontribusi terhadap performa yang lebih rendah pada kelompok CAI (Mendez-Rebolledo et al., 2024; Dong et al., 2024). Liu et al. (2024)

menemukan bahwa defisit *proprioepsi* semacam ini berkorelasi langsung dengan gangguan stabilitas postural dinamis, terutama saat respons harus cepat.

Tidak ditemukannya perbedaan pada FRT, *Agility T-Test*, *Sprint 20 meter*, dan CAST menunjukkan bahwa tidak seluruh komponen performa fungsional mengalami penurunan pada atlet remaja dengan CAI. Salah satu kemungkinan adalah tingginya kapasitas adaptasi neuromuskular pada populasi remaja. Atlet usia remaja masih berada pada fase perkembangan neuromuskular sehingga mampu mengembangkan strategi kompensasi melalui peningkatan kontribusi sendi proksimal dan perubahan koordinasi gerak untuk mempertahankan performa pada tugas yang bersifat terencana (*anticipated tasks*) (Donahue & Herb, 2017; Luan et al., 2024). Selain itu, sebagian besar tes tersebut mengevaluasi kemampuan gerak secara global, sehingga defisit spesifik akibat instabilitas pergelangan kaki dapat tertutupi oleh kontribusi sistem muskuloskeletal lainnya (Koshino et al., 2016). Temuan ini konsisten dengan proposisi bahwa CAI tidak selalu mempengaruhi seluruh domain performa olahraga, tetapi lebih nyata pada aktivitas yang menuntut stabilisasi cepat di bidang frontal (Yu et al., 2022).

Perubahan kinematika yang ditemukan pada penelitian ini memperlihatkan adanya perubahan strategi kontrol gerak pada seluruh rantai kinetik. Sudut *knee valgus* yang lebih besar pada kelompok CAI mencerminkan kecenderungan kolaps medial selama fase *landing*, yang kemungkinan merupakan bentuk *proximal compensation* terhadap berkurangnya stabilitas mekanis dan sensorimotor pada sendi pergelangan kaki (Hakimi Poor et al., 2022; Yu et al., 2022). Keterbatasan *dorsiflexion ankle* mengurangi kemampuan menyerap gaya reaksi tanah, sehingga beban mekanik dialihkan ke sendi yang lebih proksimal, sebuah konsekuensi yang konsisten dilaporkan dalam literatur CAI (Koshino et al., 2016; Luan et al.,

2024). Penurunan *hip flexion* pada fase *take-off* mengindikasikan berkurangnya kemampuan melakukan strategi fleksi batang tubuh dan panggul untuk mendistribusikan beban selama gerakan dinamis. Secara keseluruhan, temuan ini mendukung konsep bahwa CAI merupakan gangguan yang mempengaruhi fungsi seluruh rantai kinetik ekstremitas bawah, bukan hanya sendi pergelangan kaki (Delahunt et al., 2018; Tedeschi et al., 2024).

Dari perspektif klinis, evaluasi atlet dengan CAI sebaiknya tidak hanya difokuskan pada sendi pergelangan kaki. Pemeriksaan pola gerak ekstremitas bawah, khususnya *knee valgus*, *dorsiflexion ankle*, dan *hip flexion*, dapat memberikan informasi tambahan mengenai strategi kompensasi yang berkembang setelah cedera. Selain itu, *Side Hop Test* dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari skrining fungsional karena kemampuannya membedakan atlet dengan dan tanpa CAI dalam penelitian ini, sejalan dengan rekomendasi rehabilitasi berbasis fungsional yang semakin berkembang (Yalfani et al., 2024; Tedeschi et al., 2024).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, Penelitian ini menunjukkan bahwa atlet remaja dengan *Chronic Ankle Instability* (CAI) memiliki perubahan kinematika ekstremitas bawah yang ditandai dengan peningkatan *knee valgus* serta penurunan *dorsiflexion ankle* dan *hip flexion* selama pelaksanaan *Side Hop Test*. Dari lima parameter performa fungsional yang dievaluasi, hanya *Side Hop Test* yang menunjukkan perbedaan bermakna antara kedua kelompok. Temuan ini mengindikasikan bahwa CAI pada atlet remaja lebih berkaitan dengan perubahan pola gerak dan stabilitas dinamis yang melibatkan rantai kinetik ekstremitas bawah daripada penurunan performa fungsional secara global. Oleh karena itu, evaluasi atlet dengan CAI sebaiknya mempertimbangkan penilaian performa fungsional dan analisis kinematika secara bersamaan untuk

memperoleh gambaran fungsi gerak yang lebih komprehensif.

Desain *cross-sectional* tidak memungkinkan penentuan hubungan sebab-akibat antara CAI dan perubahan kinematika. Kedua, analisis gerak dilakukan menggunakan sistem video dua dimensi sehingga tidak dapat menangkap komponen rotasi tiga dimensi secara menyeluruh; *effect size* yang sangat besar pada variabel kinematika dalam studi ini mungkin sebagian mencerminkan perbedaan metodologis dibandingkan sistem analisis 3D, dan perlu diinterpretasikan dengan hati-hati. Ketiga, seluruh partisipan merupakan atlet remaja sehingga generalisasi ke populasi dewasa atau kelompok atlet lainnya memerlukan penelitian lebih lanjut.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa atlet remaja dengan *Chronic Ankle Instability* (CAI) memiliki perubahan kinematika ekstremitas bawah yang ditandai dengan peningkatan *knee valgus* serta penurunan *dorsiflexion ankle* dan *hip flexion* selama pelaksanaan *Side Hop Test*. Dari lima parameter performa fungsional yang dievaluasi, hanya *Side Hop Test* yang menunjukkan perbedaan bermakna antara kedua kelompok. Temuan ini mengindikasikan bahwa CAI pada atlet remaja lebih berkaitan dengan perubahan pola gerak dan stabilitas dinamis yang melibatkan rantai kinetik ekstremitas bawah daripada penurunan performa fungsional secara global. Oleh karena itu, evaluasi atlet dengan CAI sebaiknya mempertimbangkan penilaian performa fungsional dan analisis kinematika secara bersamaan untuk memperoleh gambaran fungsi gerak yang lebih komprehensif.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain prospektif atau longitudinal untuk mengevaluasi

perkembangan perubahan kinematika setelah cedera pergelangan kaki serta hubungannya dengan kejadian cedera berulang. Penggunaan sistem analisis gerak tiga dimensi dan penambahan pemeriksaan aktivitas otot menggunakan *electromyography* (EMG) dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme biomekanik dan neuromuskular pada individu dengan CAI (Mendez-Rebolledo et al., 2024; Dong et al., 2024). Selain itu, penelitian dengan jumlah sampel yang lebih besar serta melibatkan berbagai cabang olahraga diperlukan untuk meningkatkan generalisasi hasil penelitian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh atlet yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini serta kepada Universitas Muhammadiyah Malang atas dukungan pendanaan dan fasilitas penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Delahunt, E., Coughlan, G. F., Caulfield, B., Fullam, K., & Donahue, M. (2018). Reconceptualizing functional ankle instability. *British Journal of Sports Medicine*, 52(4), 205–206. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097667>
- Doherty, C., Bleakley, C., Delahunt, E., & Holden, S. (2017). Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(2), 113–125. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096178>
- Donahue, M., & Herb, C. C. (2017). Kinematic difference during anticipated and unanticipated landing in subjects with chronic ankle instability. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 47(1), P1. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.47.1.P1>
- Dong, S., Liu, Y., Liu, Z., Han, J., & Zhong, H. (2024). Can Arthrogenic Muscle Inhibition Exist In Peroneal Muscles Among People With Chronic Ankle Instability? A Cross-Sectional Study. *Sports Medicine – Open*, 10(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00711-3>
- Donovan, L., Hetzel, S., & McGuine, T. A. (2020). Prevalence and impact of chronic ankle instability in adolescent athletes. *Journal of Athletic Training*, 55(5), 468–474. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-372-18>
- Gribble, P. A., Bleakley, C. M., Caulfield, B. M., Docherty, C. L., Fouchet, F., Fong, D. T., Delahunt, E. (2016). Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1496–1505. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096189>
- Hakimi Poor, R., Rajabi, R., Karimi, N., & Ebrahimi, I. (2022). Kinematic changes of the lower limb in individuals with chronic ankle instability during a jump landing task. *Journal of Biomechanics*, 135, 110984. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.110984>
- Hale, S. A., & Hertel, J. (2008). Reliability and sensitivity of the Foot and Ankle Disability Index in subjects with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 43(2), 152–158. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.2.152>

- Koshino, Y., Ishida, K., Inoue, K., Erni, M., Samukawa, M., & Tohyama, H. (2016). Kinematics and muscle activities of the lower limb during a drop vertical jump in athletes with chronic ankle instability. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(3), 823–828. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.823>
- Liu, Y., Dong, S., Wang, Q., Han, J., & Xue, X. (2024). Deficits in proprioception and strength may contribute to the impaired postural stability among individuals with functional ankle instability. *Frontiers in Physiology*, 15, 1342636. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1342636>
- Luan, L., Orth, D., Newman, P., Adams, R., El-Ansary, D., & Han, J. (2024). Do individuals with ankle instability show altered lower extremity kinematics and kinetics during walking? A systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*, 125, 101420. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2024.101420>
- Mendez-Rebolledo, G., Guzman-Munoz, E., Gatica-Rojas, V., Núñez-Espinosa, C., & Quiroz-Troncoso, J. (2024). Individuals with chronic ankle instability show altered regional activation of the peroneus longus muscle during ankle eversion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(1), e14535. <https://doi.org/10.1111/sms.14535>
- Remus, A., & Caulfield, B. (2017). The effects of chronic ankle instability on kinetics, kinematics and muscle activation during dynamic tasks. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, S39. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.022>
- Tedeschi, R., Ricci, V., Tarantino, D., Scaturro, D., & Iannella, G. (2024). Rebuilding stability: exploring the best rehabilitation methods for chronic ankle instability. *Sports*, 12(10), 272. <https://doi.org/10.3390/sports12100272>
- Yalfani, A., Azizian, M., & Gholami-Borujeni, B. (2024). Adding neurofeedback training to neuromuscular training for rehabilitation of chronic ankle instability: A 3-arm randomized controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 66, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2024.01.006>
- Yu, P., Mei, Q., Xiang, L., Fernandez, J., & Gu, Y. (2022). Differences in the locomotion biomechanics and dynamic postural control between individuals with chronic ankle instability and copers: a systematic review. *Sports Biomechanics*, 21(4), 531–549. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1689642>