

## Analisis Biomekanika Teknik Tendangan Lurus terhadap Risiko Cedera Muskuloskeletal Ekstremitas Bawah pada Atlet Pencak Silat FIKK UNM

Fahrizal<sup>1</sup>, Khaerani Kamil<sup>2\*</sup>, Dino Rizadman Rahia<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Fakultas Ilmu keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [khaerani.kamil@unm.ac.id](mailto:khaerani.kamil@unm.ac.id)

**Abstract.** Lower-extremity musculoskeletal injuries are common in sports characterized by explosive movements and repetitive kicking activities, including pencak silat. The straight kick is one of the commonly used attacking techniques and requires speed, intersegmental coordination, and the ability to maintain the stability of the supporting leg. This study aimed to analyze the biomechanical characteristics of the straight-kick technique and determine the relationship between biomechanical parameters and indicators of lower-extremity neuromuscular control associated with the risk of musculoskeletal injury among pencak silat athletes at FIKK UNM. This study employed a quantitative observational cross-sectional design involving 20 active pencak silat athletes aged 18–25 years selected through purposive sampling. Kicking movements were recorded in the sagittal and frontal planes and analyzed using Kinovea software to obtain hip, knee, and ankle joint angles, lower-limb segment velocity, and the Frontal Plane Projection Angle (FPPA) of the supporting leg. Neuromuscular control was assessed using the Single Leg Squat Test (SLST). Data were analyzed using descriptive analysis, the Shapiro–Wilk normality test, and Pearson or Spearman correlation tests. The results showed a very strong positive relationship between SLST FPPA and supporting-leg FPPA during the straight kick ( $r=0.885$ ;  $p<0.001$ ), whereas the kicking-leg parameters showed no significant relationships ( $p>0.05$ ). These findings indicate that frontal-plane control of the supporting leg assessed through the SLST is associated with lower-extremity alignment during the straight kick and may support physiotherapy-based injury prevention strategies for pencak silat athletes.

**Keywords:** Martial Arts; Musculoskeletal Injury Risk; SLST; Sports Biomechanics; Straight Kick.

**Abstrak.** Cedera muskuloskeletal ekstremitas bawah merupakan permasalahan yang sering terjadi pada olahraga dengan karakteristik gerakan eksplosif dan aktivitas menendang berulang, termasuk pencak silat. Tendangan lurus merupakan salah satu teknik serangan yang sering digunakan dan membutuhkan kecepatan, koordinasi antarsegmen tubuh, serta kemampuan mempertahankan stabilitas kaki tumpu. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik biomekanika teknik tendangan lurus serta mengetahui hubungan antara parameter biomekanika dengan indikator kontrol neuromuskular ekstremitas bawah yang berkaitan dengan risiko cedera muskuloskeletal pada atlet pencak silat FIKK UNM. Penelitian menggunakan desain kuantitatif observasional cross-sectional pada 20 atlet pencak silat aktif berusia 18–25 tahun yang dipilih melalui purposive sampling. Gerakan tendangan direkam pada bidang sagital dan frontal kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Kinovea untuk memperoleh sudut sendi panggul, lutut, pergelangan kaki, kecepatan segmen tungkai, serta Frontal Plane Projection Angle (FPPA) kaki tumpu. Kontrol neuromuskular dinilai menggunakan Single Leg Squat Test (SLST). Analisis data dilakukan menggunakan analisis deskriptif, uji normalitas Shapiro–Wilk, serta korelasi Pearson atau Spearman. Hasil menunjukkan hubungan positif sangat kuat antara FPPA SLST dan FPPA kaki tumpu saat tendangan lurus ( $r=0,885$ ;  $p<0,001$ ), sedangkan parameter kaki tendang tidak menunjukkan hubungan signifikan ( $p>0,05$ ). Temuan ini menunjukkan bahwa kontrol bidang frontal kaki tumpu yang dinilai melalui SLST berkaitan dengan alignment ekstremitas bawah saat tendangan lurus dan dapat mendukung strategi pencegahan cedera berbasis fisioterapi olahraga pada atlet pencak silat.

**Kata Kunci:** Biomekanika Olahraga; Pencak Silat; Risiko Cedera Muskuloskeletal; SLST; Tendangan Lurus.

### 1. LATAR BELAKANG

Pencak silat merupakan olahraga bela diri yang menuntut kombinasi kecepatan, kekuatan, dan koordinasi gerak tinggi, khususnya pada teknik serangan bertumpu pada tungkai seperti tendangan. Karakteristik gerakan eksplosif dan repetitif pada aktivitas menendang menjadikan atlet pencak silat rentan mengalami cedera muskuloskeletal pada ekstremitas bawah (Bridge et al., 2020; Lystad et al., 2020). Teknik tendangan lurus banyak digunakan

dalam pertandingan karena efektivitasnya, namun teknik ini membutuhkan stabilitas kaki tumpu yang optimal agar gaya reaksi yang dihasilkan tidak membebani struktur sendi secara berlebihan.

Berbagai kajian biomekanika olahraga bela diri menunjukkan bahwa karakteristik gerak menendang, termasuk sudut sendi dan distribusi beban pada ekstremitas bawah, berkontribusi terhadap risiko cedera muskuloskeletal atlet (Pojskić et al., 2020; Estevan & Falco, 2022). Ketidakstabilan kaki tumpu yang ditandai dengan dynamic knee valgus yang tinggi berpotensi meningkatkan beban mekanik pada ligamen dan sendi lutut, sehingga berkontribusi terhadap risiko cedera serius seperti cedera anterior cruciate ligament (ACL) pada atlet olahraga berbasis gerakan eksplosif (Brophy et al., 2021). Meskipun demikian, kajian yang secara spesifik menghubungkan karakteristik biomekanika teknik tendangan lurus dengan indikator kontrol neuromuskular kaki tumpu pada atlet pencak silat masih terbatas.

Biomekanika olahraga modern tidak hanya berfokus pada kemampuan menghasilkan performa maksimal, tetapi juga pada identifikasi pola gerakan yang dapat meningkatkan beban mekanik pada sistem muskuloskeletal. Pada atlet, kemampuan mempertahankan kontrol gerakan selama aktivitas dinamis menjadi aspek penting karena banyak cabang olahraga melibatkan gerakan unilateral, akselerasi, deselerasi, perubahan arah, dan gerakan eksplosif. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kemampuan tersebut adalah pemeriksaan fungsional berbasis gerakan, seperti Single Leg Squat Test (SLST).

Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan skrining fungsional yang aplikatif dan efisien di lapangan, seperti Single Leg Squat Test (SLST), untuk menilai kontrol neuromuskular kaki tumpu secara kuantitatif melalui pengukuran Frontal Plane Projection Angle (FPPA) (Bridge et al., 2020; Knudson, 2021). SLST merupakan pemeriksaan fungsional yang mampu menggambarkan kemampuan individu dalam mempertahankan stabilitas ekstremitas bawah ketika menerima beban pada satu kaki. Gerakan ini membutuhkan integrasi antara kontrol batang tubuh, stabilitas panggul, kontrol femur, serta kemampuan mempertahankan alignment lutut dan pergelangan kaki. Oleh karena itu, SLST sering digunakan dalam bidang fisioterapi olahraga sebagai metode skrining untuk mengidentifikasi gangguan kontrol neuromuskular yang berpotensi memengaruhi kualitas gerakan atlet (Jamaludin et al., 2022).

Pada analisis biomekanika, salah satu parameter yang sering digunakan selama SLST adalah Frontal Plane Projection Angle (FPPA). Parameter ini memberikan informasi mengenai perubahan posisi lutut pada bidang frontal dan sering digunakan sebagai pendekatan praktis untuk mengevaluasi kecenderungan dynamic knee valgus (DKV). Penggunaan FPPA melalui

analisis video dua dimensi memiliki keuntungan karena mudah diterapkan pada lingkungan olahraga tanpa memerlukan sistem motion capture tiga dimensi yang kompleks (Straub & Powers, 2022).

Deteksi dini faktor risiko cedera melalui pendekatan biomekanika menjadi penting sebagai dasar pengembangan strategi pencegahan cedera pada atlet olahraga bela diri (Hulme & Finch, 2022; Fortington et al., 2021). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik biomekanika teknik tendangan lurus serta mengidentifikasi hubungan antara parameter biomekanika tersebut dengan indikator biomekanika yang berkaitan dengan risiko cedera muskuloskeletal ekstremitas bawah pada atlet pencak silat FIKK UNM.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Biomekanika Teknik Tendangan dalam Olahraga Bela Diri**

Biomekanika olahraga adalah ilmu yang mempelajari gaya internal dan eksternal yang bekerja pada tubuh manusia serta pengaruhnya terhadap gerak (Knudson, 2021). Dalam konteks olahraga bela diri, analisis biomekanika teknik tendangan mencakup pengukuran sudut sendi, kecepatan segmen tubuh, serta pola distribusi beban pada ekstremitas bawah selama fase persiapan, pelaksanaan, dan pemulihan gerak tendangan (Pojskić et al., 2020). Teknik tendangan lurus, sebagai salah satu teknik serangan dasar, melibatkan gerakan fleksi-ekstensi sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki pada kaki tendang, yang harus diselaraskan dengan kemampuan kaki tumpu mempertahankan keseimbangan tubuh (Estevan & Falco, 2022).

### **Kontrol Neuromuskular Kaki Tumpu dan Risiko Cedera**

Kontrol neuromuskular ekstremitas bawah, khususnya pada kaki tumpu, berperan penting dalam menstabilkan tubuh saat kaki lainnya melakukan gerakan menendang. Ketidakmampuan mengontrol posisi lutut pada bidang frontal, yang dikenal sebagai dynamic knee valgus, merupakan salah satu indikator biomekanika yang berkaitan dengan peningkatan risiko cedera ligamen dan sendi lutut, termasuk cedera anterior cruciate ligament (ACL) (Brophy et al., 2021). Single Leg Squat Test (SLST) merupakan instrumen skrining fungsional yang umum digunakan untuk menilai kontrol neuromuskular tersebut secara kualitatif maupun kuantitatif melalui pengukuran Frontal Plane Projection Angle (FPPA) (Bridge et al., 2020).

### **Single Leg Squat Test (SLST) sebagai Instrumen Evaluasi Kontrol Neuromuskular**

Single Leg Squat Test (SLST) merupakan salah satu pemeriksaan fungsional yang banyak digunakan dalam bidang fisioterapi olahraga untuk mengevaluasi kemampuan kontrol neuromuskular ekstremitas bawah pada aktivitas unilateral. Gerakan SLST memberikan

tuntutan biomekanik yang kompleks karena tubuh harus mempertahankan keseimbangan melalui koordinasi antara kontrol panggul, stabilitas batang tubuh, pengendalian femur, posisi lutut, serta kemampuan mempertahankan alignment ekstremitas bawah selama fase penurunan dan kembali ke posisi awal. Oleh karena itu, SLST dapat digunakan sebagai alat skrining untuk mengidentifikasi pola gerakan abnormal yang berpotensi meningkatkan beban mekanik pada sendi ekstremitas bawah (Jamaludin et al., 2022).

Pada atlet, kemampuan kontrol unilateral menjadi komponen penting karena sebagian besar aktivitas olahraga melibatkan gerakan dengan dukungan satu kaki, seperti akselerasi, deselerasi, perubahan arah, lompatan, pendaratan, dan teknik tendangan. SLST dianggap relevan karena mampu mereplikasi tuntutan kontrol gerakan yang menyerupai aktivitas olahraga spesifik. Selain itu, gerakan yang relatif lambat pada SLST memungkinkan pengamatan terhadap kompensasi gerakan yang mungkin tidak terlihat pada aktivitas berkecepatan tinggi (Wilczyński et al., 2020).

Analisis SLST dapat dilakukan menggunakan pendekatan observasi maupun kuantitatif melalui analisis video dua dimensi. Salah satu parameter yang banyak digunakan adalah Frontal Plane Projection Angle (FPPA), yang memberikan informasi mengenai perubahan alignment lutut pada bidang frontal selama gerakan. Penggunaan analisis dua dimensi memiliki keuntungan karena mudah diterapkan di lapangan, tidak membutuhkan perangkat motion capture yang mahal, serta dapat digunakan sebagai metode skrining praktis pada populasi atlet (Jamaludin et al., 2022; Straub & Powers, 2022).

### **Frontal Plane Projection Angle (FPPA) dan Interpretasi Biomekanika**

Frontal Plane Projection Angle (FPPA) merupakan parameter biomekanika yang menggambarkan posisi relatif lutut terhadap garis antara panggul dan kaki selama aktivitas fungsional. FPPA sering digunakan dalam penelitian biomekanika karena dapat memberikan gambaran mengenai kontrol bidang frontal, khususnya kecenderungan medial displacement lutut saat melakukan gerakan single-leg squat.

Peningkatan nilai FPPA sering dikaitkan dengan pola dynamic knee valgus (DKV). Namun, FPPA tidak dapat digunakan sebagai diagnosis cedera secara langsung karena hanya menggambarkan salah satu aspek dari kontrol gerakan ekstremitas bawah. Faktor lain seperti kekuatan otot panggul, mobilitas pergelangan kaki, strategi motorik individu, teknik gerakan, serta beban latihan juga dapat memengaruhi nilai FPPA yang diperoleh (Wilczyński et al., 2020; Khou et al., 2024).

### **Dynamic Knee Valgus sebagai Indikator Risiko Biomekanika**

Dynamic knee valgus (DKV) merupakan pola gerakan abnormal yang ditandai dengan kombinasi aduksi dan rotasi internal femur, abduksi lutut, serta perubahan alignment tungkai bawah selama aktivitas dinamis. DKV banyak dikaji dalam penelitian olahraga karena pola ini dapat meningkatkan tuntutan mekanik pada struktur lutut apabila terjadi secara berulang, terutama pada olahraga yang melibatkan gerakan eksplosif dan perubahan arah cepat (Wilczyński et al., 2020).

Mekanisme terjadinya DKV bersifat multifaktorial. Gangguan kontrol neuromuskular, kelemahan otot abduktor dan rotator eksternal panggul, keterbatasan mobilitas pergelangan kaki, serta perubahan aktivasi otot dapat berkontribusi terhadap munculnya pola valgus dinamis. Meta-analisis terbaru menunjukkan bahwa individu dengan DKV memiliki perbedaan pola aktivasi beberapa otot ekstremitas bawah dibandingkan individu tanpa DKV, sehingga evaluasi kontrol neuromuskular menjadi bagian penting dalam strategi pencegahan cedera olahraga (Khou et al., 2024).

Meskipun DKV sering dikaitkan dengan peningkatan risiko cedera ekstremitas bawah, konsep terbaru menekankan bahwa DKV bukan merupakan penyebab tunggal cedera. Cedera olahraga merupakan hasil interaksi berbagai faktor intrinsik dan ekstrinsik, sehingga DKV lebih tepat dipahami sebagai salah satu indikator biomekanika yang dapat membantu proses skrining dan intervensi pencegahan cedera (Hulme & Finch, 2022).

### **Cedera Muskuloskeletal pada Atlet Olahraga Bela Diri**

Cedera muskuloskeletal pada olahraga bela diri umumnya terjadi akibat pembebanan mekanik berulang serta kesalahan pola gerak pada ekstremitas bawah (Lystad et al., 2020). Pendekatan pencegahan cedera berbasis analisis penyebab yang kompleks, bukan hanya faktor tunggal, dinilai lebih efektif dalam mengidentifikasi dan mengurangi risiko cedera pada atlet (Hulme & Finch, 2022). Penelitian mengenai profil fisik dan fisiologis atlet olahraga bela diri turut menegaskan pentingnya evaluasi biomekanika sebagai bagian dari program pencegahan cedera yang komprehensif (Fortington et al., 2021).

### **3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif observasional dengan desain cross-sectional. Subjek penelitian terdiri atas 20 atlet pencak silat aktif yang tergabung dalam BKMF Pencak Silat FIKK UNM, berusia 18–25 tahun (rerata  $21,55 \pm 2,14$  tahun) dengan rerata pengalaman latihan  $5,41 \pm 2,16$  tahun, yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling sesuai kriteria inklusi penelitian. Sebanyak 16 atlet (80,0%) memiliki kaki dominan kanan dan 4 atlet (20,0%) memiliki kaki dominan kiri.

Setiap atlet menjalani skrining fisioterapi awal berupa Single Leg Squat Test (SLST) sebanyak lima repetisi pada masing-masing sisi ekstremitas untuk menilai kontrol neuromuskular kaki tumpu, dilanjutkan dengan pengambilan data biomekanika tendangan lurus melalui perekaman gerakan pada bidang sagital dan frontal sebanyak 3–5 percobaan valid per atlet. Rekaman video dianalisis menggunakan perangkat lunak Kinovea untuk memperoleh parameter sudut sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki pada kaki tendang, kecepatan segmen tungkai, serta Frontal Plane Projection Angle (FPPA) kaki tumpu pada momen impact. Nilai setiap repetisi dan percobaan dihitung reratanya sehingga diperoleh satu nilai representatif untuk setiap parameter, kemudian disinkronkan berdasarkan kode subjek serta klasifikasi ekstremitas sebagai kaki tendang (kicking leg) dan kaki tumpu (supporting leg).

Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk menggambarkan karakteristik subjek dan parameter biomekanika, dilanjutkan uji normalitas Shapiro–Wilk, serta uji korelasi Pearson atau Spearman sesuai distribusi data menggunakan perangkat lunak SPSS, untuk mengidentifikasi hubungan antara karakteristik biomekanika teknik tendangan lurus dengan indikator biomekanika yang berkaitan dengan risiko cedera muskuloskeletal ekstremitas bawah.

Bagian ini memuat rancangan penelitian meliputi disain penelitian, populasi/ sampel penelitian, teknik dan instrumen pengumpulan data, alat analisis data, dan model penelitian yang digunakan. Metode yang sudah umum tidak perlu dituliskan secara rinci, tetapi cukup merujuk ke referensi acuan (misalnya: rumus uji-F, uji-t, dll). Pengujian validitas dan reliabilitas instrumen penelitian tidak perlu dituliskan secara rinci, tetapi cukup dengan mengungkapkan hasil pengujian dan interpretasinya. Keterangan simbol pada model dituliskan dalam kalimat.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Karakteristik Subjek dan Parameter Biomekanika

Statistik deskriptif parameter biomekanika dan indikator biomekanika yang berkaitan dengan risiko cedera disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Statistik Deskriptif Parameter Biomekanika dan Indikator Biomekanika yang Berkaitan dengan Risiko Cedera Atlet Pencak Silat (n=20).

| Variabel                                | Mean   | SD   | Min   | Max    |
|-----------------------------------------|--------|------|-------|--------|
| Usia (tahun)                            | 21,55  | 2,14 | 18,00 | 25,00  |
| Lama latihan (tahun)                    | 5,41   | 2,16 | 2,30  | 8,40   |
| FPPA SLST kaki tumpu (°)                | 9,98   | 2,90 | 4,54  | 15,38  |
| FPPA Kinovea kaki tumpu saat impact (°) | 11,30  | 3,03 | 7,32  | 17,78  |
| Sudut panggul kaki tendang (°)          | 56,95  | 7,88 | 43,45 | 69,00  |
| Sudut lutut kaki tendang (°)            | 31,54  | 7,79 | 18,50 | 45,46  |
| Sudut pergelangan kaki kaki tendang (°) | 104,07 | 8,88 | 92,02 | 116,76 |
| Kecepatan segmen tungkai (m/s)          | 7,17   | 1,79 | 4,96  | 10,54  |

*Sumber: Data primer penelitian (2026).*

##### Kategorisasi Risiko Cedera Kaki Tumpu

Sebagai kelengkapan penyajian indikator biomekanika yang bersifat kategorikal, skor FPPA SLST kaki tumpu dikelompokkan menjadi tiga kategori risiko berbasis persentil sampel (persentil 33 dan 67), sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kategori Risiko Cedera Kaki Tumpu Berdasarkan Skor FPPA SLST (n=20).

| Kategori Risiko | Rentang FPPA SLST Kaki Tumpu | n | %    |
|-----------------|------------------------------|---|------|
| Rendah          | $\leq 8,79^\circ$            | 7 | 35,0 |
| Sedang          | $8,80^\circ - 11,23^\circ$   | 6 | 30,0 |
| Tinggi          | $> 11,23^\circ$              | 7 | 35,0 |

*Sumber: Data primer penelitian (2026).*

Tabel 2 menunjukkan distribusi kategori risiko yang relatif seimbang, dengan 35,0% atlet berada pada kategori risiko rendah, 30,0% risiko sedang, dan 35,0% risiko tinggi. Kategorisasi ini disusun berdasarkan distribusi internal data penelitian menggunakan persentil sampel dan digunakan untuk menggambarkan variasi relatif antar-subjek, bukan merupakan nilai batas klinis diagnosis risiko cedera.

## Hubungan Karakteristik Biomekanika Tendangan Lurus dengan Indikator Risiko Cedera

Hubungan antara karakteristik biomekanika tendangan lurus dengan indikator biomekanika yang berkaitan dengan risiko cedera dianalisis lebih lanjut melalui uji korelasi, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Uji Korelasi Karakteristik Biomekanika Tendangan Lurus dengan Indikator Biomekanika yang Berkaitan dengan Risiko Cedera (n=20).

| Pasangan Variabel                                          | Metode   | r      | Sig. (p) |
|------------------------------------------------------------|----------|--------|----------|
| FPPA Kinovea kaki tumpu × FPPA SLST kaki tumpu             | Pearson  | 0,885  | <0,001*  |
| FPPA SLST kaki tumpu × Sudut panggul kaki tendang          | Pearson  | 0,037  | 0,876    |
| FPPA SLST kaki tumpu × Sudut lutut kaki tendang            | Pearson  | 0,146  | 0,539    |
| FPPA SLST kaki tumpu × Sudut pergelangan kaki kaki tendang | Spearman | -0,182 | 0,443    |
| FPPA SLST kaki tumpu × Kecepatan segmen tungkai            | Pearson  | -0,292 | 0,211    |

\*Signifikan pada  $p < 0,001$  (uji dua arah).

Sumber: Data primer penelitian (2026).

Uji normalitas Shapiro–Wilk menunjukkan bahwa sebagian besar variabel utama berdistribusi normal, kecuali sudut pergelangan kaki kaki tendang ( $p=0,034$ ), sehingga analisis korelasi menggunakan uji Pearson untuk variabel yang berdistribusi normal dan uji Spearman untuk variabel yang tidak berdistribusi normal. Hasil uji korelasi primer antara karakteristik biomekanika tendangan lurus (FPPA Kinovea kaki tumpu saat impact, variabel bebas) dengan indikator biomekanika yang berkaitan dengan risiko cedera (skor FPPA SLST kaki tumpu, variabel terikat) menunjukkan hubungan positif yang sangat kuat dan signifikan secara statistik ( $r=0,885$ ;  $p<0,001$ ;  $r^2=0,783$ ). Nilai koefisien determinasi tersebut menunjukkan adanya hubungan statistik yang kuat antara karakteristik biomekanika tendangan lurus dengan variasi indikator kontrol neuromuskular kaki tumpu pada sampel penelitian ini. Interpretasi tersebut tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat karena desain penelitian bersifat cross-sectional.

Sebaliknya, parameter kinematik kaki tendang berupa sudut panggul, sudut lutut, sudut pergelangan kaki, dan kecepatan segmen tungkai tidak menunjukkan korelasi yang signifikan dengan indikator biomekanika yang berkaitan dengan risiko cedera ( $p>0,05$ ), yang menegaskan bahwa mekanisme kontrol neuromuskular kaki tumpu bersifat spesifik dan berbeda dari karakteristik gerak kaki yang melakukan tendangan.

Hasil penelitian ini juga dapat dijelaskan melalui konsep bahwa kemampuan kontrol neuromuskular pada gerakan dasar memiliki keterkaitan dengan kemampuan mempertahankan alignment pada gerakan olahraga spesifik. Hubungan yang sangat kuat antara FPPA SLST kaki tumpu dan FPPA kaki tumpu saat tendangan lurus menunjukkan bahwa atlet yang memiliki karakteristik kontrol frontal-plane tertentu saat melakukan SLST juga menunjukkan pola alignment serupa ketika melakukan teknik tendangan. Hal ini mendukung penggunaan SLST sebagai pemeriksaan fungsional yang dapat memberikan informasi awal mengenai kesiapan biomekanika atlet.

Pada pencak silat, kaki tumpu memiliki peran biomekanik yang berbeda dengan kaki tendang. Kaki tumpu harus mempertahankan stabilitas tubuh ketika menghasilkan gaya rotasi dan translasi selama tendangan. Oleh karena itu, gangguan kontrol frontal-plane pada kaki tumpu berpotensi memengaruhi efisiensi gerakan serta distribusi beban mekanik pada ekstremitas bawah. Penggunaan SLST dan FPPA dalam penelitian ini menjadi relevan karena keduanya mampu menggambarkan kemampuan atlet dalam mempertahankan kontrol unilateral yang menyerupai tuntutan gerakan tendangan.

Temuan ini memperkuat bahwa pendekatan biomekanika berbasis skrining fungsional dapat menjadi bagian dari strategi pencegahan cedera pada atlet. Namun, interpretasi hasil tetap harus dilakukan secara hati-hati karena desain cross-sectional hanya menunjukkan hubungan antarparameter biomekanika dan tidak dapat menentukan apakah karakteristik tersebut secara langsung menyebabkan kejadian cedera.

Meskipun demikian ini sejalan dengan konsep biomekanika olahraga bela diri bahwa karakteristik gerakan menendang, termasuk sudut sendi dan distribusi beban pada ekstremitas bawah, berkontribusi terhadap risiko cedera muskuloskeletal atlet (Pojskić et al., 2020; Estevan & Falco, 2022). Ketidakstabilan kaki tumpu berupa dynamic knee valgus yang tinggi berpotensi meningkatkan beban mekanik pada struktur ligamen dan sendi lutut, sehingga berkontribusi terhadap risiko cedera serius seperti cedera anterior cruciate ligament (ACL) pada atlet olahraga berbasis gerakan eksplosif (Brophy et al., 2021). Hasil ini memperkuat urgensi kajian biomekanika sebagai dasar deteksi dini faktor risiko cedera pada atlet olahraga bela diri (Hulme & Finch, 2022; Fortington et al., 2021; Lystad et al., 2020), sekaligus mendukung relevansi penggunaan SLST sebagai instrumen skrining fungsional yang aplikatif dan efisien di lapangan untuk menilai kontrol neuromuskular kaki tumpu pada konteks olahraga menendang (Bridge et al., 2020; Knudson, 2021). Mengingat desain penelitian ini bersifat cross-sectional, seluruh hubungan yang ditemukan diinterpretasikan sebagai asosiasi dan tidak digunakan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol frontal-plane ekstremitas bawah yang dinilai melalui Single Leg Squat Test (SLST) memiliki hubungan positif yang sangat kuat dan signifikan dengan alignment kaki tumpu selama pelaksanaan teknik tendangan lurus ( $r=0,885$ ;  $p<0,001$ ) pada atlet pencak silat FIKK UNM, sedangkan parameter kinematik kaki tendang (sudut panggul, lutut, pergelangan kaki, dan kecepatan segmen tungkai) tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan indikator risiko cedera tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi analisis kinematika menggunakan Kinovea dan pemeriksaan fungsional SLST dapat digunakan sebagai pendekatan untuk menggambarkan karakteristik gerakan serta indikator kontrol neuromuskular ekstremitas bawah yang berpotensi berkaitan dengan risiko cedera muskuloskeletal.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar pelatih dan tim fisioterapi olahraga mengintegrasikan SLST sebagai instrumen skrining rutin untuk mendeteksi dini kontrol neuromuskular kaki tumpu yang kurang optimal, serta menyusun program latihan penguatan dan stabilisasi kaki tumpu guna mengurangi risiko cedera pada atlet pencak silat. Penelitian ini memiliki keterbatasan berupa desain cross-sectional yang hanya mampu mengidentifikasi asosiasi, bukan hubungan sebab-akibat, serta jumlah sampel yang terbatas pada satu klub. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan desain longitudinal dengan jumlah sampel yang lebih besar dan cakupan klub yang lebih luas untuk memperkuat generalisasi temuan serta mengevaluasi efektivitas program intervensi pencegahan cedera berbasis hasil penelitian ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Negeri Makassar atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui skema Penelitian PNBPT Tahun Anggaran 2026, serta kepada BKMF Pencak Silat FIKK UNM selaku mitra penelitian yang telah memfasilitasi akses atlet, waktu, dan tempat latihan selama proses pengambilan data di lapangan.

## DAFTAR REFERENSI

- Bates, N. A., & Myer, G. D. (2020). Prospective frontal plane angles used to predict ACL strain and identify those at high risk for sports-related ACL injury. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(10), 2325967120957646. <https://doi.org/10.1177/2325967120957646>
- Becker, S. B., Simon, S., Dindorf, C., Wirtz, N., & Ludwig, O. (2023). Fatigue as a key factor for testing knee stability with single leg drop landing for injury prevention and return

- to play tests. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1243732. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1243732>
- Bolgia, L. A., Gibson, H. N., Hannah, D. C., & Curry-McCoy, T. (2023). Comparison of the frontal plane projection angle and the dynamic valgus index to identify movement dysfunction in females with patellofemoral pain. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 18(3), 619–625. <https://doi.org/10.26603/001c.74269>
- Bridge, C. A., Ferreira da Silva Santos, J., Chaabène, H., Pieter, W., & Franchini, E. (2020). Physical and physiological profiles of combat sport athletes. *Sports Medicine*, 50(9), 1–19.
- Estevan, I., & Falco, C. (2022). Mechanical analysis of kicking techniques in combat sports. *Sports Biomechanics*, 21(6), 1–15.
- Fortington, L. V., Donaldson, A., & Lathlean, T. (2021). Sports injury prevention research: Progress and challenges. *Sports Medicine*, 51(1), 1–9.
- Hulme, A., & Finch, C. F. (2022). From monocausal to complex systems: Injury causation and prevention in sport. *Sports Medicine*, 52(4), 705–718.
- Jamaludin, N. I., Sahabuddin, F. N. A., Rasudin, N. S., & Shaharudin, S. (2022). The concurrent validity and reliability of single leg squat among physically active females with and without dynamic knee valgus. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 17(4), 574–584. <https://doi.org/10.26603/001c.35706>
- Khou, S. B., Saki, F., & Tahayori, B. (2024). Muscle activation in the lower limb muscles in individuals with dynamic knee valgus during single-leg and overhead squats: A meta-analysis study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25, 652. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07759-6>
- Lisman, P. J., Wilder, J. N., Hansberger, B. L., & Zabriskie, H. A. (2023). Examination of overhead and single-leg squat kinematics and lower extremity injury in female collegiate athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 63(7), 787–796. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.23.14586-5>
- Nilstad, A., Petushek, E., Mok, K. M., Bahr, R., & Krosshaug, T. (2023). Kiss goodbye to the “kissing knees”: No association between frontal plane inward knee motion and risk of future non-contact ACL injury in elite female athletes. *Sports Biomechanics*, 22(1), 65–79. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1903541>
- Park, J., Kim, Y., Kim, S., & Park, K. N. (2025). Markerless kinematic data in the frontal plane contributions to movement quality in the single-leg squat test. *Journal of Sport Rehabilitation*, 34(2), 126–133. <https://doi.org/10.1123/jsr.2024-0182>
- Straub, R. K., & Powers, C. M. (2022). Does the 2D frontal plane projection angle predict frontal plane knee moments during stepping, landing, and change of direction tasks? *International Journal of Sports Physical Therapy*, 17(7), 1259–1270. <https://doi.org/10.26603/001c.39612>
- Takeuchi, R., Iwamoto, Y., Kawakami, W., et al. (2024). Sex differences in factors of pelvis and lower-limb joint kinematics influencing dynamic knee valgus during single-leg squat. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 37(1). <https://doi.org/10.3233/BMR-230086>
- Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks: Potentially modifiable factors and exercise training options. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8208. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>