

# **Determinasi kecepatan tendangan oleh sudut fleksi-ekstensi lutut pada atlet remaja pencak silat**

**Syarif Hidayat<sup>1abcde</sup>, Heny Setyawati<sup>2acd</sup>, Setya Rahayu<sup>3acd</sup>, Sri Haryono<sup>4acd</sup>**

**Universitas Negeri Semarang, Indonesia<sup>1234</sup>**

## **ABSTRAK**

*This study aims to examine the relationship between knee flexion-extension angle (Range of Motion/ROM) and kicking speed in youth pencak silat athletes. Understanding the biomechanical mechanisms underlying kick performance is essential for improving training effectiveness, particularly during adolescence when neuromuscular development is highly adaptive. A correlational quantitative design was employed using two-dimensional (2D) video-based biomechanical analysis with KINOVEA software. Fifty athletes aged 13-18 years performed three types of kicks—front, roundhouse, and side kicks—while knee flexion, extension, ROM, and kicking speed were measured frame-by-frame. Results showed significant positive correlations between ROM and kicking speed across all techniques, with the strongest association in the front kick ( $r = 0.71, p < 0.001$ ), followed by the roundhouse ( $r = 0.64, p < 0.001$ ) and side kick ( $r = 0.58, p = 0.001$ ). Regression analysis indicated that ROM explained 50% of speed variance in the front kick, 41% in the roundhouse, and 34% in the side kick. These findings demonstrate that greater knee ROM enhances acceleration and energy transfer efficiency during kicking actions. This study highlights the importance of integrating flexibility and explosive-strength training into youth pencak silat programs and supports the use of 2D video analysis as an accessible tool for evidence-based performance evaluation.*

**Kata Kunci:** pencak silat; kicking speed; knee joint biomechanics; range of motion; youth athletes

**Kontribusi Penulis:** a - Desain Studi; b - Pengumpulan Data; c - Analisis Statistik; d - Penyiapan Naskah; e - Pengumpulan Dana

## **PENDAHULUAN**

Kecepatan tendangan merupakan salah satu indikator kunci performa dalam olahraga bela diri, termasuk pencak silat. Kemampuan menghasilkan tendangan yang cepat dan eksplosif tidak hanya menentukan efektivitas serangan, tetapi juga berpengaruh terhadap peluang mencetak poin dan mengendalikan dinamika pertandingan (Syaifulah & Maghribi, 2023). Dalam konteks pertandingan modern yang semakin cepat dan agresif, kebutuhan akan pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor biomekanika yang memengaruhi kecepatan tendangan menjadi semakin penting, terutama pada atlet remaja yang sedang berada dalam fase perkembangan neuromuskular yang pesat.

Secara biomekanika, kecepatan tendangan dipengaruhi oleh interaksi antara kekuatan otot, fleksibilitas, teknik gerakan, koordinasi segmental, dan efisiensi pola aktivasi neuromuskular. Kekuatan eksplosif otot tungkai, khususnya quadriceps, memiliki kontribusi langsung terhadap percepatan kaki selama fase eksekusi tendangan (Ihsan et al., 2022). Sinkronisasi antara fleksi dan ekstensi lutut berperan penting dalam memaksimalkan proximal-to-distal sequencing, yaitu pola transfer

energi dari panggul ke lutut hingga kaki, yang menjadi dasar bagi terciptanya tendangan cepat dan efisien (Moreira et al., 2015).

Dari perspektif fisika gerak, sudut fleksi-ekstensi lutut atau Range of Motion (ROM) menentukan panjang lintasan percepatan. ROM yang lebih besar memungkinkan segmen distal (tungkai bawah) bergerak melalui lintasan yang lebih panjang sehingga menghasilkan percepatan linier yang lebih tinggi. Prinsip ini sejalan dengan hukum momen gaya (torque), di mana semakin besar jarak gaya terhadap sumbu rotasi, semakin besar pula torsi yang dihasilkan. Dengan demikian, ROM lutut berfungsi sebagai "pengungkit" biomekanis yang memperkuat gaya ekstensi lutut.

Selain itu, fleksi lutut pada fase awal tendangan memanfaatkan mekanisme stretch-shortening cycle (SSC). Ketika otot mengalami peregangan eksentrik, energi elastik tersimpan dan dilepaskan kembali saat kontraksi konsentrik, sehingga meningkatkan kecepatan ekstensi lutut tanpa menambah beban metabolismik yang besar (Knudson, 2007). Dengan demikian, ROM lutut yang optimal tidak hanya berpengaruh pada aspek mekanis, tetapi juga meningkatkan efisiensi kontraksi otot.

Koordinasi segmental juga berperan penting. Tendangan cepat dihasilkan melalui urutan aktivasi segmen tubuh dari proksimal (panggul), menuju lutut, dan kemudian pergelangan kaki. Jika ROM lutut terbatas, fase percepatan segmen tengah menjadi lebih pendek, sehingga transfer energi menuju segmen distal tidak optimal. Sebaliknya, ROM yang besar memungkinkan lutut bertindak sebagai penguat momentum yang efektif. Sudut panggul juga berperan sebagai stabilizer sekaligus generator tenaga, terutama pada tendangan melingkar seperti tendangan sabit dan tendangan samping, menunjukkan bahwa interaksi lutut-panggul merupakan bagian integral dari analisis biomekanika tendangan.

Pada atlet remaja, adaptasi fisiologis seperti peningkatan fleksibilitas, kekuatan, dan koordinasi neuromuskular terjadi lebih cepat dibandingkan atlet dewasa, menjadikan ROM lutut sebagai faktor strategis dalam pengembangan teknik tendangan. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa latihan fleksibilitas dinamis dan kekuatan eksplosif berpengaruh terhadap kemampuan tendangan (Ahmad et al., 2024; Sudiana et al., 2023). Namun, penelitian yang secara khusus meninjau kontribusi ROM lutut terhadap kecepatan tendangan pada atlet remaja pencak silat masih terbatas. Sebagian besar kajian cenderung menyoroti aspek kekuatan otot atau kecepatan reaksi tanpa mengukur faktor biomekanika sendi lutut secara kuantitatif (Nugroho et al., 2021). Selain itu, studi biomekanika tendangan banyak dilakukan menggunakan analisis 3D yang relatif mahal, sehingga kurang aplikatif dalam konteks latihan rutin (Gavagan & Sayers, 2017). Minimnya penelitian berbasis video analisis dua dimensi (2D) yang lebih praktis menunjukkan adanya kesenjangan kajian yang perlu diisi.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah menganalisis hubungan antara sudut fleksi-ekstensi lutut (ROM) dan kecepatan tendangan pada tiga teknik utama pencak silat—tendangan depan, tendangan sabit, dan tendangan samping—dengan menggunakan pendekatan biomekanika dua dimensi (2D) berbasis video untuk memberikan dasar ilmiah yang relevan bagi pembinaan atlet remaja.

## METODE

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif korelasional untuk menganalisis hubungan antara sudut fleksi-ekstensi lutut (Range of Motion/ROM) dan kecepatan tendangan pada atlet remaja pencak silat, sesuai karakter variabel biomekanika yang bersifat kontinu. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan biomekanika dua dimensi (2D) berbasis video melalui perangkat lunak KINOVEA, yang direkomendasikan dalam studi biomekanika karena efisiensinya dalam menganalisis gerak pada bidang sagital (Gavagan & Sayers, 2017; Karo et al., 2023). Kamera ditempatkan secara lateral dengan kalibrasi papan referensi 40 cm untuk meminimalkan distorsi spasial. Sebanyak 50 atlet remaja berusia 13-18 tahun dipilih menggunakan purposive sampling dengan kriteria aktif berlatih minimal satu tahun dan bebas cedera.

Pengumpulan data dilakukan di ruang latihan indoor dengan pencahayaan seragam. Setiap atlet melakukan 3-5 ulangan tendangan depan, sabit, dan samping, lalu tiga rekaman terbaik dipilih berdasarkan konsistensi teknik (Maghribi et al., 2024; Sudiana et al., 2023). Rekaman dianalisis frame by frame untuk memperoleh sudut fleksi maksimum (fase preparasi), sudut ekstensi maksimum (fase eksekusi), serta ROM yang dihitung dari selisih keduanya. Kecepatan tendangan dihitung dari perpindahan linier tungkai bawah per satuan waktu. Validitas eksternal metode diperkuat melalui pembandingan dengan karakteristik analisis 3D pada penelitian terdahulu (Gavagan & Sayers, 2017), sedangkan reliabilitas diukur menggunakan Intraclass Correlation Coefficient (ICC) dengan nilai  $> 0,88$  untuk seluruh variabel.

Data dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk, kemudian dilanjutkan dengan uji korelasi Pearson untuk menilai hubungan linier antara ROM dan kecepatan tendangan. Analisis regresi linear sederhana digunakan untuk menentukan kontribusi ROM terhadap variasi kecepatan dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  (Sinulingga et al., 2024). Seluruh analisis dilakukan melalui IBM SPSS Statistics versi 26.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

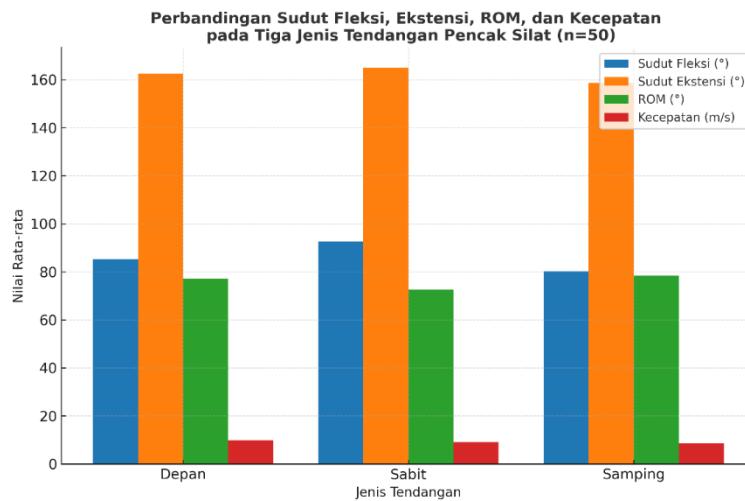
Hasil penelitian ini disajikan untuk menjawab pertanyaan utama mengenai hubungan antara *Range of Motion* (ROM) fleksi-ekstensi lutut dan kecepatan tendangan pada tiga teknik pencak silat, yaitu tendangan depan, tendangan sabit, dan tendangan samping. Analisis statistik deskriptif menunjukkan adanya variasi nilai ROM dan kecepatan antar ketiga teknik. Tendangan depan memiliki kecepatan rata-rata tertinggi, sementara tendangan samping menunjukkan ROM terbesar. Perbedaan pola gerak linier (tendangan depan) dan rotasional (tendangan sabit dan samping) turut memengaruhi distribusi gaya selama fase eksekusi.

**Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel pada Tiga Jenis Tendangan Pencak Silat (n = 50)**

Jenis Tendangan	Variabel	Mean $\pm$ SD	Min	Max	Keterangan
Depan (Front kick)	Sudut Fleksi ( $^{\circ}$ )	$85.2 \pm 7.3$	70	98	Fleksi sedang, efisien untuk dorongan vertikal ke depan
	Sudut Ekstensi ( $^{\circ}$ )	$162.4 \pm 6.8$	150	174	Hampir lurus sempurna, stabilitas tinggi
	ROM ( $^{\circ}$ )	$77.2 \pm 8.4$	60	92	Rentang gerak besar, efisien untuk percepatan linear

Jenis Tendangan	Variabel	Mean ± SD	Min	Max	Keterangan
<b>Sabit (Roundhouse kick)</b>	Kecepatan (m/s)	9.85 ± 1.22	7.5	12.1	Paling tinggi di antara tiga jenis tendangan
	Sudut Fleksi (°)	92.6 ± 8.1	75	108	Fleksi lebih besar untuk lintasan melingkar
	Sudut Ekstensi (°)	165.1 ± 7.4	152	178	Ekstensi luas, menghasilkan rotasi maksimal
	ROM (°)	72.5 ± 9.3	55	90	Lebih kecil dari tendangan depan, karena lintasan melingkar
<b>Samping (Side kick)</b>	Kecepatan (m/s)	9.12 ± 1.15	7.2	11.3	Kecepatan sedang dengan momentum rotasi tinggi
	Sudut Fleksi (°)	80.3 ± 6.9	68	95	Fleksi sedang, menjaga keseimbangan tubuh
	Sudut Ekstensi (°)	158.7 ± 8.0	145	170	Ekstensi kuat, namun terbatas oleh stabilitas lateral
	ROM (°)	78.4 ± 7.8	65	91	Rentang serupa dengan tendangan depan
	Kecepatan (m/s)	8.68 ± 1.08	6.9	10.7	Kecepatan terendah, tapi menghasilkan gaya impak tinggi

Analisis korelasi Pearson mengonfirmasi hubungan positif signifikan antara ROM dan kecepatan pada seluruh teknik. Nilai korelasi tertinggi ditemukan pada tendangan depan ( $r = 0,71$ ), menunjukkan bahwa ROM memiliki kontribusi yang lebih dominan pada teknik linier. Analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa ROM menjelaskan 50% variasi kecepatan tendangan depan, 41% pada tendangan sabit, dan 34% pada tendangan samping.



Gambar 1. Grafik perbandingan rata-rata ROM dan kecepatan antar jenis tendangan.

Gambar diatas menunjukkan perbandingan nilai rata-rata sudut fleksi, sudut ekstensi, rentang gerak (ROM), dan kecepatan tendangan pada tiga jenis teknik pencak silat. Tendangan depan terlihat memiliki kecepatan tertinggi, sedangkan tendangan samping menunjukkan ROM terbesar. Perbedaan tersebut mengilustrasikan variasi mekanis antara pola gerak linier dan rotasional pada masing-masing teknik tendangan.



Gambar 2. Grafik regresi linier hubungan ROM dan kecepatan pada masing-masing tendangan

Gambar 2 menunjukkan bahwa ROM lutut memiliki hubungan positif dengan kecepatan tendangan pada seluruh teknik pencak silat. Tendangan depan memperlihatkan kemiringan regresi tertinggi, yang mengindikasikan pengaruh ROM paling kuat terhadap peningkatan kecepatan. Tendangan sabit dan samping juga menunjukkan hubungan signifikan, meskipun dengan kemiringan lebih rendah, mencerminkan kontribusi mekanis lain seperti rotasi panggul dan stabilitas lateral. Secara keseluruhan, regresi linier menegaskan bahwa ROM merupakan prediktor penting kecepatan tendangan, dengan sensitivitas berbeda pada tiap teknik.

Temuan utama penelitian, yaitu bahwa ROM lutut memiliki kontribusi signifikan terhadap kecepatan tendangan pada atlet remaja pencak silat. Hal ini konsisten dengan prinsip biomekanika bahwa lintasan gerak yang lebih panjang menghasilkan percepatan yang lebih besar, sejalan dengan pandangan Knudson (2007) mengenai hubungan antara rentang gerak, momen gaya, dan kecepatan segmental.

Pada tendangan depan, kontribusi ROM lebih kuat dibanding teknik lainnya. Hal ini terjadi karena lintasan gerak linier di bidang sagital memungkinkan transfer energi proksimal-ke-distal yang efisien. Perbedaan ini menegaskan bahwa pola gerak lurus cenderung lebih sensitif terhadap perubahan ROM dibanding pola gerak melingkar. Temuan ini mendukung studi Syaifulah & Maghribi (2023) yang menyatakan bahwa kecepatan tendangan depan sangat ditentukan oleh aktivasi otot quadriceps dan kestabilan panggul.

Pada tendangan sabit, ROM masih memiliki pengaruh signifikan namun lebih rendah karena mekanisme utamanya melibatkan rotasi panggul. Gerakan melingkar menggeser sebagian dominasi gaya dari lutut ke kombinasi panggul dan batang tubuh. Namun demikian, kontribusi ROM yang tetap signifikan menunjukkan bahwa fleksibilitas lutut tetap berperan dalam memperpanjang lintasan rotasional. Hasil ini tidak sepenuhnya sejalan dengan temuan Moreira et al. (2016) yang menekankan dominasi panggul—perbedaan ini dapat disebabkan oleh populasi sampel remaja yang berada pada fase perkembangan neuromuskular.

Pada tendangan samping, ROM lutut memiliki kontribusi terendah ( $R^2 = 0,34$ ). Orientasi tubuh lateral membuat stabilitas tumpuan, kekuatan otot gluteus, dan

kontrol rotasi panggul memainkan peran lebih besar dibanding fleksibilitas lutut. Hasil yang lebih rendah ini berbeda dari penelitian Irawan et al. (2021) yang menemukan peran dominan lutut pada tendangan samping—perbedaan dapat dijelaskan oleh teknik individual, tingkat pengalaman atlet, serta kondisi stabilitas tumpuan.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun ROM lutut merupakan determinan penting untuk semua jenis tendangan, besarnya pengaruh berbeda bergantung pada karakteristik mekanik masing-masing teknik. Tekanan terbesar ada pada teknik linier, sedangkan teknik rotasional memiliki sensitivitas yang lebih rendah terhadap ROM.

#### Implikasi Praktis dan Aktivitas Tindak Lanjut

1. Program latihan fleksibilitas dinamis perlu ditingkatkan untuk memperbesar ROM lutut agar atlet memperoleh keuntungan percepatan maksimal.
2. Integrasi latihan eksploratif seperti plyometric jumps dan resistance kicking direkomendasikan untuk meningkatkan daya ledak dan efisiensi transfer energi.
3. Analisis video berbasis KINOVEA perlu digunakan secara rutin oleh pelatih untuk memantau perkembangan sudut lutut dan kecepatan tendangan secara obyektif.
4. Penelitian lanjutan dapat mengaitkan ROM lutut dengan variabel tambahan seperti rotasi panggul, keseimbangan tumpuan, dan distribusi gaya saat impak.

Pembahasan memperlihatkan bahwa temuan dalam penelitian ini memperkaya literatur biomekanika pencak silat dengan menekankan perbedaan pengaruh ROM terhadap tiga jenis tendangan serta menunjukkan adanya variasi yang berbeda dibandingkan hasil penelitian sebelumnya. Hal ini memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat untuk perencanaan latihan yang lebih spesifik dan berbasis bukti.

## **SIMPULAN**

Penelitian ini menegaskan bahwa sudut fleksi-ekstensi lutut (ROM) merupakan faktor biomekanika utama yang menentukan kecepatan tendangan pada atlet remaja pencak silat. ROM yang lebih besar memperpanjang lintasan percepatan sehingga meningkatkan momentum linier maupun rotasional, dengan pengaruh paling kuat pada tendangan depan. Sementara itu, tendangan sabit dan samping tetap menunjukkan hubungan signifikan meskipun lebih bergantung pada rotasi panggul dan stabilitas lateral.

Temuan ini menunjukkan bahwa kecepatan tendangan tidak hanya dipengaruhi oleh kekuatan otot, tetapi juga fleksibilitas sendi, koordinasi proksimal-distal, serta efisiensi mekanisme stretch-shortening cycle (SSC). Secara praktis, pelatih perlu memprioritaskan latihan fleksibilitas dinamis, latihan eksploratif, dan pemantauan teknik berbasis analisis video untuk mengoptimalkan ROM dan performa tendangan. Penelitian lanjutan disarankan mengeksplorasi variabel biomekanika lain seperti rotasi panggul, kekuatan tumpuan, dan distribusi gaya untuk memperluas pemahaman mengenai faktor penentu kecepatan tendangan.

## **REFERENCES**

- Ahmad, A., Prasetyo, Y., Sumaryanti, S., Nugroho, S., Amiruddin, A., & Widiyanto, W. (2024). El Efecto Del Entrenamiento Pliométrico en Las Patadas De Pencak

- Silat: Revisión De La Literatura (The Effect of Plyometric Training on Pencak Silat Kicks: Literature Review). *Retos*, 61, 185-192. <https://doi.org/10.47197/retos.v61.107665>
- Gavagan, C. J., & Sayers, M. G. L. (2017). A biomechanical analysis of the roundhouse kicking technique of expert practitioners: A comparison between the martial arts disciplines of Muay Thai, Karate, and Taekwondo. *PLOS ONE*, 12(8), e0182645. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182645>
- Ihsan, N., Hanafi, R., Sepriadi, Okilanda, A., Suwirman, & Mario, D. T. (2022). THE EFFECT OF LIMB MUSCLE EXPLOSIVE POWER, FLEXIBILITY, AND ACHIEVEMENT MOTIVATION ON SICKLE KICK PERFORMANCE IN PENCAK SILAT LEARNING. *Physical Education Theory and Methodology*, 22(3), 393-400. <https://doi.org/10.17309/tmfv.2022.3.14>
- Irawan, F. A., Nomi, M. T., & Peng, H. Te. (2021). Pencak silat side kick in persinas asad: Biomechanics analysis. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 9(6), 1230-1235. <https://doi.org/10.13189/saj.2021.090617>
- Karo, A. A. P. K., Rahayu, T., Setyawati, H., Mukarromah, S. B., & Syaifullah, R. (2023). Analysis of Pencak Silat Techniques Using a Biomechanical Approach: Systematic Literature Review. *Teoriâ Ta Metodika Fizičnogo Vihovannâ*, 23(6), 947-953. <https://doi.org/10.17309/tmfv.2023.6.18>
- Knudson, D. (2007). Fundamentals of biomechanics. In *Fundamentals of Biomechanics*. <https://doi.org/10.1201/b14767>
- Maghribi, I. L., Syaifullah, R., Hidayatullah, M. F., Riyadi, S., Hariono, A., & Nugroho, A. (2024). Test-retest reliability and construct validity of Inosen's Silat Momentum Test. *Retos*, 61, 758-765. <https://doi.org/10.47197/retos.v61.109075>
- Moreira, P. V. S., de Paula, L. V., & Veloso, A. P. (2015). Segmental kick velocity is correlated with kick specific and nonspecific strength performance in a proximodistal sequence. *Archives of Budo*, 11, 271-283. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84952776937&partnerID=40&md5=98ba4011cf25bca6d1a62cd26fa5a395>
- Moreira, P. V. S., Goethel, M. F., & Gonçalves, M. (2016). Neuromuscular Performance of Bandal Chagui: Comparison of Subelite and Elite Taekwondo Athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 30, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.06.001>
- Nugroho, H., Gontara, S. Y., Angga, P. D., Jariono, G., & Maghribi, I. L. (2021). Quality of Physical Condition of Youth Pencak Silat Athletes Reviewed From Speed, Power, and Strength. *Kinestetik Jurnal Ilmiah Pendidikan Jasmani*, 5(1), 154-162. <https://doi.org/10.33369/jk.v5i1.14376>
- Sinulingga, A., Kasih, I., Hasibuan, S., Simatupang, N., & Daulay, D. E. (2024). Achieving Competency in Pencak Silat Courses Through the Application of Android Media. <https://doi.org/10.4108/eai.24-10-2023.2342096>
- Sudiana, I. K., Swadesi, I. K. I., Artanayasa, I. W., Ariani, N. L. P. T., Kusuma, K. C. A., & Sumadita, I. W. (2023). Plyometric Stair Jump and Reaction Box Jump to Improve the Frequency of Straight-forward Kicks in Pencak Silat Athletes. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 11(1), 162-169. <https://doi.org/10.13189/saj.2023.110119>
- Syaifullah, R., & Maghribi, I. L. (2023). Speed Analysis of the Front Kicks Technique in 2022 Pencak Silat World Champion Athletes: Kinematic Analysis. *Jurnal*

*Sportif Jurnal Penelitian Pembelajaran, 9(1), 146-159.*  
[https://doi.org/10.29407/js\\_unpgri.v9i1.19983](https://doi.org/10.29407/js_unpgri.v9i1.19983)