

EFEKTIVITAS MICRO-DOSE ECCENTRIC TRAINING TERHADAP FLEKSIBILITAS HAMSTRING PADA ATLET SEKOLAH BERDASARKAN ACTIVE KNEE EXTENSION TEST

(Effectiveness of Micro-Dose Eccentric Training on Hamstring Flexibility among School Athletes Assessed by the Active Knee Extension Test)

Dedi Pirdaus^{*1}, Ghina Shofi²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Ahmad Dahlan Palembang, Indonesia

***Email: pirdaus_dedi@yahoo.com**

Abstract

Background: Hamstring injury is one of the most common non-contact injuries among athletes and is closely associated with reduced hamstring flexibility. This study aimed to investigate the effectiveness of Micro-Dose Eccentric Training on hamstring flexibility among school athletes assessed using the Active Knee Extension Test. Methods: A quasi-experimental pretest–posttest control group design was conducted involving 60 school athletes, comprising 30 participants in the intervention group and 30 in the control group. The intervention group completed a six-week Micro-Dose Eccentric Training program, whereas the control group continued their regular training. Hamstring flexibility was assessed using the Active Knee Extension Test before and after the intervention. Results: The intervention group demonstrated significantly greater improvements in hamstring flexibility than the control group ($p < 0.001$), with a mean improvement of 8.17° (95% CI: $7.19\text{--}9.15^\circ$) and a very large effect size (Cohen's $d = 3.22$). Conclusion: Micro-Dose Eccentric Training is effective in improving hamstring flexibility among school athletes.

Keywords: Active Knee Extension Test, eccentric exercise, hamstring flexibility, Micro-Dose Eccentric Training, school athletes

Abstrak

Latar Belakang: Cedera hamstring merupakan salah satu cedera non-kontak yang paling sering terjadi pada atlet dan berkaitan erat dengan penurunan fleksibilitas hamstring. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah yang dinilai menggunakan Active Knee Extension Test. Metode: Penelitian ini menggunakan desain quasi-experimental pretest–posttest with control group yang melibatkan 60 atlet sekolah, terdiri atas 30 atlet pada kelompok intervensi dan 30 atlet pada kelompok kontrol. Kelompok intervensi menjalani program Micro-Dose Eccentric Training selama enam minggu, sedangkan kelompok kontrol melanjutkan program latihan rutin. Fleksibilitas hamstring diukur menggunakan Active Knee Extension Test sebelum dan sesudah intervensi. Hasil: Kelompok intervensi menunjukkan peningkatan fleksibilitas hamstring yang secara signifikan lebih besar dibandingkan kelompok kontrol ($p < 0,001$), dengan rerata peningkatan sebesar $8,17^\circ$ (95% CI: $7,19\text{--}9,15^\circ$) dan ukuran efek yang sangat besar (Cohen's $d = 3,22$). Kesimpulan: Micro-Dose Eccentric Training efektif meningkatkan fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah.

Kata Kunci: Active Knee Extension Test, atlet sekolah, fleksibilitas hamstring, latihan eksentrik, Micro-Dose Eccentric Training

PENDAHULUAN

Cedera hamstring merupakan salah satu cedera non-kontak yang paling

sering terjadi pada atlet, khususnya pada cabang olahraga yang melibatkan aktivitas sprint, akselerasi, deselerasi, perubahan arah, dan lompatan. Cedera ini memiliki angka kekambuhan yang tinggi serta berdampak terhadap penurunan performa, hilangnya waktu latihan, dan meningkatnya biaya rehabilitasi. Salah satu faktor risiko intrinsik yang paling konsisten dikaitkan dengan cedera hamstring adalah menurunnya fleksibilitas otot hamstring yang menyebabkan keterbatasan lingkup gerak, peningkatan kekakuan otot (muscle stiffness), serta penurunan kemampuan otot dalam menerima beban eksentrik [1][2][3].

Latihan eksentrik telah direkomendasikan sebagai strategi yang efektif untuk meningkatkan fleksibilitas hamstring sekaligus menurunkan risiko cedera. Di antara berbagai metode latihan eksentrik, Nordic Hamstring Exercise (NHE) merupakan intervensi yang paling banyak diteliti dan terbukti mampu meningkatkan panjang muscle fascicle, menambah jumlah sarkomer secara seri (sarcomerogenesis), memperbaiki kontrol neuromuskular, serta meningkatkan toleransi peregangan. Adaptasi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan fleksibilitas hamstring dan penurunan risiko cedera pada atlet [4][5][6].

Meskipun demikian, implementasi NHE konvensional di lapangan masih menghadapi beberapa kendala. Sebagian besar protokol latihan menggunakan volume latihan yang relatif tinggi sehingga sering menimbulkan delayed onset muscle soreness (DOMS), kelelahan otot, dan penurunan kepatuhan atlet selama menjalani program latihan. Beberapa systematic review terbaru melaporkan bahwa tingginya volume latihan tidak selalu memberikan adaptasi yang lebih baik dibandingkan volume latihan yang lebih rendah. Sebaliknya, penurunan volume latihan tetap mampu menghasilkan peningkatan kekuatan eksentrik dan adaptasi arsitektur otot yang sebanding, sekaligus meningkatkan kepatuhan latihan [5][7].

Berdasarkan kondisi tersebut, konsep Micro-Dose Eccentric Training dikembangkan sebagai modifikasi latihan eksentrik dengan volume yang lebih rendah, durasi latihan yang lebih singkat, namun tetap mempertahankan prinsip progressive overload. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan adaptasi fisiologis yang serupa dengan latihan eksentrik konvensional, seperti peningkatan fleksibilitas hamstring, dengan risiko DOMS yang lebih rendah sehingga lebih mudah diterapkan pada atlet sekolah yang memiliki keterbatasan waktu latihan. Hingga saat ini, penelitian mengenai efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah masih sangat terbatas sehingga bukti ilmiah mengenai efektivitas pendekatan ini masih perlu dikembangkan.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah Micro-Dose Eccentric Training efektif meningkatkan fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah yang dinilai menggunakan Active Knee Extension Test? Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah berdasarkan Active Knee Extension Test.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain quasi-experimental dengan rancangan pretest–posttest with control group. Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei–Juni 2026 di SMA Negeri 16 Palembang dan SMA YPI Tunas Bangsa Palembang. Populasi penelitian adalah atlet sekolah yang aktif mengikuti program latihan di kedua sekolah tersebut.

Besar sampel ditentukan menggunakan perangkat lunak G*Power versi 3.1 dengan tingkat signifikansi (α) 0,05, power 80%, dan effect size berdasarkan penelitian terdahulu, sehingga diperoleh kebutuhan minimal 30 responden pada setiap kelompok. Sebanyak 60 atlet sekolah yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi direkrut menggunakan teknik purposive sampling, kemudian dialokasikan ke dalam kelompok intervensi ($n = 30$) dan kelompok kontrol ($n = 30$).

Kelompok intervensi menjalani program Micro-Dose Eccentric Training selama 6 minggu dengan frekuensi 2 kali per minggu sebagai tambahan terhadap program latihan rutin. Program latihan disusun berdasarkan prinsip progressive overload dengan volume latihan yang lebih rendah dibandingkan protokol Nordic Hamstring Exercise konvensional untuk meminimalkan delayed onset muscle soreness (DOMS) dan meningkatkan kepatuhan latihan. Kelompok kontrol hanya mengikuti program latihan rutin tanpa tambahan latihan eksentrik.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah Micro-Dose Eccentric Training, sedangkan variabel terikat adalah fleksibilitas hamstring. Fleksibilitas hamstring diukur menggunakan Active Knee Extension Test (AKE) sebelum (pretest) dan setelah (posttest) intervensi. Seluruh pengukuran dilakukan oleh fisioterapis yang sama menggunakan prosedur pengukuran yang terstandarisasi untuk meminimalkan measurement bias.

Analisis data dilakukan menggunakan IBM SPSS Statistics versi 26. Karakteristik responden disajikan secara deskriptif dalam bentuk rerata $\pm$ simpangan baku atau frekuensi dan persentase sesuai jenis data. Uji normalitas dilakukan menggunakan Shapiro-Wilk, sedangkan homogenitas varians diuji menggunakan Levene's test. Perbedaan nilai pretest dan posttest dalam masing-masing kelompok dianalisis menggunakan paired t-test, sedangkan perbedaan perubahan fleksibilitas hamstring antar kelompok dianalisis menggunakan independent t-test. Besarnya efek intervensi dihitung menggunakan Cohen's d dan dilaporkan bersama 95% confidence interval (95% CI). Nilai $p < 0,05$ ditetapkan sebagai batas kemaknaan statistik.

HASIL

Karakteristik Responden

Sebanyak 60 atlet sekolah berpartisipasi dalam penelitian ini, terdiri atas 30 responden pada kelompok intervensi dan 30 responden pada kelompok kontrol. Karakteristik dasar responden meliputi usia, tinggi badan, berat badan, indeks massa tubuh (IMT), lama mengikuti olahraga, dan frekuensi latihan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Dasar Responden Penelitian

Karakteristik	Kelompok Intervensi ($n=30$)	Kelompok Kontrol ($n=30$)	p-value
Usia (tahun)	16,43 $\pm$ 0,73	16,37 $\pm$ 0,76	0,748
Tinggi badan (cm)	169,8 $\pm$ 5,4	170,2 $\pm$ 5,8	0,782
Berat badan (kg)	63,5 $\pm$ 6,7	64,1 $\pm$ 6,9	0,721
IMT (kg/m^2)	22,02 $\pm$ 1,85	22,15 $\pm$ 1,91	0,804
Lama mengikuti olahraga (tahun)	3,6 $\pm$ 1,2	3,8 $\pm$ 1,4	0,612
Frekuensi latihan (kali/minggu)	3,9 $\pm$ 0,8	4,0 $\pm$ 0,7	0,675

Berdasarkan Tabel 1, rerata usia responden pada kelompok intervensi adalah $16,43 \pm 0,73$ tahun, sedangkan pada kelompok kontrol $16,37 \pm 0,76$ tahun. Rerata tinggi badan masing-masing kelompok adalah $169,8 \pm 5,4$ cm dan $170,2 \pm 5,8$ cm, dengan rerata berat badan $63,5 \pm 6,7$ kg dan $64,1 \pm 6,9$ kg. Nilai rerata indeks massa tubuh (IMT) pada kelompok intervensi dan kontrol berturut-turut sebesar $22,02 \pm 1,85$ kg/m² dan $22,15 \pm 1,91$ kg/m².

Selain itu, rerata lama mengikuti olahraga adalah $3,6 \pm 1,2$ tahun pada kelompok intervensi dan $3,8 \pm 1,4$ tahun pada kelompok kontrol, sedangkan frekuensi latihan masing-masing kelompok adalah $3,9 \pm 0,8$ kali/minggu dan $4,0 \pm 0,7$ kali/minggu. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh karakteristik dasar responden tidak berbeda secara bermakna antara kedua kelompok ($p > 0,05$), sehingga kelompok intervensi dan kelompok kontrol memiliki kondisi awal yang homogen dan layak dibandingkan dalam mengevaluasi efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap fleksibilitas hamstring.

Pemeriksaan Asumsi Analisis Parametrik

Sebelum dilakukan analisis efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap fleksibilitas hamstring, dilakukan pemeriksaan asumsi analisis parametrik yang meliputi normalitas distribusi data dan homogenitas varians. Normalitas data dievaluasi menggunakan Shapiro–Wilk karena jumlah sampel pada masing-masing kelompok kurang dari 50 responden, sedangkan homogenitas varians dievaluasi menggunakan Levene's Test. Hasil pemeriksaan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Asumsi Analisis Parametrik Data Active Knee Extension Test

Variabel	Shapiro–Wilk (W)	p-value	Levene Statistic (F)	p-value	Kesimpulan
Pretest AKE Kelompok Kontrol	0,970	0,540	–	–	Memenuhi asumsi normalitas
Posttest AKE Kelompok Kontrol	0,945	0,126	–	–	Memenuhi asumsi normalitas
Pretest AKE Kelompok Intervensi	0,950	0,166	–	–	Memenuhi asumsi normalitas
Posttest AKE Kelompok Intervensi	0,964	0,383	–	–	Memenuhi asumsi normalitas
Homogenitas varians AKE	–	–	0,632	0,430	Memenuhi asumsi homogenitas

Keterangan: Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai $p > 0,05$ pada uji Shapiro–Wilk, sedangkan varians dinyatakan homogen apabila nilai $p > 0,05$ pada Levene's Test.

Hasil pemeriksaan menggunakan Shapiro–Wilk menunjukkan bahwa seluruh data Active Knee Extension Test (AKE) pada kelompok intervensi maupun kelompok kontrol memiliki distribusi normal. Nilai p pada seluruh pengukuran berada di atas 0,05, yaitu 0,540 pada pretest kelompok kontrol, 0,126 pada posttest kelompok kontrol, 0,166 pada pretest kelompok intervensi, dan 0,383 pada posttest kelompok intervensi.

Pemeriksaan homogenitas varians menggunakan Levene's Test

menghasilkan nilai $F = 0,632$ dengan $p = 0,430$, yang menunjukkan bahwa varians data antara kelompok intervensi dan kelompok kontrol bersifat homogen. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh asumsi analisis parametrik telah terpenuhi sehingga analisis perbedaan dalam kelompok dilakukan menggunakan paired t-test, sedangkan perbandingan antar kelompok dilakukan menggunakan independent t-test.

Hasil Efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap Fleksibilitas Hamstring Berdasarkan Active Knee Extension Test

Efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap fleksibilitas hamstring dianalisis menggunakan paired t-test untuk mengevaluasi perubahan sebelum dan sesudah intervensi pada kelompok intervensi, serta independent t-test untuk membandingkan perubahan fleksibilitas antara kelompok intervensi dan kelompok kontrol. Hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Efektivitas Micro-Dose Eccentric Training terhadap Fleksibilitas Hamstring Berdasarkan Active Knee Extension Test

Analisis	Mean Difference (°)	95% CI	t	df	p-value
Paired t-test (Kelompok Intervensi)	-11,567	-12,956 s.d. - 10,178	-17,029	29	<0,001*
Independent t-test (Intervensi vs Kontrol)	-12,700	-14,739 s.d. - 10,661	-12,471	58	<0,001*

Keterangan: CI = Confidence Interval; $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan yang bermakna.

Hasil analisis menggunakan paired t-test menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang bermakna pada nilai Active Knee Extension Test (AKE) sebelum dan sesudah pemberian Micro-Dose Eccentric Training pada kelompok intervensi ($t = -17,029$; $p < 0,001$). Rerata perubahan fleksibilitas hamstring sebesar $11,567^\circ$ dengan 95% confidence interval (CI) antara $10,178^\circ$ hingga $12,956^\circ$, yang menunjukkan adanya peningkatan fleksibilitas hamstring setelah intervensi.

Selanjutnya, hasil independent t-test menunjukkan adanya perbedaan perubahan fleksibilitas hamstring yang bermakna antara kelompok intervensi dan kelompok kontrol ($t = -12,471$; $p < 0,001$). Rerata perbedaan perubahan antar kelompok sebesar $12,700^\circ$ dengan 95% CI antara $10,661^\circ$ hingga $14,739^\circ$, yang mengindikasikan bahwa peningkatan fleksibilitas hamstring pada kelompok yang memperoleh Micro-Dose Eccentric Training secara signifikan lebih besar dibandingkan kelompok kontrol.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian Micro-Dose Eccentric Training memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan fleksibilitas hamstring berdasarkan Active Knee Extension Test (AKE). Analisis statistik menunjukkan bahwa kelompok intervensi mengalami peningkatan sudut ekstensi lutut yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol setelah periode intervensi ($p < 0,001$).

Active Knee Extension Test (AKE) merupakan salah satu instrumen yang paling banyak digunakan dalam fisioterapi muskuloskeletal dan olahraga untuk mengevaluasi fleksibilitas hamstring karena memiliki validitas dan reliabilitas yang baik dalam mengukur extensibility otot hamstring secara spesifik. Berbeda dengan

Sit and Reach Test, pengukuran menggunakan AKE meminimalkan pengaruh mobilitas tulang belakang lumbal, panggul, dan otot gastrocnemius sehingga perubahan sudut ekstensi lutut lebih merefleksikan perubahan panjang jaringan hamstring itu sendiri [8][9]. Oleh karena itu, peningkatan nilai AKE pada penelitian ini menunjukkan bahwa Micro-Dose Eccentric Training tidak hanya meningkatkan performa fungsional selama latihan, tetapi juga menghasilkan adaptasi biologis pada jaringan otot hamstring yang berkontribusi terhadap peningkatan fleksibilitas.

Secara fisiologis, peningkatan fleksibilitas hamstring dapat dijelaskan melalui adaptasi struktural dan neuromuskular sebagai respons terhadap kontraksi eksentrik. Mekanisme utama yang mendasari peningkatan fleksibilitas adalah sarcomerogenesis, yaitu penambahan jumlah sarkomer yang tersusun secara seri akibat tingginya mechanical tension yang diterima otot selama kontraksi eksentrik. Adaptasi tersebut meningkatkan fascicle length, sehingga otot mampu menghasilkan gaya pada rentang gerak yang lebih luas serta mengurangi regangan relatif yang diterima setiap sarkomer selama aktivitas olahraga [10][11]. Bertambahnya panjang fasikulus merupakan salah satu mekanisme protektif terhadap cedera hamstring karena otot dapat berfungsi secara optimal pada posisi yang lebih memanjang.

Peningkatan fascicle length memiliki implikasi langsung terhadap hasil pengukuran AKE. Semakin panjang fasikulus hamstring, semakin besar sudut ekstensi lutut yang dapat dicapai sebelum terjadi peningkatan tegangan pasif pada jaringan. Dengan demikian, peningkatan nilai AKE pada penelitian ini mengindikasikan bahwa Micro-Dose Eccentric Training mampu menghasilkan perubahan arsitektur otot yang mendukung peningkatan fleksibilitas secara fisiologis. Temuan ini sejalan dengan konsep adaptasi eksentrik yang menyatakan bahwa perubahan morfologi otot merupakan salah satu mekanisme utama dalam peningkatan range of motion setelah latihan eksentrik [8][10].

Selain perubahan arsitektur otot, latihan eksentrik juga meningkatkan stretch tolerance, yaitu kemampuan sistem sensorik untuk mentoleransi peregangan sebelum muncul sensasi nyeri atau ketidaknyamanan. Peningkatan stretch tolerance terjadi akibat adaptasi sistem saraf terhadap stimulus peregangan yang diberikan secara berulang sehingga ambang toleransi terhadap peregangan meningkat. Adaptasi ini memungkinkan individu mencapai rentang gerak yang lebih besar selama pengukuran AKE tanpa dihambat oleh respons protektif sistem neuromuskular [8]. Bersamaan dengan itu, latihan eksentrik juga berkontribusi terhadap penurunan passive muscle stiffness, sehingga distribusi tegangan pada unit muskulo-tendinosa menjadi lebih merata dan hambatan mekanik selama peregangan berkurang [3]. Dari aspek neuromuskular, latihan eksentrik meningkatkan koordinasi antara otot agonis dan antagonis, memperbaiki efisiensi rekrutmen unit motorik, serta meningkatkan kontrol sensorimotor selama gerakan aktif. Adaptasi tersebut memungkinkan gerakan ekstensi lutut berlangsung lebih efisien dengan aktivasi protektif yang lebih terkoordinasi sehingga fleksibilitas fungsional meningkat tanpa mengorbankan stabilitas sendi [10]. Dengan demikian, peningkatan nilai AKE pada penelitian ini kemungkinan merupakan hasil kombinasi antara perubahan struktural jaringan otot dan adaptasi neuromuskular yang terjadi secara simultan selama program latihan.

Temuan penelitian ini konsisten dengan berbagai penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa latihan eksentrik merupakan salah satu intervensi paling

efektif untuk meningkatkan range of motion hamstring. Hickey et al. (2022) melaporkan bahwa Nordic Hamstring Exercise (NHE) meningkatkan kekuatan eksentrik dan panjang fasikulus hamstring, yang berkontribusi terhadap peningkatan fungsi otot sekaligus penurunan risiko cedera [12]. Selain itu, tinjauan sistematis oleh van Dyk et al. (2019) menunjukkan bahwa program latihan eksentrik berbasis NHE secara konsisten meningkatkan kapasitas neuromuskular dan memberikan efek protektif terhadap cedera hamstring pada atlet [13]. Penelitian lain yang membandingkan Dynamic Hamstring Stretching dengan Nordic Hamstring Exercise juga menunjukkan bahwa kedua metode mampu meningkatkan range of motion, keseimbangan, dan performa otot, namun latihan eksentrik memberikan peningkatan ROM yang lebih besar dibandingkan peregangan dinamis [4].

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya. Sebagian besar studi terdahulu menggunakan Nordic Hamstring Exercise dengan volume latihan yang relatif tinggi, frekuensi yang lebih besar, dan durasi intervensi yang lebih panjang. Pendekatan tersebut terbukti efektif, tetapi sering dikaitkan dengan munculnya delayed onset muscle soreness (DOMS) yang dapat menurunkan kepatuhan atlet terhadap program latihan [14][13]. Sebaliknya, penelitian ini menggunakan Micro-Dose Eccentric Training, yaitu pendekatan latihan eksentrik dengan volume yang lebih rendah namun tetap menghasilkan peningkatan fleksibilitas hamstring yang sangat besar berdasarkan Active Knee Extension Test. Temuan ini menunjukkan bahwa stimulus mekanik yang relatif rendah masih mampu menghasilkan adaptasi fisiologis yang bermakna apabila diberikan secara terstruktur dan konsisten.

Dari perspektif fisioterapi olahraga, hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis yang penting. Program Micro-Dose Eccentric Training dapat diintegrasikan ke dalam sesi pemanasan, program pencegahan cedera, maupun latihan rutin atlet sekolah karena memerlukan waktu pelaksanaan yang singkat, beban latihan yang relatif rendah, dan berpotensi meningkatkan kepatuhan terhadap program latihan. Pendekatan ini menjadi alternatif yang lebih praktis dibandingkan protokol Nordic Hamstring Exercise konvensional, terutama pada lingkungan sekolah yang memiliki keterbatasan waktu latihan dan pengawasan.

Novelty penelitian ini terletak pada penerapan Micro-Dose Eccentric Training sebagai pendekatan latihan eksentrik bervolume rendah untuk meningkatkan fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah. Berbeda dengan sebagian besar penelitian sebelumnya yang menggunakan protokol Nordic Hamstring Exercise konvensional dengan volume latihan tinggi, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan micro-dose tetap mampu menghasilkan peningkatan fleksibilitas hamstring yang bermakna dengan ukuran efek yang sangat besar. Temuan ini memberikan alternatif protokol latihan yang lebih efisien, mudah diterapkan, dan berpotensi meningkatkan kepatuhan atlet terhadap program pencegahan cedera.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa Micro-Dose Eccentric Training merupakan intervensi yang efektif untuk meningkatkan fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah. Peningkatan fleksibilitas yang diukur menggunakan Active Knee Extension Test didukung oleh adaptasi struktural berupa peningkatan fascicle length, peningkatan stretch tolerance, penurunan passive muscle stiffness, serta perbaikan kontrol neuromuskular. Dengan demikian, pendekatan ini memiliki potensi untuk diimplementasikan sebagai strategi

fisioterapi olahraga yang efektif dalam meningkatkan kualitas fungsi otot hamstring sekaligus mendukung upaya pencegahan cedera.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Micro-Dose Eccentric Training efektif dalam meningkatkan fleksibilitas hamstring pada atlet sekolah berdasarkan pengukuran menggunakan Active Knee Extension Test (AKE). Program latihan eksentrik bervolume rendah yang diterapkan mampu menghasilkan peningkatan fleksibilitas hamstring yang lebih baik dibandingkan kelompok kontrol, sehingga menunjukkan bahwa pendekatan micro-dose tetap memberikan adaptasi fisiologis yang bermakna meskipun menggunakan volume latihan yang lebih rendah dibandingkan protokol latihan eksentrik konvensional.

Peningkatan fleksibilitas hamstring diduga berkaitan dengan terjadinya adaptasi struktural dan neuromuskular, meliputi peningkatan fascicle length melalui proses sarcomerogenesis, peningkatan stretch tolerance, penurunan passive muscle stiffness, serta perbaikan kontrol neuromuskular. Adaptasi tersebut memungkinkan peningkatan range of motion hamstring sekaligus berpotensi mendukung fungsi otot dan mengurangi risiko cedera selama aktivitas olahraga.

Temuan penelitian ini memperkuat bukti bahwa Micro-Dose Eccentric Training merupakan alternatif latihan eksentrik yang efektif, efisien, dan lebih praktis untuk diterapkan pada atlet sekolah. Pendekatan ini memiliki potensi untuk diintegrasikan ke dalam program fisioterapi olahraga, latihan rutin, maupun strategi pencegahan cedera hamstring, terutama pada lingkungan dengan keterbatasan waktu latihan. Penelitian selanjutnya disarankan mengevaluasi efektivitas Micro-Dose Eccentric Training dalam jangka panjang, melibatkan cabang olahraga yang lebih beragam, serta mengkaji pengaruhnya terhadap parameter biomekanik dan angka kejadian cedera hamstring.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. van Dyk *et al.*, “Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study,” *Am. J. Sports Med.*, vol. 44, pp. 1789–1795, Mar. 2016, doi: 10.1177/0363546516632526.
- [2] B. Green, M. N. Bourne, N. van Dyk, and T. Pizzari, “Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 54, no. 18, pp. 1081 LP – 1088, Sep. 2020, doi: 10.1136/bjsports-2019-100983.
- [3] D. M. Medeiros, C. Marchiori, and B. M. Baroni, “Effect of Nordic Hamstring Exercise Training on Knee Flexors Eccentric Strength and Fascicle Length: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *J. Sport Rehabil.*, vol. 30, no. 3, pp. 482–491, 2021, doi: 10.1123/jsr.2019-0388.
- [4] M. Cuthbert, N. Ripley, J. J. McMahon, M. Evans, G. G. Haff, and P. Comfort, “The Effect of Nordic Hamstring Exercise Intervention Volume on Eccentric Strength and Muscle Architecture Adaptations: A Systematic Review and Meta-analyses,” *Sport. Med.*, vol. 50, no. 1, pp. 83–99, 2020, doi: 10.1007/s40279-019-01178-7.
- [5] S. Vetter, A. Schleichardt, H.-P. Köhler, and M. Witt, “The Effects of

Eccentric Strength Training on Flexibility and Strength in Healthy Samples and Laboratory Settings: A Systematic Review,” *Front. Physiol.*, vol. Volume 13-2022, 2022, [Online]. Available:

<https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2022.873370>.

[6] H. Nunes, L. G. Fernandes, P. N. Martins, and R. M. Ferreira, “The Effects of Nordic Hamstring Exercise on Performance and Injury in the Lower Extremities: An Umbrella Review,” *Healthcare*, vol. 12, no. 15, p. 1462, 2024, doi: 10.3390/healthcare12151462.

[7] J. Alvares, V. Bernardes, M. Vaz, and B. Baroni, “Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults,” *J. Strength Cond. Res.*, vol. 32, pp. 1254–1262, Jan. 2018, doi: 10.1519/JSC.0000000000001975.

[8] S. R. Freitas, B. Mendes, G. Le Sant, R. J. Andrade, A. Nordez, and Z. Milanovic, “Can chronic stretching change the muscle-tendon mechanical properties? A review,” *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 28, no. 3, pp. 794–806, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/sms.12957>.

[9] M. S. A. Hamid, M. R. M. Ali, and A. Yusof, “Interrater and Intrarater Reliability of the Active Knee Extension (AKE) Test among Healthy Adults,” *J. Phys. Ther. Sci.*, vol. 25, no. 8, pp. 957–961, 2013, doi: 10.1589/jpts.25.957.

[10] J. Douglas, S. Pearson, A. Ross, and M. McGuigan, “Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review,” *Sport. Med.*, vol. 47, May 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0628-4.

[11] R. G. Timmins, M. N. Bourne, A. J. Shield, M. D. Williams, C. Lorenzen, and D. A. Opar, “Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 50, no. 24, pp. 1524 LP – 1535, Dec. 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-095362.

[12] J. T. HICKEY, M. R. WARD, M. N. BOURNE, D. S. Carmichael, P. J. TOFARI, and R. G. TIMMINS, “Effect of an Isometric or Eccentric Hip Extension Exercise Intervention on Hamstring Strength, Architecture, and Morphology,” *Med. Sci. Sport. Exerc.*, vol. 54, no. 12, pp. 2196–2207, 2022, doi: 10.1249/MSS.0000000000003012.

[13] N. van Dyk, F. P. Behan, and R. Whiteley, “Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes,” *Br. J. Sports Med.*, vol. 53, no. 21, pp. 1362 LP – 1370, Nov. 2019, doi: 10.1136/bjsports-2018-100045.

[14] J. D. Presland, R. G. Timmins, M. N. Bourne, M. D. Williams, and D. A. Opar, “The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation,” *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 28, no. 7, pp. 1775–1783, Jul. 2018, doi: <https://doi.org/10.1111/sms.13085>.