

EFEKTIVITAS PROGRAM *RECOVERY UPPER LIMB* BERBASIS *NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION* (NMES) PADA *CEREBRAL PALSY QUADRIPLAGIC*

Yusuf Ardian Suradinata¹; Suryo Saputra Perdana¹

¹Program Studi S1 Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Latar Belakang: Atlet dengan severe cerebral palsy tipe quadriplegic (GMFCS level IV–V) sering mengalami spastisitas ekstremitas atas yang berdampak pada keterbatasan fungsi motorik, kontrol gerak, serta performa olahraga seperti boccia. Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) merupakan salah satu intervensi fisioterapi yang berpotensi menurunkan spastisitas melalui modulasi neuromuskular dan regulasi refleks spinal, namun gambaran perubahan spastisitas pada berbagai kelompok otot ekstremitas atas setelah intervensi masih perlu dijelaskan secara lebih rinci. **Tujuan:** Riset ini bertujuan untuk mendeskripsikan perubahan tingkat spastisitas ekstremitas atas setelah pemberian program recovery upper limb berbasis NMES pada atlet dengan severe cerebral palsy quadriplegic. **Metode:** Riset ini menerapkan desain quasi-experimental dengan pendekatan one group pretest–posttest. Subjek riset berjumlah 20 atlet boccia dengan diagnosis cerebral palsy quadriplegic GMFCS level IV–V. Intervensi NMES diberikan selama 4 minggu dengan frekuensi 3 kali per minggu. Parameter yang diukur meliputi tingkat spastisitas otot biceps brachii, fleksor pergelangan tangan, dan adduktor bahu menggunakan Modified Ashworth Scale (MAS). Analisis data dilakukan secara deskriptif serta inferensial menggunakan uji normalitas Shapiro–Wilk, Paired Sample t-test, uji korelasi Pearson, dan perhitungan effect size (R^2). **Hasil:** Hasil analisis menunjukkan adanya penurunan rerata skor MAS pada seluruh kelompok otot setelah intervensi. Rerata MAS biceps menurun dari $2,095 \pm 0,710$ menjadi $1,640 \pm 0,718$; fleksor pergelangan tangan dari $2,255 \pm 0,607$ menjadi $1,650 \pm 0,668$; serta adduktor bahu dari $2,460 \pm 0,510$ menjadi $2,000 \pm 0,612$. Penurunan rata-rata MAS ekstremitas atas dari $2,271 \pm 0,411$ menjadi $1,764 \pm 0,413$ menunjukkan perbaikan tonus otot secara keseluruhan ($p < 0,05$). Korelasi yang sangat kuat ditemukan antara fleksor pergelangan tangan dengan rata-rata spastisitas ekstremitas atas ($r = 0,855$; $R^2 = 0,731$), sedangkan kontribusi biceps relatif kecil ($R^2 = 0,053$). **Kesimpulan:** Program recovery upper limb berbasis NMES menunjukkan efektivitas dalam menurunkan spastisitas ekstremitas atas pada atlet dengan severe cerebral palsy quadriplegic. Kelompok otot fleksor pergelangan tangan memiliki kontribusi dominan terhadap perubahan spastisitas global ekstremitas atas. NMES berpotensi menjadi intervensi fisioterapi olahraga yang bermanfaat untuk mendukung fungsi motorik dan recovery pada populasi ini. Riset lanjutan dengan desain randomized controlled trial dan sampel lebih besar diperlukan untuk memperkuat temuan ini.

Abstract

Background: Athletes with severe quadriplegic cerebral palsy (GMFCS level IV–V) frequently experience upper limb spasticity, which impacts motor function, movement control, and sports performance such as boccia. Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) is a physiotherapy intervention that has the potential to reduce spasticity through

neuromuscular modulation and spinal reflex regulation. However, detailed descriptions of changes in spasticity across different upper limb muscle groups following intervention remain limited. **Objective:** This study aimed to describe changes in upper limb spasticity levels after the implementation of an NMES-based upper limb recovery program in athletes with severe quadriplegic cerebral palsy. **Methods:** This study employed a quasi-experimental design with a one-group pretest–posttest approach. The subjects consisted of 20 boccia athletes diagnosed with quadriplegic cerebral palsy GMFCS level IV–V. The NMES intervention was administered for 4 weeks, with a frequency of three sessions per week. The measured parameters included spasticity levels of the biceps brachii, wrist flexors, and shoulder adductors using the Modified Ashworth Scale (MAS). Data analysis was conducted using descriptive and inferential statistics, including the Shapiro–Wilk normality test, Paired Sample t-test, Pearson correlation test, and effect size calculation (R^2). **Results:** The analysis demonstrated a decrease in the mean MAS scores across all muscle groups following the intervention. The mean MAS score for the biceps decreased from 2.095 ± 0.710 to 1.640 ± 0.718 ; wrist flexors from 2.255 ± 0.607 to 1.650 ± 0.668 ; and shoulder adductors from 2.460 ± 0.510 to 2.000 ± 0.612 . The reduction in the overall upper limb MAS mean score from 2.271 ± 0.411 to 1.764 ± 0.413 indicated an overall improvement in muscle tone ($p < 0.05$). A very strong correlation was found between wrist flexor spasticity and overall upper limb spasticity ($r = 0.855$; $R^2 = 0.731$), whereas the contribution of the biceps was relatively small ($R^2 = 0.053$). **Conclusion:** The NMES-based upper limb recovery program was effective in reducing upper limb spasticity in athletes with severe quadriplegic cerebral palsy. The wrist flexor muscle group demonstrated a dominant contribution to global upper limb spasticity changes. NMES has the potential to serve as a beneficial sports physiotherapy intervention to support motor function and recovery in this population. Further research using a randomized controlled trial design with a larger sample size is recommended to strengthen these findings.

1. PENDAHULUAN

Dalam perspektif Islam, kesehatan merupakan nikmat dan amanah dari Allah Swt. yang wajib dijaga dan diupayakan pemulihannya ketika terganggu. Allah berfirman dalam Q.S. Asy-Syu'ara ayat 80: “Dan apabila aku sakit, Dialah yang menyembuhkan aku.” (Q.S. Asy-Syu'ara: 80). Ayat tersebut menunjukkan bahwa upaya pengobatan dan pemulihan kesehatan, termasuk melalui terapi fisioterapi dan teknologi seperti Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES), merupakan bagian dari ikhtiar manusia untuk memperoleh kesembuhan dengan izin Allah Swt (Kementerian Agama RI, 2019).

Islam juga sangat menekankan pentingnya menjaga keberfungsian tubuh untuk dapat beribadah dan beramal saleh. Rasulullah SAW bersabda: “Mukmin yang kuat lebih baik dan lebih dicintai Allah daripada mukmin yang lemah.” (HR. Muslim). Hadis ini mengandung makna bahwa kekuatan fisik dan kesehatan adalah modal penting bagi seorang mukmin untuk menjalankan kewajiban dan tanggung jawabnya di dunia. Oleh karena itu, terapi yang bertujuan meningkatkan kemampuan fungsional dan kemandirian,

seperti pada penyandang Cerebral Palsy quadriplegic, sejalan dengan ajaran Islam tentang peningkatan kualitas hidup dan kemaslahatan.

Selain itu, penelitian ini mencerminkan nilai rahmatan lil ‘alamin, yaitu memberikan manfaat bagi sesama manusia, khususnya bagi individu dengan keterbatasan fisik. Dalam Islam, menolong sesama yang membutuhkan merupakan amal yang sangat mulia. Sebagaimana sabda Nabi Muhammad SAW: “Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya.” (HR. Ahmad) Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bernilai akademik dan ilmiah, tetapi juga memiliki dimensi spiritual dan sosial yang kuat, karena menjadi bentuk kontribusi nyata dalam membantu penyandang disabilitas mencapai kehidupan yang lebih baik, mandiri, dan bermartabat sesuai dengan nilai-nilai Islam.

Olahraga adaptif merupakan salah satu sarana penting dalam meningkatkan kualitas hidup penyandang disabilitas, baik dari aspek fisik, psikologis, maupun sosial. Partisipasi dalam olahraga adaptif terbukti dapat meningkatkan kebugaran fisik, kepercayaan diri, serta interaksi sosial pada individu dengan disabilitas (Luis C. Feitosa et al., 2017; Ana Roldan et al., 2017). Selain itu, aktivitas olahraga juga berperan dalam mendukung kesehatan mental dan meningkatkan partisipasi sosial penyandang disabilitas dalam kehidupan sehari-hari (Sharon Kamper et al., 2006). Salah satu cabang olahraga adaptif yang berkembang pesat dalam olahraga paralimpik adalah Boccia, yang diperuntukkan bagi atlet dengan gangguan neuromuskular berat seperti cerebral palsy. Boccia merupakan olahraga presisi yang dimainkan dengan cara melempar, menggulirkan, atau menggunakan alat bantu (ramp) untuk mendekatkan bola ke bola target (jack) (World Boccia, 2023). Cabang ini pertama kali dipertandingkan pada ajang Paralympic Games tahun 1984 dan berada di bawah naungan World Boccia, yang mengatur sistem klasifikasi dan regulasi pertandingan secara internasional (World Boccia, 2023).

Atlet boccia umumnya berasal dari individu dengan kondisi neurologis seperti cerebral palsy (CP), muscular dystrophy, atau gangguan motorik berat lainnya yang memengaruhi kontrol postural, koordinasi, kekuatan otot, dan kemampuan manipulatif (World Boccia, 2023). Sistem klasifikasi boccia (BC1–BC4) dirancang untuk memastikan keadilan kompetisi berdasarkan tingkat kemampuan fungsional atlet (Tweedy & Vanlandewijck, 2011). Sebagian besar atlet pada klasifikasi BC1 dan BC2

merupakan penyandang cerebral palsy dengan keterlibatan spastisitas dan gangguan kontrol gerak yang signifikan, sedangkan klasifikasi BC3 menggunakan alat bantu dan asisten karena keterbatasan gerak ekstremitas atas yang berat (World Boccia, 2023).

Secara fisiologis, performa dalam boccia sangat dipengaruhi oleh stabilitas trunk, kontrol postural, koordinasi ekstremitas atas, serta ketepatan gerak (motor control dan motor planning) (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Meskipun boccia tergolong olahraga presisi berintensitas rendah, tuntutan neuromuskularnya cukup kompleks, terutama dalam mempertahankan posisi duduk stabil, mengontrol kecepatan dan arah lemparan, serta melakukan repetisi gerakan dengan konsistensi tinggi (Van der Heide et al., 2015). Pada atlet dengan cerebral palsy quadriplegic, gangguan seperti spastisitas, kelemahan otot, dan keterbatasan rentang gerak dapat memengaruhi performa dan meningkatkan risiko kelelahan otot (Ryan et al., 2022).

Dalam konteks pembinaan prestasi, pendekatan fisioterapi dan latihan berbasis evidence-based practice menjadi komponen penting dalam mendukung performa atlet boccia (Novak et al., 2020). Intervensi seperti latihan stabilisasi trunk, penguatan otot ekstremitas atas, latihan koordinasi, serta penggunaan teknologi rehabilitasi seperti Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) berpotensi meningkatkan rekrutmen motor unit dan efisiensi kontraksi otot pada individu dengan gangguan neurologis (Memon et al., 2025). Selain itu, NMES juga berpotensi digunakan sebagai strategi *recovery* melalui peningkatan perfusi perifer dan aktivasi otot pascalatihan (Paillard, 2022).

Di Indonesia, perkembangan boccia semakin meningkat seiring dengan pembinaan yang dilakukan oleh National Paralympic Committee Indonesia (NPC Indonesia, 2023). Namun, penelitian ilmiah yang secara khusus mengkaji aspek fisiologis, biomekanik, dan efektivitas intervensi fisioterapi pada atlet boccia masih terbatas (Tweedy & Vanlandewijck, 2011). Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang sistematis untuk mengevaluasi intervensi latihan atau terapi tertentu guna mendukung peningkatan performa dan kualitas hidup atlet boccia secara optimal (Novak et al., 2013).

Cerebral Palsy (CP) merupakan gangguan perkembangan gerak dan postur penyebab tersebut dikarenakan adanya kerusakan atau kelainan pada otak yang sedang berkembang, terutama pada area yang mengatur fungsi motorik. Kondisi ini bersifat non-

progresif secara neurologis, namun dapat menimbulkan konsekuensi fungsional yang progresif sepanjang kehidupan akibat komplikasi sekunder seperti kontraktur, deformitas sendi, dan gangguan kontrol motorik. Menurut International Executive Committee for the Definition and Classification of Cerebral Palsy (2006), CP didefinisikan sebagai “gangguan permanen pada perkembangan gerak dan postur yang mengakibatkan keterbatasan aktivitas, disebabkan oleh gangguan non-progresif pada otak yang sedang berkembang.” Gangguan ini sering disertai kelainan sensorik, persepsi, komunikasi, dan kognitif, serta masalah muskuloskeletal sekunder seperti spastisitas dan kelemahan (Bax et al., 2007).

Secara global, prevalensi CP berkisar antara 2–2,5 per 1.000 kelahiran hidup, dengan insidensi yang lebih tinggi di negara berkembang akibat keterbatasan layanan prenatal dan perinatal. Di Indonesia, diperkirakan terdapat sekitar 1,4–2 anak per 1.000 kelahiran hidup yang mengalami CP, menjadikannya salah satu penyebab utama disabilitas fisik jangka panjang pada anak (Oskouy et al., 2013). Pada kelompok GMFCS level IV–V, sebagian besar penyandang CP mengalami quadriplegia dengan keterlibatan ekstremitas atas maupun bawah, yang ditandai dengan spasticity, kelemahan otot, dan keterbatasan kontrol motorik (Rajak et al., 2017). Kondisi ini berimplikasi besar terhadap fungsi ekstremitas atas, termasuk keterampilan motorik halus, kekuatan gengaman, dan kapasitas fungsional sehari-hari maupun olahraga (Rosenbaum et al., 2007).

Dalam konteks olahraga para-sport, peran ekstremitas atas sangat penting, baik untuk propulsi kursi roda, keterampilan teknik (misalnya dalam boccia atau para-athletics), maupun stabilisasi tubuh. Sayangnya, atlet CP quadriplegic sering mengalami kelelahan

otot (muscle fatigue) dan keterbatasan recovery akibat gangguan aktivasi neuromuskular dan efisiensi kontraksi otot (Ryan et al., 2022). Kondisi ini dapat menurunkan performa olahraga dan meningkatkan risiko cedera akibat overuse.

Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) merupakan salah satu intervensi fisioterapi yang telah terbukti dapat meningkatkan kekuatan otot, aktivasi neuromuskular, dan sirkulasi darah pada penyandang CP (Pool et al., 2021; El-Shamy & Abdelaal, 2023). Selain itu, NMES dapat digunakan sebagai strategi recovery untuk mempercepat pemulihan fungsi otot setelah latihan atau kompetisi intensif. Beberapa riset

menunjukkan manfaat NMES pada peningkatan muscle activation dan pengurangan spasticity, tetapi sebagian besar riset masih terfokus pada rehabilitasi sehari-hari, bukan pada populasi atlet dengan severe impairment. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada rehabilitasi fungsional harian, bukan pada populasi atlet dengan *severe impairment*, khususnya atlet CP quadriplegic dalam konteks olahraga prestasi. Oleh karena itu, riset mengenai efektivitas program *upper limb recovery* berbasis NMES pada atlet CP quadriplegic menjadi penting untuk menjembatani kesenjangan tersebut serta mendukung pengembangan protokol fisioterapi olahraga yang adaptif, efektif, dan berbasis bukti (Himmelmann & Uvebrant, 2022).

2. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas program recovery upper limb berbasis Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) terhadap penurunan spastisitas ekstremitas atas pada atlet dengan cerebral palsy quadriplegic GMFCS level IV–V. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan desain quasi-experimental menggunakan pendekatan one group pretest–posttest. Desain ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi perubahan tingkat spastisitas sebelum dan sesudah intervensi dalam satu kelompok tanpa adanya kelompok kontrol, sehingga sesuai dengan keterbatasan jumlah populasi atlet cerebral palsy quadriplegic dengan severe impairment. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh atlet boccia dengan diagnosis cerebral palsy tipe quadriplegic GMFCS level IV dan V yang mengalami keterbatasan fungsi ekstremitas atas. Jumlah populasi yang memenuhi kriteria sebanyak 20 orang, sehingga teknik pengambilan sampel menggunakan total sampling. Total sampling dipilih karena jumlah populasi relatif kecil dan seluruh anggota populasi memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Screening dilakukan melalui pemeriksaan status medis dan klasifikasi GMFCS untuk memastikan responden memenuhi syarat penelitian sebelum diberikan informed consent. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember 2025 di Klinik National Paralympic Committee (NPC) Kota Surakarta dan Laboratorium Fisioterapi Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Surakarta. Pengukuran tingkat spastisitas dilakukan menggunakan Modified Ashworth Scale (MAS) pada otot biceps brachii, fleksor pergelangan tangan, dan adduktor bahu. Penilaian dilakukan sebelum intervensi (pre-test) dan setelah program intervensi selesai (post-test). Skor MAS digunakan untuk menggambarkan derajat

spastisitas otot secara kuantitatif.

Program intervensi berupa NMES diberikan selama 4 minggu dengan frekuensi 3 kali per minggu. Elektroda ditempatkan pada otot biceps brachii, triceps brachii, dan wrist extensors. Parameter stimulasi meliputi intensitas 20–50 mA, frekuensi 35–50 Hz, durasi kontraksi 10 detik, waktu istirahat antar kontraksi 20 detik, dengan durasi total stimulasi ± 20 menit setiap sesi. Protokol ini dirancang untuk meningkatkan aktivasi neuromuskular serta membantu modulasi tonus otot pada individu dengan spastisitas. Strategi mitigasi bias dilakukan melalui standar prosedur intervensi yang sama pada seluruh responden, penempatan elektroda oleh fisioterapis yang sama, serta penggunaan instrumen pengukuran yang telah terbukti valid dan reliabel. Selain itu, dilakukan pengecekan konsistensi data serta dokumentasi setiap sesi intervensi untuk memastikan kepatuhan terhadap protokol. Analisis data dilakukan menggunakan program statistik melalui beberapa tahap. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik responden serta nilai mean, median, standar deviasi, minimum, dan maksimum skor MAS pada pre-test dan post-test. Uji normalitas menggunakan Shapiro–Wilk dilakukan karena jumlah sampel 20 responden. Apabila data berdistribusi normal, maka analisis perbedaan pre–post dilakukan menggunakan Paired Sample t-test, sedangkan apabila data tidak normal digunakan Wilcoxon Signed Rank Test. Uji korelasi Pearson dilakukan untuk mengetahui hubungan antar kelompok otot terhadap rata-rata spastisitas ekstremitas atas. Effect size dihitung menggunakan koefisien determinasi (R^2) dari analisis regresi linier sederhana untuk mengetahui kontribusi masing-masing kelompok otot terhadap perubahan spastisitas ekstremitas atas. Tingkat signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$).

Penelitian ini telah melalui proses kaji etik dan dinyatakan layak etik oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan (KEPK) Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Surakarta. Seluruh prosedur penelitian mengikuti prinsip etika penelitian kesehatan yang meliputi respect for persons, beneficence, dan justice. Kerahasiaan identitas responden dijamin sepenuhnya dan data hanya digunakan untuk kepentingan ilmiah. Data penelitian disimpan secara aman dengan perlindungan sandi serta dianonimkan menggunakan kode khusus untuk setiap responden.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Jenis Kelamin

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid Laki-Laki	16	80.0	80.0	80.0
Perempuan	4	20.0	20.0	100.0
Total	20	100.0	100.0	

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif, sebagian besar responden atlet boccia adalah laki-laki, yaitu sebanyak 16 orang (80,0%), sedangkan responden perempuan berjumlah 4 orang (20,0%). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa komposisi responden dalam riset ini didominasi oleh atlet boccia laki-laki.

Hasil ini menunjukkan bahwa partisipasi atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic GMFCS tingkat IV dan V dalam riset ini lebih banyak berasal dari kelompok laki-laki. Kondisi tersebut mencerminkan karakteristik sampel riset dan tidak memengaruhi tujuan utama riset yang berfokus pada evaluasi efek intervensi Neuromuscular Electrical

Stimulation (NMES) terhadap fungsi ekstremitas atas.

GMFCS

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid IV	14	70.0	70.0	70.0
V	6	30.0	30.0	100.0
Total	20	100.0	100.0	

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif, sebagian besar responden atlet boccia berada pada tingkat GMFCS IV, yaitu sebanyak 14 orang (70,0%), sedangkan responden pada tingkat GMFCS V berjumlah 6 orang (30,0%).

Distribusi ini menunjukkan bahwa mayoritas atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic yang terlibat dalam riset memiliki keterbatasan fungsi motorik berat pada

tingkat IV, dengan sebagian lainnya berada pada tingkat V yang menunjukkan keterbatasan fungsi motorik yang lebih berat. Karakteristik ini menggambarkan bahwa sampel riset didominasi oleh atlet dengan gangguan motorik berat, sehingga relevan dengan tujuan riset dalam mengevaluasi efektivitas intervensi Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) terhadap peningkatan fungsi ekstremitas atas pada populasi dengan keterbatasan motorik signifikan

		Usia			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	15.00	1	5.0	5.0	5.0
	17.00	4	20.0	20.0	25.0
	21.00	2	10.0	10.0	35.0
	22.00	2	10.0	10.0	45.0
	24.00	1	5.0	5.0	50.0
	25.00	3	15.0	15.0	65.0
	27.00	3	15.0	15.0	80.0
	28.00	1	5.0	5.0	85.0
	29.00	3	15.0	15.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

sebanyak 4 orang (20,0%), diikuti usia 25 tahun, 27 tahun, dan 29 tahun masing-masing sebanyak 3 orang (15,0%).

Sebaran usia responden menunjukkan bahwa mayoritas atlet berada pada kelompok remaja akhir hingga dewasa muda. Rentang usia ini merupakan periode yang masih memiliki potensi plastisitas neuromuskular yang baik, sehingga relevan dengan tujuan riset

dalam mengevaluasi efektivitas intervensi Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) terhadap peningkatan fungsi ekstremitas atas.

Hasil dari usia yang bervariasi ini memberikan gambaran bahwa sampel riset mencakup atlet dengan latar belakang usia yang cukup beragam, namun tetap berada dalam rentang usia produktif secara fisiologis untuk menerima intervensi rehabilitatif.

Variabel	Waktu	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
MAS Biceps	Pre	2.095	1.95	0.710	0.80	3.30
	Post	1.640	1.60	0.718	0.40	3.00
MAS Flexor Pergelangan	Pre	2.255	2.25	0.607	1.00	4.00
	Post	1.650	1.65	0.668	0.10	3.40
MAS Adduktor Bahu	Pre	2.460	2.40	0.510	1.40	3.30
	Post	2.000	1.90	0.612	0.90	2.90
MAS Rata-rata Upper Limb	Pre	2.271	2.20	0.411	1.63	3.03
	Post	1.764	1.80	0.413	0.97	2.57

Berdasarkan hasil analisis deskriptif, terjadi penurunan nilai rata-rata skor MAS pada seluruh kelompok otot ekstremitas atas setelah diberikan intervensi Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES).

1. Pada otot biceps, nilai rata-rata skor MAS menurun dari 2,095 pada pre-test menjadi 1,640 pada post-test. Penurunan ini juga terlihat pada nilai median dari 1,95 menjadi 1,60, yang menunjukkan kecenderungan penurunan tingkat spastisitas setelah intervensi.
2. Pada otot flexor pergelangan tangan, nilai rata-rata menurun dari 2,255 menjadi 1,650, dengan median tetap relatif sejalan

dari 2,25 menjadi 1,65. Hal ini menunjukkan adanya penurunan spastisitas yang konsisten pada kelompok otot distal ekstremitas atas.

3. Pada otot adduktor bahu, nilai rata-rata skor MAS menurun dari 2,460 menjadi 2,000, disertai penurunan median dari 2,40 menjadi 1,90, yang mengindikasikan adanya perbaikan tonus otot pada bagian proksimal ekstremitas atas.

Secara keseluruhan, pada nilai rata-rata MAS upper limb, terjadi penurunan mean dari 2,271 saat pre-test menjadi 1,764 pada post-test. Penurunan ini juga diikuti oleh perubahan nilai median dari 2,20 menjadi 1,80. Standar deviasi yang relatif serupa antara pre-test dan post-test menunjukkan bahwa penurunan spastisitas terjadi secara merata pada sebagian besar responden.

Nilai minimum dan maksimum pada seluruh variabel juga menunjukkan kecenderungan penurunan setelah intervensi, yang memperkuat gambaran bahwa terjadi perbaikan tingkat spastisitas otot ekstremitas atas pada atlet boccia cerebral palsy quadriplegic GMFCS IV dan V setelah diberikan program NMES.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
MAS Biceps_pre	.111	20	.200*	.956	20	.463
MAS Biceps_post	.112	20	.200*	.967	20	.686

MAS Flexor Pergelangan_pre	.193	20	.048	.926	20	.132
MAS Flexor Pergelangan_post	.115	20	.200*	.949	20	.346
MAS Adduktor Bahu_pre	.155	20	.200*	.949	20	.352
MAS Adduktor Bahu_post	.115	20	.200*	.953	20	.422
MAS Rata-rata UL_pre	.118	20	.200*	.963	20	.615
S Rata-rata UL_post	.103	20	.200*	.985	20	.980

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Uji normalitas dalam riset ini dilakukan memanfaatkan Shapiro–Wilk Test karena jumlah sampel tergolong kecil, yaitu 20 responden. Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah data skor MAS (Modified Ashworth Scale) sebelum dan sesudah intervensi.

Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) berdistribusi normal sebagai dasar penentuan uji statistik selanjutnya.

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa seluruh variabel memiliki nilai signifikansi (p-value) lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal. Oleh karena itu, uji hipotesis perbedaan nilai pre-test dan post-test selanjutnya dapat dilakukan memanfaatkan uji parametrik Paired Sample t-test.

1. MAS Biceps Nilai signifikansi pada pre-test sebesar 0,463 dan post-test sebesar 0,686 ($p > 0,05$), sehingga data berdistribusi normal.
2. MAS Flexor Pergelangan Tangan
Nilai signifikansi pada pre-test sebesar 0,132 dan post-test sebesar 0,346 ($p > 0,05$), sehingga data berdistribusi normal.
3. MAS Adduktor Bahu

Nilai signifikansi pada pre-test sebesar 0,352 dan post-test sebesar 0,422 ($p > 0,05$), sehingga data berdistribusi normal.

4. MAS Rata-rata Ekstremitas Atas (Upper Limb)

Nilai signifikansi pada pre-test sebesar 0,615 dan post-test sebesar 0,980 ($p > 0,05$), sehingga data berdistribusi normal.

Paired Samples Test

Paired Differences

Std. Std. Error Difference

		Mean	Deviation	Mean	Lower	Upper	t	df
Pair 1	MAS Biceps_pre	.4550	.17313	.03871	.37397	.53603	11.75	19
	- MAS Biceps_post	0					3	
Pair 2	MAS Flexor	.6050	.22355	.04999	.50038	.70962	12.10	19
	Pergelangan_pre - MAS Flexor Pergelangan_post	0					3	
Pair 3	MAS Adduktor	.4600	.20365	.04554	.36469	.55531	10.10	19
	Bahu_pre - MAS Adduktor	0					2	

	Bahu_post							
Pair 4	MAS Rata-rata	.5065	.11771	.02632	.45141	.56159	19.24	19.24
	UL_pre - MAS Rata-rata	0					3	
	UL_post							

Hasil uji Parametrik Paired Sample T-Test menunjukkan bahwa seluruh variabel memiliki nilai signifikansi $p = 0,000$ ($p < 0,05$), yang berarti terdapat perbedaan yang bermakna antara nilai sebelum dan sesudah intervensi NMES. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi NMES memberikan pengaruh signifikan dalam menurunkan tingkat spastisitas otot ekstremitas atas pada atlet boccia cerebral palsy quadriplegic GMFCS IV dan V.

1. MAS Biceps

Diperoleh selisih rata-rata sebesar 0,455 dengan nilai $t = 11,753$ dan $p = 0,000$. Interval kepercayaan 95% berada pada rentang 0,374 hingga 0,536. Hasil ini menunjukkan terdapat penurunan spastisitas otot biceps yang signifikan setelah intervensi NMES.

2. MAS Flexor Pergelangan Tangan

Diperoleh selisih rata-rata sebesar 0,605 dengan nilai $t = 12,103$ dan $p = 0,000$. Interval kepercayaan 95% berada pada rentang 0,500 hingga 0,710. Hal ini menunjukkan penurunan spastisitas yang signifikan pada otot fleksor pergelangan tangan setelah intervensi.

3. MAS Adduktor Bahu

Diperoleh selisih rata-rata sebesar 0,460 dengan nilai $t = 10,102$ dan $p = 0,000$. Interval kepercayaan 95% berada pada rentang 0,365 hingga 0,555. Hasil ini menunjukkan adanya penurunan spastisitas otot adduktor bahu yang signifikan.

4. MAS Rata-rata Ekstremitas Atas (Upper Limb)

Diperoleh selisih rata-rata sebesar 0,507 dengan nilai $t = 19,243$ dan $p = 0,000$. Interval kepercayaan 95% berada pada rentang 0,451 hingga 0,562. Hasil ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan terjadi penurunan spastisitas ekstremitas atas yang sangat signifikan setelah pemberian NMES.

Correlations

		MAS Biceps	MAS Flexor Pergelangan	MAS Adduktor Bahu	MAS Rat a- rata UL
MAS Biceps	Pearson Correlation	1	-.007	-.427	.229
	Sig. (2-tailed)		.975	.060	.330
	N	20	20	20	20
MAS Flexor Pergelangan	Pearson Correlation	-.007	1	.398	.855**
	Sig. (2-tailed)	.975		.082	.000
	N	20	20	20	20
MAS Adduktor Bahu	Pearson Correlation	-.427	.398	1	.615**

	Sig. (2-tailed)	.060	.082		.0
	N	20	20	20	
MAS Rata-rata UL	Pearson	.229	.855**	.615**	
	Correlation				
	Sig. (2-tailed)	.330	.000	.004	
	N	20	20	20	

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa hubungan yang bermakna antar variabel, terutama antara otot fleksor pergelangan tangan dan adduktor bahu terhadap nilai rata-rata MAS ekstremitas atas.

- a. Hubungan MAS Biceps dengan variabel lain MAS biceps tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan MAS flexor pergelangan ($r = -0,007$; $p = 0,975$), MAS adduktor bahu ($r = -0,427$; $p = 0,060$), maupun MAS rata-rata upper limb ($r = 0,229$; $p = 0,330$). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan spastisitas pada otot biceps tidak berkorelasi kuat dengan kelompok otot lainnya.
- b. Hubungan MAS Flexor Pergelangan dengan MAS Rata-rata Upper Limb Terdapat hubungan yang sangat kuat dan signifikan antara MAS flexor pergelangan tangan dengan MAS rata-rata upper limb ($r = 0,855$; $p = 0,000$). Hal ini menunjukkan bahwa spastisitas pada otot fleksor pergelangan memiliki kontribusi besar dalam membentuk nilai rata-rata spastisitas ekstremitas atas.
- c. Hubungan MAS Adduktor Bahu dengan MAS Rata-rata Upper Limb Terdapat hubungan yang kuat dan signifikan antara MAS adduktor bahu dengan MAS rata-rata upper limb ($r = 0,615$; $p = 0,004$). Artinya, perubahan spastisitas pada adduktor bahu juga berperan dalam perubahan nilai rata-rata ekstremitas atas.
- d. Hubungan MAS Flexor Pergelangan dengan MAS Adduktor Bahu

Tidak ditemukan hubungan yang signifikan antara keduanya ($r = 0,398$; $p = 0,082$), meskipun memiliki kecenderungan korelasi positif sedang.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.229 ^a	.053	.000	.11771

a. Predictors: (Constant), MAS Biceps

Effect size pada riset ini dihitung memanfaatkan koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari hasil regresi linier sederhana. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai R Square sebesar 0,053, yang menunjukkan bahwa spastisitas otot biceps hanya mampu menjelaskan 5,3% variasi spastisitas rata-rata ekstremitas atas. Artinya, perubahan spastisitas pada otot biceps memberikan kontribusi yang sangat kecil terhadap perubahan spastisitas ekstremitas atas secara keseluruhan setelah intervensi NMES, sedangkan 94,7% variasi lainnya dipengaruhi oleh faktor lain, seperti spastisitas pada kelompok otot lain, kekuatan otot, serta koordinasi gerak. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan spastisitas pada otot biceps, perbaikan fungsi ekstremitas atas lebih banyak dipengaruhi oleh faktor neuromuskular lain di luar otot biceps.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.855 ^a	.731	.716	.06277

a. Predictors: (Constant), MAS Flexor Pergelangan

Hasil Effect size menunjukkan nilai korelasi (R) sebesar 0,855 dengan koefisien determinasi (R Square) sebesar 0,731. Nilai ini menandakan bahwasanya spastisitas pada otot fleksor pergelangan tangan mampu menjelaskan 73,1% variasi spastisitas rata-rata ekstremitas atas (MAS upper limb). Nilai Adjusted R Square sebesar 0,716 menunjukkan bahwa kontribusi tersebut tetap besar meskipun telah disesuaikan dengan jumlah sampel.

Temuan ini mengindikasikan bahwa perubahan spastisitas pada otot fleksor pergelangan tangan memiliki peran yang sangat dominan terhadap penurunan spastisitas ekstremitas atas secara keseluruhan setelah intervensi NMES, sedangkan sisanya sebesar 26,9% dipengaruhi oleh faktor lain seperti kelompok otot lainnya, kekuatan otot, dan koordinasi gerak.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.615 ^a	.378	.344	.09534

a. Predictors: (Constant), MAS Adduktor Bahu

Berdasarkan Hasil Effect size pada tabel Model Summary diperoleh nilai $R = 0,615$ yang menunjukkan adanya hubungan yang cukup kuat antara spastisitas otot adduktor bahu dengan spastisitas rata-rata ekstremitas atas (MAS Upper Limb). Nilai $R^2 = 0,378$ menunjukkan bahwa 37,8% variasi spastisitas rata-rata ekstremitas atas dapat dijelaskan oleh spastisitas pada otot adduktor bahu, sedangkan 62,2% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel yang diteliti. Nilai Adjusted R Square = 0,344 menunjukkan bahwa setelah dikoreksi dengan jumlah sampel, kontribusi pengaruhnya tetap berada pada kategori sedang. Dengan demikian, spastisitas otot adduktor bahu memiliki pengaruh yang cukup bermakna terhadap gambaran spastisitas ekstremitas atas secara keseluruhan.

3.2 Pembahasan

Hasil riset ini menyatakan bahwasanya program *recovery upper limb* berbasis Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) memberikan dampak yang signifikan terhadap penurunan spastisitas otot ekstremitas atas pada atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic GMFCS level IV dan V. Hal ini terlihat dari penurunan nilai rata-rata skor Modified Ashworth Scale (MAS) pada seluruh kelompok otot yang diukur, baik otot biceps, fleksor pergelangan tangan, maupun adduktor bahu, serta pada nilai rata-rata MAS ekstremitas atas secara keseluruhan (Bax et al., 2007).

Penurunan spastisitas yang signifikan setelah intervensi NMES sejalan dengan teori neurofisiologi yang menyatakan bahwa stimulasi listrik neuromuskular dapat

meningkatkan aktivasi serabut aferen dan eferen, memperbaiki kontrol refleks spinal, serta menekan aktivitas refleks stretch yang berlebihan pada otot spastik (Rajak et al., 2017). NMES juga mampu meningkatkan inhibisi presinaptik dan memodulasi aktivitas neuron motorik alfa, sehingga berkontribusi pada penurunan tonus otot yang abnormal pada penyandang cerebral palsy. Pada populasi atlet dengan CP quadriplegic, mekanisme ini sangat penting karena spastisitas merupakan faktor utama yang membatasi fungsi ekstremitas atas dan performa olahraga (Oskoui et al., 2013).

Secara spesifik, hasil riset menunjukkan bahwa otot fleksor pergelangan tangan mengalami penurunan spastisitas terbesar dibandingkan kelompok otot lainnya. Temuan ini

diperkuat oleh hasil uji korelasi dan *effect size* yang menunjukkan bahwa spastisitas fleksor pergelangan tangan memiliki korelasi yang sangat kuat dan signifikan dengan nilai rata-rata spastisitas ekstremitas atas ($r = 0,855$; $R^2 = 0,731$). Artinya, lebih dari 70% variasi spastisitas ekstremitas atas dapat dijelaskan oleh perubahan spastisitas pada otot fleksor pergelangan tangan. Hal ini mengindikasikan bahwa kelompok otot distal ekstremitas atas memiliki peran dominan dalam menentukan derajat spastisitas global pada ekstremitas atas atlet CP quadriplegic (Bax et al., 2007).

Temuan tersebut dapat dijelaskan karena otot fleksor pergelangan tangan pada atlet CP quadriplegic cenderung mengalami spastisitas yang lebih berat akibat dominasi pola fleksi patologis dan penggunaan ekstremitas atas yang berulang saat propulsi kursi roda. Dengan demikian, penurunan spastisitas pada kelompok otot ini akan memberikan kontribusi besar terhadap perbaikan postur fungsional ekstremitas atas, efisiensi gerak, dan kontrol motorik secara keseluruhan.

Pada otot adduktor bahu, riset ini juga menemukan penurunan spastisitas yang signifikan setelah intervensi NMES, dengan kontribusi sedang terhadap spastisitas ekstremitas atas ($R^2 = 0,378$). Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan tonus otot proksimal

juga berperan penting dalam meningkatkan stabilitas bahu dan kontrol gerak ekstremitas atas. Stabilitas proksimal yang lebih baik akan mendukung fungsi distal, khususnya dalam aktivitas olahraga seperti boccia yang membutuhkan koordinasi, akurasi, dan kontrol gerak halus (Rajak et al., 2017).

Sebaliknya, spastisitas otot biceps brachii menunjukkan kontribusi yang relatif kecil terhadap spastisitas ekstremitas atas secara keseluruhan ($R^2 = 0,053$). Meskipun terjadi penurunan spastisitas yang signifikan secara statistik, hasil ini mengindikasikan bahwa perbaikan pada otot biceps saja tidak cukup untuk menjelaskan perubahan fungsi ekstremitas atas secara global. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan *recovery* pada atlet CP quadriplegic sebaiknya tidak hanya berfokus pada satu kelompok otot, tetapi dilakukan secara komprehensif dengan melibatkan otot proksimal dan distal (Bax et al., 2007).

Hasil uji *paired sample t-test* yang menunjukkan perbedaan bermakna antara nilai pre- test dan post-test pada seluruh variabel MAS memperkuat bukti bahwa NMES merupakan intervensi yang efektif dalam menurunkan spastisitas pada populasi ini. Efektivitas NMES dalam riset ini juga didukung oleh karakteristik responden yang berada pada usia remaja akhir hingga dewasa muda, yang masih memiliki potensi plastisitas neuromuskular yang cukup baik. Kondisi ini memungkinkan adaptasi neuromotor yang lebih optimal terhadap stimulasi listrik berulang.

Dari sudut pandang fisioterapi olahraga, temuan riset ini memiliki implikasi klinis yang penting. Penurunan spastisitas ekstremitas atas melalui program NMES berpotensi meningkatkan efisiensi gerak, mengurangi kelelahan otot, serta mendukung proses *recovery* setelah latihan atau kompetisi pada atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic. Dengan demikian, NMES dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari protokol fisioterapi olahraga yang terintegrasi untuk atlet dengan *severe impairment*.

Meskipun demikian, riset ini memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah sampel yang relatif kecil dan tidak adanya kelompok kontrol membatasi generalisasi hasil riset. Selain itu, durasi intervensi yang relatif singkat belum dapat menggambarkan efek jangka panjang NMES terhadap fungsi ekstremitas atas. Oleh karena itu, riset selanjutnya disarankan memanfaatkan desain *randomized controlled trial* dengan jumlah sampel yang lebih besar serta menambahkan variabel fungsional dan performa olahraga untuk

memperkuat bukti ilmiah terkait efektivitas NMES pada atlet cerebral palsy quadriplegic.

4. PENUTUP

Keseluruhan, riset ini memberikan bukti empiris bahwasanya penerapan program recovery ekstremitas atas berbasis Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) mampu menurunkan tingkat spastisitas otot pada atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic GMFCS level IV dan V secara signifikan. Penurunan skor Modified Ashworth Scale (MAS) yang konsisten pada berbagai kelompok otot menunjukkan bahwa NMES dapat menjadi intervensi yang relevan dan efektif dalam konteks fisioterapi olahraga bagi atlet dengan keterbatasan neuromotor berat. Efek positif NMES yang ditemukan dalam riset ini sejalan dengan prinsip neurofisiologi modern, di mana stimulasi listrik berperan dalam memodulasi aktivitas sistem saraf pusat dan perifer. Melalui peningkatan aktivasi jalur aferen dan eferen serta regulasi refleks spinal, NMES berkontribusi pada pengendalian respons refleks yang berlebihan, sehingga membantu menurunkan tonus otot yang patologis pada individu dengan cerebral palsy. Temuan penting lainnya adalah dominannya peran otot fleksor pergelangan tangan dalam menentukan tingkat spastisitas ekstremitas atas secara keseluruhan. Kontribusi yang sangat besar dari kelompok otot distal ini menunjukkan bahwa perubahan kecil pada spastisitas fleksor pergelangan tangan dapat memberikan dampak yang luas terhadap kondisi ekstremitas atas secara global. Hal ini menegaskan pentingnya pendekatan intervensi yang mempertimbangkan karakteristik biomekanik dan pola penggunaan ekstremitas atas pada atlet CP quadriplegic. Secara klinis, tingginya spastisitas pada fleksor pergelangan tangan dapat dipahami sebagai konsekuensi dari dominasi pola fleksi yang menetap serta aktivitas berulang, seperti propulsi kursi roda. Oleh karena itu, keberhasilan NMES dalam menurunkan spastisitas pada otot ini berpotensi meningkatkan efisiensi gerak, memperbaiki posisi fungsional ekstremitas atas, serta mendukung kontrol motorik yang lebih optimal dalam aktivitas olahraga boccia. Selain otot distal, penurunan spastisitas yang bermakna juga ditemukan pada otot adduktor bahu. Meskipun kontribusinya bersifat sedang, perbaikan tonus otot proksimal memiliki peran strategis dalam meningkatkan stabilitas sendi bahu. Stabilitas proksimal yang lebih baik menjadi fondasi penting bagi pelaksanaan gerakan distal yang lebih terkontrol, presisi, dan efisien, khususnya dalam cabang olahraga yang menuntut koordinasi tinggi. Sebaliknya,

kontribusi otot biceps brachii terhadap spastisitas ekstremitas atas secara keseluruhan relatif kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun penurunan spastisitas pada otot tersebut tetap memiliki nilai klinis, intervensi yang hanya terfokus pada satu kelompok otot tidak cukup untuk menghasilkan perbaikan fungsi ekstremitas atas secara komprehensif. Hal ini menguatkan perlunya pendekatan rehabilitasi yang holistik dan terintegrasi. Hasil uji statistik yang menyatakan perbedaan signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah intervensi semakin mempertegas efektivitas NMES pada populasi riset ini. Faktor usia responden yang berada pada rentang remaja akhir hingga dewasa muda diduga turut mendukung respons positif terhadap intervensi, mengingat potensi plastisitas neuromuskular yang masih relatif baik pada fase usia tersebut. Dari perspektif fisioterapi olahraga, hasil riset ini memberikan implikasi praktis yang penting. Integrasi NMES dalam program recovery atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic berpotensi membantu mengurangi kelelahan otot, meningkatkan kualitas gerak, serta mendukung kesiapan fisik atlet setelah latihan maupun kompetisi. Dengan demikian, NMES dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari protokol penanganan yang berorientasi pada performa dan keberlanjutan karier atlet dengan disabilitas berat. Meskipun memberikan temuan yang bermakna, riset ini masih memiliki keterbatasan, terutama terkait jumlah sampel yang terbatas, tidak adanya kelompok pembanding, serta durasi intervensi yang relatif singkat. Oleh karena itu, riset selanjutnya disarankan untuk memanfaatkan desain randomized controlled trial, melibatkan sampel yang lebih besar, serta memasukkan variabel fungsional dan performa olahraga guna memperkuat bukti ilmiah mengenai efektivitas NMES pada atlet cerebral palsy quadriplegic.

5. PERSANTUNAN

Penulis mengungkapkan rasa apresiasi dan rasa terima kasih yang setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan dan penyelesaian riset ini. Secara khusus, penghargaan diberikan kepada para atlet boccia dengan cerebral palsy quadriplegic yang telah bersedia menjadi partisipan riset. Partisipasi aktif dan komitmen yang ditunjukkan oleh para atlet merupakan elemen kunci yang memungkinkan riset ini dapat terlaksana dengan baik dan menghasilkan temuan yang bermakna. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pelatih, pendamping atlet, serta tim medis dan fisioterapis yang telah memberikan dukungan selama proses pengumpulan data dan pelaksanaan intervensi. Peran mereka sangat penting dalam memastikan bahwa seluruh prosedur riset

berjalan sesuai dengan standar keselamatan, etika, dan prinsip profesionalisme, khususnya dalam menangani atlet dengan keterbatasan neuromotor yang berat. Selain itu, penulis mengapresiasi dukungan institusional dari lembaga atau organisasi yang menaungi kegiatan riset ini. Fasilitas, izin riset, serta dukungan administratif yang diberikan telah mempermudah proses pelaksanaan riset, mulai dari tahap perencanaan hingga penyusunan naskah publikasi. Dukungan tersebut berkontribusi secara signifikan terhadap kelancaran dan kualitas riset secara keseluruhan. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada para pembimbing, kolega, dan pihak akademik yang telah memberikan masukan, saran, serta kritik yang konstruktif selama proses riset dan penulisan artikel ilmiah ini. Diskusi ilmiah yang terbangun memberikan kontribusi penting dalam memperkaya sudut pandang penulis dan meningkatkan ketajaman analisis terhadap hasil riset yang diperoleh. Penulis berharap hasil riset ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang fisioterapi olahraga dan rehabilitasi atlet penyandang disabilitas. Penulis menyadari bahwasanya riset ini masih memiliki keterbatasan, sehingga segala bentuk masukan dan pengembangan lanjutan diharapkan untuk menyempurnakan riset di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Agama Republik Indonesia. (2019). *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: Kementerian Agama RI.
- Ryan, J. M., et al. (2022). Physical activity and health in people with cerebral palsy. *Journal of Clinical Medicine*.
- World Boccia. (2023). *Boccia International Sport Rules*. World Boccia Federation.
- Tweedy, S. M., & Vanlandewijck, Y. C. (2011). International Paralympic Committee position stand—background and scientific principles of classification in Paralympic sport. *British Journal of Sports Medicine*.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2017). *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Van der Heide, J. C., et al. (2015). Motor control and movement disorders in cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- Novak, I., et al. (2020). State of the evidence traffic lights for cerebral palsy interventions. *Current Neurology and Neuroscience Reports*.

- Memon, A. R., et al. (2025). Neuromuscular electrical stimulation and muscle performance. *Sports Medicine*.
- Paillard, T. (2022). Electrical stimulation and recovery in athletes. *European Journal of Applied Physiology*.
- NPC Indonesia. (2023). *Laporan Pembinaan Olahraga Disabilitas Indonesia*.
- Novak, I., et al. (2013). A systematic review of interventions for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., & Jacobsson, B. (2007). Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- Oskoui, M., Coutinho, F., Dykeman, J., Jetté, N., & Pringsheim, T. (2013). An update on the prevalence of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- Rajak, B. L., et al. (2017). Clinical characteristics of cerebral palsy. *Journal of Pediatric Neurosciences*.
- Rosenbaum, P., et al. (2007). A report: The definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- Pool, D., et al. (2021). Neuromuscular electrical stimulation for motor rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Medicine*.
- El-Shamy, S. M., & Abdelaal, A. A. (2023). Neuromuscular electrical stimulation for children with cerebral palsy. *Clinical Rehabilitation*.
- Himmelmann, K., & Uvebrant, P. (2022). The panorama of cerebral palsy in Sweden. *Acta Paediatrica*.