

**LITERATURE REVIEW:
PENGARUH NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION
(NMES) TERHADAP SPASTISITAS PASCA STROKE**

Meilina Nur Hafizah¹, Muhammad Siddik², Pagan Pambudi³

¹Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Lambung Mangkurat,
Banjarmasin, Indonesia

²Departemen Rehabilitasi Medik, RSUD Ulin Banjarmasin, Indonesia

³Departemen Saraf, Fakultas Kedokteran, Universitas Lambung Mangkurat,
Banjarmasin, Indonesia

Email korespondensi: meilinanurhafizah@gmail.com

Abstract: *Spasticity is one of the post-stroke symptoms that can cause nuisance and also functional problems. Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) is medical rehabilitation using a methods that modify neuromuscular activity. The purpose of this literature review is to determine the effect of NMES on reducing spasticity in post-stroke patients, to determine the effect of NMES combined with other methods on reduction of post-stroke spasticity, and to analyze the effect of NMES on post-stroke spasticity. This study was done by analyzing sources from several medical journal databases from 2010-2020, such as PubMed, Science Direct, and Google Scholar. The results of this study indicate the effect of NMES on the improvement of patient post-stroke spasticity, whether it combined or not. In addition, NMES in combination with other interventions not only has an effect on improving spasticity, but also can help maximize functional improvements.*

Keywords: *neuromuscular electrical stimulation, stroke, spasticity.*

Abstrak: Spastisitas merupakan salah satu gejala pasca stroke yang dapat menyebabkan gangguan serta masalah fungsional. Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) merupakan rehabilitasi medis dengan menggunakan metode penerapan yang dapat memodifikasi aktivitas neuromuscular. Tujuan *literature review* ini untuk mengetahui pengaruh NMES terhadap penurunan spastisitas pada pasien pasca stroke, mengetahui pengaruh NMES yang dikombinasikan dengan metode lain terhadap penurunan spastisitas pasca stroke, dan menganalisis pengaruh NMES terhadap spastisitas pasca stroke. Penulisan ini dilakukan dengan menganalisis sumber pustaka dari beberapa database jurnal kedokteran dari tahun 2010-2020, yaitu PubMed, *Science Direct*, dan *Google Scholar*. Hasil penulisan ini menunjukkan adanya pengaruh NMES pada perbaikan pasien spastisitas pasca stroke, baik itu yang dikombinasikan maupun tidak. Selain itu, NMES yang dikombinasikan dengan intervensi lain tidak hanya berpengaruh pada perbaikan spastisitas saja, tetapi juga dapat membantu perbaikan fungsional yang lebih maksimal.

Kata-kata kunci: *neuromuscular electrical stimulation, stroke, spasticity.*

PENDAHULUAN

Spastisitas merupakan komplikasi tersering pada stroke dan termasuk dalam *Upper Motor Neuron Syndrome*. Spastisitas merupakan gangguan motorik yang ditandai dengan peningkatan kecepatan refleks peregangan tonik (peningkatan tonus otot) yang berlebihan, disebabkan oleh hipereksitabilitas dari refleks regang.¹ Apabila tidak ditangani dengan baik, spastisitas dapat menyebabkan gangguan serta masalah fungsional yang dapat menyebabkan turunnya kualitas hidup, nyeri yang semakin bertambah, kontraktur sendi bahkan deformitas pada persendian.²

Salah satu tindakan rehabilitasi medis yang sering digunakan adalah stimulasi listrik dengan menggunakan metode penerapan yang dapat memodifikasi aktivitas neuromuscular, yaitu *Neuromuscular Electrical Stimulation* (NMES).³ Pengaplikasian NMES biasanya akan dikombinasikan dengan metode yang lain untuk perbaikan fungsional yang lebih maksimal.²

Walaupun penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan adanya pengaruh NMES terhadap spastisitas pasca stroke, tetapi hingga saat ini belum ada penjelasan secara menyeluruh mengenai bagaimana mekanisme pengaruh tersebut bisa terjadi dan bagaimana manfaat NMES yang dikombinasikan dengan metode yang lain.

METODE PENULISAN

Tinjauan literatur ini dibuat melalui penelusuran artikel pada *database* Pubmed – MEDLINE, *Cochrane Library*, dan *Google Scholar*. Kriteria artikel yang disertakan yaitu artikel yang menggunakan bahasa Inggris dan dipublikasikan pada tahun 2010-2020. Sebanyak 13 artikel disertakan pada *literature review* ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh NMES terhadap Spastisitas Pasca Stroke

Menurut penelitian yang dilakukan Wang *et al.* dan Cui *et al.* (Tabel 1), hasil keduanya menunjukkan adanya perubahan

yang signifikan pada penurunan spastisitas. Tetapi, terdapat perbedaan di poin – poin intervensi di antara kedua penelitian, yaitu pada *pulse width*, frekuensi, *waveform*, peletakan elektroda, dan lama pemberian. Namun, terdapat persamaan pada kedua penelitian, yaitu intensitas yang diberikan tidak sampai menghasilkan kontraksi otot yang besar, hal ini mungkin memiliki sedikit manfaat untuk mengurangi spastisitas. Hal ini juga berkorelasi dengan penelitian yang dikemukakan Hsu *et al.* bahwa intensitas yang diberikan merupakan faktor penentu yang signifikan pada perbaikan fungsi motorik.⁶

Efek NMES pada pengurangan spastisitas mungkin terkait dengan beberapa mekanisme, yaitu kontraksi listrik otot paretis oleh NMES dapat menyebabkan penghambatan timbal balik (*reciprocal inhibition*) otot antagonis spastis melalui stimulasi spinal interneuron, yang juga dapat menurunkan rangsangan kortikal dari otot antagonis spastik. NMES juga dapat mempengaruhi rangsangan motoneuron alfa dan memicu reorganisasi sensorimotor, yang karenanya berkontribusi pada penguatan otot yang paretis.^{6,7} Stimulasi intens dalam NMES diperkirakan mengirim sinyal aferen yang relatif lebih besar ke korda spinalis dan otak, yang berpotensi meningkatkan aktivasi arus yang terus-menerus di spinal neuron dan respons otak.⁸ Selain itu, NMES juga dianggap sebagai aktivasi plastisitas otak melalui peningkatan input aferen yang mana penggunaannya bergantung pada intensitas yang diberikan untuk menginduksi reorganisasi motor cortex yang rusak.

Pengaruh NMES Dikombinasikan dengan Intervensi Lain

Penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (Tabel 2) menggabungkan intervensi NMES dengan latihan ambulasi. Didapatkan hasil bahwa terdapat penurunan skor MAS pada ketiga kelompok, namun penurunan yang signifikan hanya

ditemukan pada kelompok NMES-TA. Hal tersebut disebabkan karena ambang aktivasi *Golgi Tendon Organ* (GTO) pada kelompok NMES-TA rendah, berkebalikan dengan kelompok NMES-MG yang memiliki ambang GTO yang tinggi. Oleh karena itu, intensitas stimulasi yang digunakan pada kelompok NMES-MG mungkin tidak cukup untuk mengurangi spastisitas plantarflexor melalui GTO. Perlu diketahui bahwa aktivasi GTO dari otot spastik, yang merupakan bagian dari jalur inhibisi Ib, merupakan faktor yang dapat mempengaruhi penurunan dari spastisitas.⁹

Frekuensi 50 Hz yang digunakan pada penelitian ini tidak cukup tinggi untuk menginduksi ambang aktivasi pada *neuromuscular junction* atau deplesi asetilkolin untuk menurunkan spastisitas plantarflexor. Hal tersebut berkaitan dengan sebuah pernyataan bahwa frekuensi stimulasi harus lebih besar dari 100 Hz untuk mencapai tujuan menurunkan spastisitas menggunakan NMES.¹⁰ Kombinasi NMES dengan latihan ambulasi tidak hanya efektif untuk memperkuat otot dan mengurangi spastisitas, tetapi dapat juga meningkatkan kontrol pergelangan kaki dan gaya berjalan.

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Sahin *et al.* yang mengkombinasikan NMES dengan PNF dan infrared. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NMES yang diberikan bersamaan dengan PNF dan infrared lebih efektif dibandingkan dengan PNF dan infrared saja dalam mengurangi spastisitas.⁹

Teknik peregangan PNF memiliki efek yang mirip dengan NMES, yaitu mempengaruhi spastisitas dengan jalur penghambatan autogenik dan timbal balik, yang mana memfasilitasi penurunan dari spastisitas. Teknik ini juga mencakup kombinasi relaksasi di kedua otot agonis/antagonis dan kontraksi otot isometrik dan isotonik alternatif.⁹

Pada penelitian Fujiwara *et al.* menggabungkan *Closed loop EMG controlled NMES* dengan *wrist-hand splint*

(*HANDS therapy*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat penurunan pada spastisitas sampai T2 (3 bulan setelah terapi) karena adanya penurunan pada skor MAS yang signifikan.

Spastisitas mungkin tidak disebabkan oleh mekanisme yang tunggal, tetapi dapat disebabkan oleh beberapa perubahan dalam sirkuit spinal dan jalur desendes lain yang berinteraksi secara kompleks untuk menghasilkan kondisi ini. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa penurunan spastik mungkin berhubungan dengan perubahan kontrol desendens interneuron spinal.²² Hasil lain juga menunjukkan Hal tersebut disebabkan karena teknik peregangan PNF memiliki efek bahwa kombinasi terapi ini memperbaiki skor *Fugl Mayer* (FM) dan *Motor Activity Log* (MAL) yang meningkat dengan terapi.

Penelitian Noma *et al.* mengkombinasikan NMES dengan perangkat stimulasi pergelangan tangan dan jari yang dikembangkan oleh peneliti. Hasil melaporkan bahwa NMES menunjukkan penurunan yang signifikan pada siku dan fleksor pergelangan tangan. NMES terbukti menghasilkan aktivasi kortikal yang terkait dengan peningkatan fungsi motorik pada pasien stroke kronis.²³ Selain itu, studi neurofisiologis menunjukkan bahwa pengulangan gerakan *volunteer* penting untuk pemulihan motorik, pernyataan tersebut membuktikan bahwa perangkat stimulasi pergelangan tangan dan jari yang dikembangkan oleh peneliti membantu dalam mengurangi spastisitas.²⁴

Latihan jari individu yang dilakukan selama intervensi NMES secara selektif membangkitkan gerakan ekstensi setiap jari yang mungkin juga bermanfaat untuk memulihkan fungsi ekstremitas atas. Selain itu, memiliki elektroda perangsang yang sangat kecil (diameter 0,8cm, luas sekitar 0,5cm²) dan keluaran arus rata – rata yang rendah meminimalkan eksitasi dari titik motorik pergelangan tangan, sedangkan memungkinkan pada jari – jari lain untuk terjadinya selektivitas otot. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa hilangnya

selektivitas otot pada gerakan jari individu berkorelasi dengan perbaikan fungsi tangan. Oleh karena itu, dengan adanya selektivitas otot, maka akan membantu dalam perbaikan fungsi motorik.²⁵ Keuntungan lain dari kombinasi ini yaitu dapat meningkatkan kontrol motorik volunteer dan ketangkasan tangan pada tungkai atas yang paresis pada pasien stroke kronis dengan paresis ringan hingga sedang.

Penelitian yang dilakukan oleh Rong *et al.* dan Nam *et al.* mengenai sistem robotik NMES yang digerakkan oleh EMG menunjukkan hasil bahwa terdapat penurunan yang signifikan pada skor MAS siku dan pergelangan tangan. Tetapi pada penelitian Nam *et al.* ditemukan hasil yang lebih spesifik, yaitu penurunan skor MAS pada siku dan pergelangan tangan bertahan hingga tiga bulan kemudian. Dalam kedua studi ini, NMES dan sistem *hybrid* robot dikembangkan untuk pelatihan fisik ekstremitas atas yang terkoordinasi dengan banyak sendi. NMES dapat meningkatkan koordinasi otot di seluruh ekstremitas atas, dengan mengurangi ko-kontraksi antara pasangan otot agonis-antagonis yang spastis dengan pergelangan tangan dan siku serta ko-kontraksi antara siku dan flektor pergelangan tangan.²⁶ Pelatihan fisik rehabilitasi juga meningkatkan stabilitas ekstremitas dan fungsi motorik volunteer di siku dan pergelangan tangan.

Selain itu, Hu *et al.* juga meneliti mengenai pengaruh sistem robotik NMES yang digerakkan oleh EMG (*EMG-driven NMES robot*) dengan latihan pergelangan tangan. Hasil menunjukkan bahwa latihan pergelangan tangan dengan *EMG-driven NMES robot* menunjukkan peningkatan

yang lebih baik pada fungsi ekstremitas atas, terutama pada fungsi pergelangan tangan/jari, serta skor MAS yang berkurang dapat dipertahankan sampai tiga bulan kemudian. Hal ini karena NMES dapat memfasilitasi upaya neuromuskuler tambahan dan berfokus pada otot target, yang mana dapat menghasilkan pelepasan yang lebih cepat dalam kontraksi otot. Selain itu, pemisahan aktivitas otot antara pergelangan tangan dan siku, serta peningkatan koordinasi otot distal, juga menyebabkan pemulihan fungsional motorik yang lebih baik di seluruh tungkai atas daripada *EMG-driven robot* saja, yaitu fungsi bahu/ siku dan pergelangan tangan/tangan.

Masih berhubungan dengan robot, Lee *at al.* melakukan penelitian mengenai *Robot-assisted therapy* (RT) yang dikombinasikan dengan NMES. Hasil menunjukkan bahwa MAS kelompok RT yang dikombinasikan dengan NMES menurun secara signifikan pada flektor pergelangan tangan. Efek RT pada spastisitas otot tidak konsisten, hal tersebut menunjukkan bahwa penurunan spastisitas yang diamati dalam penelitian ini mungkin dikaitkan dengan efek pengobatan adjuvan dari NMES. Penelitian ini menggunakan pendekatan stimulasi siklik untuk menimbulkan kontraksi otot. Ada kemungkinan bahwa rangsangan siklik dapat merangsang interneuron korda spinalis lebih konsisten dan meningkatkan rangsangan sinaptik untuk mengurangi spastisitas otot.^{27,28} Keuntungan lain kombinasi ini yaitu dapat meningkatkan kualitas gerakan tangan.

Tabel 1. Literatur Terkait Pengaruh NMES terhadap Spastisitas Pasca Stroke

No.	Peneliti (Tahun)	Subjek	Kriteria Inklusi	Parameter Spastisitas	Intervensi	Metode	Hasil
1.	Wang Y, <i>et al.</i> (2015) ⁴	Pasien dengan hemiplegia pasca stroke dan spastisitas plantar fleksor (n=72) dibagi 4 kelompok: (1) kontrol (terapi rehabilitasi konvensional saja), (2) sensory threshold-NMES, (3) motor threshold-NMES, (4) full-movement NMES (setiap kelompok n=18)	1. Stroke hemoragik/iskemik pertama di cerebral hemisphere (bukan di batang otak/otak kecil, dikonfirmasi dengan pemindaian tomografi). 2. Stroke sub-akut, onset stroke dalam 2 minggu pertama hingga 6 minggu pasca stroke.	<i>Composite Spasticity Scale</i>	NMES	30 menit NMES, dua kali sehari, lima hari seminggu selama empat minggu dengan <i>pulse width</i> 200 mcs, <i>on time</i> 5 detik, <i>off time</i> 5 detik, frekuensi 20 Hz, dan <i>waveform</i> dengan <i>symmetrical biphasic square wave</i> . Semua intensitas terasa nyaman untuk pasien dan tidak menyebabkan kelelahan.	Jika dibandingkan dengan pretreatment, keempat kelompok mengalami penurunan spastisitas secara signifikan setelah empat minggu pengobatan (kelompok full-movement NMES menunjukkan penurunan persentase yang lebih besar (19,9 (4,96%) (F = 3,878, p <0,05) dibandingkan dengan pretreatment di tiga kelompok lainnya. Hanya kelompok full-movement NMES yang mempertahankan penurunan yang signifikan pada follow-up dua minggu (p <0,01).
2.	Cui B, <i>et al.</i> (2015) ⁵	Pasien hemiplegi akibat stroke (n=45) dibagi 3 kelompok: (1) NMES 12 jam+rehabilitasi konvensional (n=15), (2) NMES 30 menit+rehabilitasi konvensional (n=15), (3) kontrol: rehabilitasi konvensional (n=15)	1. Stroke pertama dan unilateral. 2. Waktu dari onset stroke \geq 4 minggu.	MAS	NMES	<i>Pulse width</i> 300 ms, frekuensi 40 Hz, dengan <i>rectangular wave pulsed currents</i> , masing – masing 6 hari/minggu, amplitudo arus disesuaikan untuk mendapatkan jangkauan maksimum ekstensi pergelangan tangan dan jari tanpa rasa tidak nyaman.	Kelompok NMES 12 jam mencapai peningkatan yang lebih baik pada fungsi motorik ekstremitas atas dan pengurangan spastisitas, terutama pada pergelangan tangan. Pendekatan terapi ini mudah diaplikasikan dan dapat digunakan pada pasien stroke selama istirahat atau tidur.

Tabel 2. Literatur Terkait Pengaruh NMES yang Dikombinasikan dengan Intervensi Lain

NO.	Peneliti (Tahun)	Subjek	Kriteria Inklusi	Parameter Spastisitas	Intervensi	Metode	Hasil
1.	Yang YR, <i>et al.</i> (2018) ¹¹	Stroke dengan kontrol pergelangan kaki yang tidak memadai (n=25) dibagi 3	Stroke pertama dengan defisit motorik unilateral setidaknya 6 bulan.	<i>Modified Ashworth Scale (MAS), EMG activity.</i>	NMES (selama 20) + Latihan Ambulasi (15 menit)	Frekuensi 50 Hz, <i>pulse width</i> 0.2 ms, <i>waveform</i> dengan <i>biphasic square wave</i> , dan <i>stimulation duty cycle</i> 5:15 (<i>on:off</i>) dalam hitungan detik selama 20 menit. Intensitas rangsangan diatur dari 50 mV	Terjadi penurunan spastisitas pada ketiga kelompok. Namun penurunan yang signifikan hanya ditemukan pada kelompok NMES-TA (p = 0,028 untuk spastisitas statis (MAS) dan p = 0,025

NO.	Peneliti (Tahun)	Subjek	Kriteria Inklusi	Parameter Spastisitas	Intervensi	Metode	Hasil
		kelompok: (1) NMES-TA (n=8) (2) NMES-MG (n=9) (3) Kontrol (latihan gerak dan peregangan) (n=8)				hingga 0 mV untuk menginduksi berbagai gerakan dorsofleksi pergelangan kaki atau plantarfleksi tanpa menimbulkan ketidaknyamanan. Setelah menyelesaikan 5 siklus, pelatihan ditingkatkan secara progresif sebesar 2 uV.	untuk spastisitas dinamis (EMG activity)).
2.	Sahin N, et al. (2012) ¹²	Pasien spastisitas fleksor lengan bawah pasca stroke usia 45-65 tahun (n=44) dibagi 2 kelompok: (1) NMES+PNF+Infrared, (2) PNF+Infrared	1. Pasien hemiplegi > 1 tahun. 2. Skor MAS 2 atau 3.	MAS, <i>Electrophysiological evaluation</i> (Fmax/Mmax)	NMES (15 menit) + Infrared (15 menit) + <i>Propioceptive Neuromuscular Facilitation</i> (PNF)	<i>Pulse current</i> 100 Hz, <i>pulse duration</i> 0,1 msec dan <i>pulse interval</i> 0,9 msec, dalam siklus 3 msec, dan durasi istirahat 9 detik, selama 15 menit hingga memberikan kontraksi otot yang maksimal.	MAS menunjukkan penurunan spastisitas yang signifikan setelah perlakuan pada kedua kelompok (p = 0,003 dan p = 0,008). Pada <i>Electrophysiological evaluation</i> menunjukkan penurunan yang signifikan pada rasio Fmax/Mmax setelah perlakuan pada kedua kelompok. NMES yang diberikan bersamaan dengan peregangan otot ekstensor pergelangan tangan lebih efektif dibandingkan dengan peregangan otot ekstensor pergelangan tangan saja.
3.	Fujiwara T, et al. (2015) ¹³	Pasien stroke hemiparesis (n=61)	Lebih dari 150 hari berlalu sejak stroke.	MAS	NMES (<i>Closed loop EMG controlled NMES</i>) + <i>wrist-hand splint (HANDS therapy)</i> (8 jam)	-	MAS meningkat sampai T2 (3 bulan setelah terapi HANDS). Perubahan MAS pergelangan tangan dari T0 (sebelum terapi) ke T1 (segera setelah terapi) berkorelasi positif dengan perubahan <i>Reciprocal Inhibition</i> .
4.	Noma T, et al. (2014) ¹⁴	Pasien spastisitas pasca stroke dengan hemiparesis ekstremitas atas	Hemiplegi/hemiparesis mengenai satu lengan atas.	MAS	NMES + perangkat stimulasi bahu dan siku serta	Waveform dengan <i>twin-peak monophasic pulsed current</i> , <i>pulse duration</i> 50 Ksec, frekuensi 50 Hz. Intensitas disesuaikan untuk menghasilkan 50% dari seluruh	MAS menunjukkan penurunan yang signifikan untuk siku dan fleksor pergelangan tangan (preintervention, 1.9 [0.7]; postintervention, 1.3 [0.6]; P

NO.	Peneliti (Tahun)	Subjek	Kriteria Inklusi	Parameter Spastisitas	Intervensi	Metode	Hasil
		usia 40-76 tahun (n=15)			perangkat stimulasi pergelangan tangan dan jari yang dikembangkan oleh peneliti	gerakan (fleksi bahu, ketegangan siku, ekstensi pergelangan tangan, ekstensi ibu jari, ekstensi jari telunjuk, dan ekstensi jari tengah) dari posisi awal hingga rentang pasif maksimum dan bergerak tanpa rasa sakit. NMES 1 jam setiap hari, 6 hari per minggu, selama 2 minggu berturut-turut (total 12 sesi).	G 0.01, and preintervention, 2.0 [1.2]; postintervention, 1.4 [0.9]; P G 0.01)
5.	Rong W, et al. (2017) ¹⁵	Stroke kronis (n=11)	1. Setidaknya 1 tahun setelah onset lesi otak singular dan unilateral akibat stroke. 2. Spastisitas di siku, pergelangan tangan, dan jari – jari dengan skor MAS dibawah 3.	MAS	Sistem robotik NMES yang digerakkan oleh EMG (<i>EMG-driven NMES</i>)	<i>Output</i> NMES yaitu <i>Square pulses</i> dengan amplitudo yang konstan 80 V, interval antar <i>pulse</i> 25 ms, frekuensi 40 Hz, <i>pulse width</i> dari 0 hingga 200 μ s.	Penurunan signifikan pada skor MAS di siku dan pergelangan tangan (P <0,05). Namun, pengurangan skor MAS yang signifikan tidak ada untuk jari.
6.	Nam C, et al. (2017) ¹⁶	Stroke kronis (n=15)	1. Setidaknya 6 bulan setelah timbulnya lesi otak tunggal dan unilateral akibat stroke. 2. Spastisitas selama ekstensi pada sendi jari dan sendi pergelangan tangan dengan skor MAS dibawah 3.	MAS	Sistem robotik NMES yang digerakkan oleh EMG (<i>EMG-driven NMES robo</i>)	<i>Output</i> NMES yaitu <i>Square pulses</i> dengan amplitudo yang konstan 70 V, frekuensi stimulasi 40 Hz, <i>pulse width</i> diatur secara manual dalam kisaran 0 – 300 μ s. Sebelum memulai, <i>pulse width</i> diatur pada intensitas minimum sampai mencapai posisi jari ekstensi sepenuhnya.	Peningkatan signifikan pada perbaikan skor bahu/siku dan pergelangan tangan/tangan MAS (P <0,05) diamati setelah pelatihan dan dipertahankan 3 bulan kemudian. Skor MAS di siku menurun secara signifikan setelah pelatihan, penurunan ini dibandingkan dengan nilai pra-pelatihan dan dipertahankan selama 3 bulan (P <0,01, EF = 0,214, F = 4,77). Penurunan yang signifikan diamati pada skor MAS di pergelangan tangan (P <0,001, EF = 0,224, F = 5,64)
7.	Hu XL, et al. (2015) ¹⁷	Hemiplegi dengan stroke kronis (n=26) dibagi 2 kelompok: (1) latihan	Mengalami cedera otak iskemik unilateral/perdarahan intraserebral setidaknya 6 bulan	MAS	Sistem robotik NMES yang digerakkan oleh EMG		Penurunan skor MAS siku dan pergelangan tangan secara statistik signifikan untuk kedua kelompok setelah pelatihan, dan semua skor MAS

NO.	Peneliti (Tahun)	Subjek	Kriteria Inklusi	Parameter Spastisitas	Intervensi	Metode	Hasil
		pergelangan tangan 20 sesi dengan <i>EMG-driven robot</i> (NMES robot, n=11), (2) <i>EMG-driven robot</i> (kelompok robot, n=15).	setelah onset stroke tunggal tanpa defisit neurologis.		(<i>EMG-driven NMES robot</i>) + latihan pergelangan tangan		yang berkurang dapat dipertahankan sampai 3 bulan kemudian (P <0,05).
8.	Lee Y, et al. (2015) ¹⁸	Stroke kronis (n=39) dibagi 2 kelompok: (1) RT + NMES (2) RT+ Stimulasi palsu	Stroke unilateral pertama > 6 bulan.	MAS	<i>Robot-assisted therapy</i> (RT) + NMES	<i>Waveform</i> dengan <i>symmetrical biphasic square</i> , frekuensi 30 <i>pulse</i> per detik, <i>pulse</i> duration 200 μ s. Intensitas stimulasi ditargetkan pada tingkat kontraksi otot (buruk sampai sedang sebagaimana dinilai oleh <i>Manual Muscle Testing Grading System</i>). Untuk subjek yang tidak dapat mentolerir intensitas stimulasi, intensitas stimulasi disesuaikan dengan tingkat toleransi maksimum mereka.	Dibandingkan dengan grup RT + sham, MAS grup RT + ES menurun secara signifikan pada fleksor pergelangan tangan (p=.017), tidak ada perubahan yang signifikan ditemukan untuk kelompok RT + Sham (p = .508).
9.	Lin Z, et al. (2011) ¹⁹	Pasien stroke (n=46) dibagi 2 kelompok: (1) NMES (n=23), (2) kontrol (n=23)	1. Stroke pertama dalam waktu 3 bulan setelah onset. 2. Stroke iskemi/hemoragik. 3. Hemiplegi satu tungkai atas.	MAS	NMES + <i>physical therapy</i> (30 menit) + <i>occupational therapy</i> (30 menit)	Frekuensi 30 Hz, <i>pulse width</i> 300 μ s, waktu naik turun masing-masing 1 detik. <i>Waveform</i> dengan <i>symmetrical biphasic</i> . Amplitudo arus disesuaikan dengan toleransi maksimal pasien, dalam kisaran hingga 90 mA, dan untuk menghasilkan abduksi bahu sekitar 30-50 derajat dan ekstensi pergelangan tangan penuh dengan siklus kerja 5 detik <i>on</i> dan <i>off</i> 5 detik. Berlangsung selama 30 menit, 5 hari per minggu selama 3 minggu.	Kelompok NMES menunjukkan kemajuan yang secara signifikan lebih baik pada minggu ke-3 dan 1 bulan kemudian (p <0,05).
10.	Amano Y, et al. (2020) ²⁰	Pasien stroke kronis dan hemiparesis yang	1. Setidaknya 24 minggu (6 bulan) setelah onset stroke	MAS	NMES + <i>Functional Vibratory</i>	NMES diatur ke " <i>continuous mode</i> " dengan <i>symmetrical biphasic waveform</i> , <i>pulse width</i> 250 μ s dan	Perubahan skor MAS tidak signifikan secara statistik. Penilaian skor MAS rata-rata tidak berubah dalam hal otot-

NO.	Peneliti (Tahun)	Subjek	Kriteria Inklusi	Parameter Spastisitas	Intervensi	Metode	Hasil
		dapat duduk tanpa bantuan dan dapat mencapai 10cm baik secara sagittal maupun vertical (n=6)	cerebral hemisphere. 2. hemiparesis ekstremitas atas dengan diagnosis stroke pertama kali (infark/hemoragik).		Stimulation (FVS) + Reaching robot (15 menit) + regular occupational therapy (40 menit)	frekuensi 50 Hz. Intensitas arus disesuaikan untuk mencapai sedikit kontraksi otot agonis tanpa gerakan yang terlihat dari anggota tubuh/sendi.	otot fleksor pergelangan tangan (dari 0,5 [SE 0,2] menjadi 0,5 [SE 0,3]; p> 0,999).
11.	Zhou M, et al. (2018) ²¹	<i>Hemiplegic Shoulder Pain</i> (HSP) usia 18-80 (n=90) dibagi 3 kelompok: (1) NMES (N=36), (2) TENS (n=36), (3) Kontrol (n=18)	Hemiplegi pada tungkai unilateral dan pada bahu pasca stroke.	MAS	NMES + conventional rehabilitation program	Frekuensi 15Hz and <i>pulse width</i> 200ms dengan <i>dual channel stimulators</i> . Intensitas disesuaikan untuk menghasilkan kontraksi yang terlihat pada <i>shoulder abductor</i> nya (bukan trapezius) tanpa menyebabkan ketidaknyamanan, biasanya dilakukan diantara 20 and 50 mA. Sebanyak 20 sesi stimulasi dilakukan 1 jam setiap hari selama 4 minggu berturut-turut.	NMES tidak lebih efektif dibandingkan TENS atau kelompok kontrol dalam memperbaiki spastisitas.

Penelitian lain dilakukan oleh Lin *et al.* yang mengkombinasikan NMES dengan *physical therapy* dan *occupational therapy*. Penelitian telah menunjukkan bahwa menambahkan NMES ke terapi tradisional, seperti *physical therapy* dan *occupational therapy*, meningkatkan fungsi saraf melebihi apa yang dapat dicapai dengan rehabilitasi tradisional saja.²⁹ Dalam rehabilitasi stroke, pelatihan khusus atau latihan berulang juga dikenal untuk meningkatkan rangsangan kortikospinal dan meningkatkan fungsi tangan yang paresis.³⁰

Meskipun terdapat banyak penelitian yang menyebutkan bahwa adanya pengaruh NMES yang dikombinasikan oleh intervensi lain pada pasien spastisitas pasca stroke, namun tidak semua kombinasi memiliki pengaruh, seperti penelitian yang dilakukan oleh Zhou *et al.* dan Amano *et al.* yang menunjukkan tidak adanya perbaikan yang signifikan dan bermakna. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena penempelan elektroda yang diaplikasikan ke subjek penelitian ditempelkan pada otot agonis, bukan pada otot antagonis, sehingga menyebabkan pengaruh pada hasil dari skor MAS subjek.³

Hal tersebut berhubungan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peletakan elektroda pada otot antagonis lebih efektif dalam mengurangi spastisitas dibandingkan dengan peletakan pada otot agonis. Saat NMES diterapkan pada otot antagonis, spindle otot berdiameter besar (serat Ia aferen) yang berasal dari otot akan tereksitasi.³¹

PENUTUP

Berdasarkan tinjauan literatur, dapat disimpulkan bahwa NMES berpengaruh pada perbaikan pasien spastisitas pasca stroke, baik itu yang dikombinasikan maupun tidak. Selain itu, NMES yang dikombinasikan dengan intervensi lain tidak hanya berpengaruh pada perbaikan spastisitas saja, tetapi juga dapat membantu perbaikan fungsional yang lebih maksimal.

Meskipun hasil *literature review* ini mayoritasnya menyatakan bahwa NMES dapat digunakan baik secara tunggal maupun dikombinasikan, tetapi penelitian lebih lanjut tetap harus dilakukan dengan lebih memperhatikan faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi efektivitas NMES untuk menangani spastisitas pasca stroke. Selain itu, penulisan *literature review* selanjutnya juga diharapkan untuk mempertimbangkan pencarian jurnal dengan periode yang berbeda. Kajian *literature review* ini diharapkan dapat dijadikan gambaran atau sumber informasi untuk mendukung kegiatan pengembangan ilmu, pembelajaran maupun penelitian dalam bidang kesehatan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kuo CL, Hu GC. Post-stroke spasticity: a review of epidemiology, pathophysiology, and treatments. *Int J Gerontol* [Internet]. 2018;12(4):280–4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijge.2018.05.005>
2. Fransisco GE, McGuire JR. Poststroke spasticity management. *Stroke*. 2012;43(11):3132–6.
3. Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med*. 2012;85(2):201–15.
4. Wang YH, Meng F, Zhang Y, Xu MY, Yue SW. Full-movement neuromuscular electrical stimulation improves plantar flexor spasticity and ankle active dorsiflexion in stroke patients: A randomized controlled study. *Clin Rehabil*. 2016;30(6):577–86.
5. Cui BJ, Wang DQ, Qiu JQ, Huang LG, Zeng FS, Zhang Q, et al. Effects of a 12-hour neuromuscular electrical stimulation treatment program on the recovery of upper extremity function in sub-acute stroke patients: A randomized controlled pilot trial. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(7):2327–31.

6. Hsu SS, Hu MH, Luh JJ, Wang YH, Yip PK, Hsieh CL. Dosage of neuromuscular electrical stimulation: Is it a determinant of upper limb functional improvement in stroke patients? *J Rehabil Med.* 2012;44(2):125–30.
7. Packman-Braun R. Relationship between functional electrical stimulation duty cycle and fatigue in wrist extensor muscles of patients with hemiparesis. *Phys Ther.* 1988;68(1):51–6.
8. Schuhfried O, Crevenna R, Fialka-Moser V, Paternostro-Sluga T. Non-invasive neuromuscular electrical stimulation in patients with central nervous system lesions: An educational review. *J Rehabil Med.* 2012;44(2):99–105.
9. Chen SC, Chen YL, Chen CJ, Lai CH, Chiang WH, Chen WL. Effects of surface electrical stimulation on the muscle-tendon junction of spastic gastrocnemius in stroke patients. *Disabil Rehabil.* 2005;27(3):105–10.
10. Nelson RM, Currier DP. *Clinical Electrotherapy.* Appleton & Lange; 2005.
11. Yang YR, Mi PL, Huang SF, Chiu SL, Liu YC, Wang RY. Effects of neuromuscular electrical stimulation on gait performance in chronic stroke with inadequate ankle control - A randomized controlled trial. *PLoS One.* 2018;13(12):1–13.
12. Sahin N, Ugurlu H, Albayrak I. The efficacy of electrical stimulation in reducing the post-stroke spasticity: A randomized controlled study. *Disabil Rehabil.* 2012;34(2):151–6.
13. Fujiwara T, Honaga K, Kawakami M, Nishimoto A, Abe K, Mizuno K, et al. Modulation of cortical and spinal inhibition with functional recovery of upper extremity motor function among patients with chronic stroke. *Restor Neurol Neurosci.* 2015;33(6):883–94.
14. Noma T, Matsumoto S, Shimodozono M, Iwase Y, Kawahira K. Novel neuromuscular electrical stimulation system for the upper limbs in chronic stroke patients: A feasibility study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2014;93(6):503–10.
15. Rong W, Li W, Pang M, Hu J, Wei X, Yang B, et al. A Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) and robot hybrid system for multi-joint coordinated upper limb rehabilitation after stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2017;14(1):1–13.
16. Nam C, Rong W, Li W, Xie Y, Hu X, Zheng Y. The effects of upper-limb training assisted with an electromyography-driven neuromuscular electrical stimulation robotic hand on chronic stroke. *Front Neurol.* 2017;8.
17. Hu XL, Tong RKY, Ho NSK, Xue JJ, Rong W, Li LSW. Wrist Rehabilitation Assisted by an Electromyography-Driven Neuromuscular Electrical Stimulation Robot after Stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2015;29(8):767–76.
18. Lee YY, Lin KC, Cheng HJ, Wu CY, Hsieh YW, Chen CK. Effects of combining robot-assisted therapy with neuromuscular electrical stimulation on motor impairment, motor and daily function, and quality of life in patients with chronic stroke: A double-blinded randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* [Internet]. 2015;12(1):1–10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12984-015-0088-3>
19. Lin Z, Yan T. Long-term effectiveness of neuromuscular electrical stimulation for promoting motor recovery of the upper extremity after stroke. *J Rehabil Med.* 2011;43(6):506–10.
20. Amano Y, Noma T, Etoh S, Miyata R, Kawamura K, Shimodozono M. Reaching exercise for chronic paretic upper extremity after stroke using a novel rehabilitation robot with arm-weight support and concomitant electrical stimulation and vibration:

- Before-and-after feasibility trial. *Biomed Eng Online* [Internet]. 2020;19(1):1–19. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00774-3>
21. Zhou M, Li F, Lu W, Wu J, Pei S. Efficiency of Neuromuscular Electrical Stimulation and Transcutaneous Nerve Stimulation on Hemiplegic Shoulder Pain: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil* [Internet]. 2018;99(9):1730–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.04.020>
 22. Nielsen JB, Crone C, Hultborn H. The spinal pathophysiology of spasticity - From a basic science point of view. *Acta Physiol*. 2007;189(2):171–80.
 23. Shin HK, Cho SH, Jeon H seon, Lee YH, Song JC, Jang SH, et al. Cortical effect and functional recovery by the electromyography-triggered neuromuscular stimulation in chronic stroke patients. *Neurosci Lett*. 2008;442(3):174–9.
 24. Kawahira K, Shimodozono M, Etoh S, Kamada K, Noma T, Tanaka N. Effects of intensive repetition of a new facilitation technique on motor functional recovery of the hemiplegic upper limb and hand. *Brain Inj*. 2010;24(10):1202–13.
 25. Lang CE, Schieber MH. Reduced Muscle Selectivity during Individuated Finger Movements in Humans after Damage to the Motor Cortex or Corticospinal Tract. *J Neurophysiol*. 2004;91(4):1722–33.
 26. Raghavan P. Upper Limb Motor Impairment Post Stroke. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2016;26(4):599–610.
 27. Péter O, Fazekas G, Zsiga K, Dénes Z. Robot-mediated upper limb physiotherapy: Review and recommendations for future clinical trials. *Int J Rehabil Res*. 2011;34(3):196–202.
 28. Quandt F, Hummel FC. The influence of functional electrical stimulation on hand motor recovery in stroke patients: A review. *Exp Transl Stroke Med*. 2014;6(1):1–7.
 29. Sheffler LR, Chae J. Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation. *Muscle and Nerve*. 2007;35(5):562–90.
 30. Winstein CJ, Rose DK, Tan SM, Lewthwaite R, Chui HC, Azen SP. A randomized controlled comparison of upper-extremity rehabilitation strategies in acute stroke: A pilot study of immediate and long-term outcomes. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(4):620–8.
 31. Suchetha, Kumar D, HS M. Antagonist versus agonist muscle neuromuscular electrical stimulation on spasticity in stroke patients. *Int J Physiother*. 2017;4(6):363–7.