

**PENGARUH LATIHAN MOTORIK BERBASIS *VIRTUAL REALITY* TERHADAP
AKTIVITAS SERUM *BRAIN-DERIVED NEUROTROPHIC FACTOR* (BDNF)
PADA PASIEN DENGAN KONDISI STROKE**

*The Effect of Virtual Reality-Based Motor Training on Serum Brain-Derived Neurotrophic
Factor (BDNF) Levels in Patients with Stroke*

Mariel Daba^{1*}, Nathasya Ferdystari², Luh Ade Lela³
^{1,2,3}Program Studi Sarjana Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan,
Universitas Medika Suherman
*E-mail: marielfisiomedika@gmail.com

ABSTRACT

Stroke is a leading cause of disability, and virtual reality (VR)-based motor control training has the potential to enhance neuroplasticity. This study aimed to determine the effect of VR-based motor control training on serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels in patients with stroke. A quasi-experimental two-group pretest-posttest design was conducted involving 30 stroke patients selected through purposive sampling and divided into a VR group and a control group (15 participants each). The VR intervention was delivered using Oculus Quest 2 for 10–20 minutes per session, three times per week for four weeks. The training consisted of reaching, grasping–releasing, hand–eye coordination, object manipulation, range of motion exercises, and task-oriented functional training modules. Upper extremity motor function was assessed using the Wolf Motor Function Test (WMFT), while serum BDNF levels were measured before and after the intervention using the ELISA method. Data were analyzed using paired sample t-tests. Serum BDNF levels in the control group remained unchanged at 1.24 ng/mL, whereas a significant increase was observed in the VR group from 1.45 to 1.54 ng/mL ($p < 0.0001$). WMFT scores improved in both groups, with a more pronounced improvement in the VR group (38 ± 0.39 to 42 ± 0.39 ; $p < 0.0001$). VR-based motor control training is effective in improving serum BDNF levels and upper extremity motor function in patients with stroke.

Keywords: *Virtual Reality, BDNF, Neuroplasticitas, Motor Function, Stroke*

ABSTRAK

Stroke merupakan penyebab utama disabilitas, dan rehabilitasi melalui latihan kontrol motorik berbasis VR berpotensi meningkatkan neuroplastisitas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh VR terhadap kadar serum BDNF sebagai penanda neuroplastisitas pada pasien stroke. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh latihan kontrol motorik berbasis VR terhadap aktivitas serum BDNF pada pasien dengan kondisi stroke. Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimental two-group pretest-posttest dengan 30 pasien stroke yang dipilih melalui purposive sampling dan dibagi menjadi kelompok perlakuan (VR) dan kontrol, masing-masing 15 orang. Intervensi VR menggunakan Oculus Quest 2 dilakukan 4 sesi (10–20 menit/sesi, sebanyak 3 kali per minggu selama 4 minggu.). Latihan motorik berbasis VR menggunakan Oculus Quest 2 terdiri atas modul *reaching*, *grasping–releasing*, koordinasi mata–tangan, manipulasi objek, latihan rentang gerak sendi, serta latihan fungsional berbasis tugas. Pemeriksaan fungsi motorik menggunakan WMFT, sedangkan kadar serum BDNF diukur sebelum dan sesudah intervensi dengan metode ELISA. Data dianalisis menggunakan *paired sample t-test*. Kadar BDNF serum pada kelompok kontrol tetap 1,24 ng/mL, sedangkan pada kelompok perlakuan meningkat signifikan dari 1,45 menjadi 1,54 ng/mL ($p < 0,0001$). Skor WMFT juga meningkat pada kedua kelompok, namun peningkatan lebih bermakna terjadi pada kelompok VR ($38 \pm 0,39$ menjadi $42 \pm 0,39$; $p < 0,0001$). Latihan motorik berbasis VR terbukti efektif dalam meningkatkan kadar BDNF serum serta fungsi motorik ekstremitas atas pada pasien stroke. Penelitian selanjutnya perlu melibatkan sampel lebih besar, intervensi VR lebih intensif, serta studi jangka panjang untuk menilai keberlanjutan efek terhadap neuroplastisitas dan pemulihan motorik.

Kata kunci: *Virtual Reality, BDNF, Neuroplastisitas, Fungsi Motorik, Stroke*

PENDAHULUAN

Stroke merupakan *cerebrovascular accident* dan sebagai penyakit tidak menular yang dapat mengancam jiwa setiap tahun dan masih menjadi permasalahan global. Menurut data survei kesehatan Indonesia tahun 2023, prevalensi stroke di Indonesia mencapai 8,3 per 1.000 penduduk, stroke dapat menjadi penyebab utama disabilitas dan kematian nomor dua di dunia.¹ Disabilitas yang terjadi pada pasien stroke akan menyebabkan berbagai tingkat kelumpuhan motorik,² dan 55 hingga 75% pasien mengalami kelumpuhan pada lengan³. Kelumpuhan lengan atas dapat memengaruhi partisipasi pasien stroke dalam aktivitas sehari-hari,⁴ meningkatkan beban bagi pengasuh, serta memberikan tekanan ekonomi baik bagi keluarga pasien maupun masyarakat. Sehingga hal ini menjadi tantangan yang besar untuk setiap elemen kesehatan di Indonesia termasuk Fisioterapi yang berperan dalam bidang rehabilitasi stroke.

Rehabilitasi bagi pasien stroke melalui kontrol motorik dan latihan fungsional diharapkan dapat membantu pemulihan motorik pasca stroke serta meningkatkan partisipasi pasien dalam aktivitas sehari-hari. Penerapan pelatihan kontrol motorik bagi pasien untuk mempelajari kembali keterampilan motorik juga berkontribusi pada fasilitasi neuroplastisitas.⁵ Neuroplastisitas didefinisikan sebagai kemampuan otak untuk mengalami perubahan fungsional dan struktural melalui pertumbuhan serta reorganisasi. Neuroplastisitas juga berperan dalam pemulihan motorik. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan neuroplastisitas adaptif dan stimulasi aktivitas otak dapat membantu meningkatkan fungsi motorik.^{6,7} Oleh karena itu, pelatihan kontrol motorik memiliki peran penting dalam rehabilitasi bagi pasien stroke.

Latihan kontrol motorik pada pasien stroke selama ini mengalami banyak tantangan seperti rendahnya motivasi dan kepatuhan pasien terhadap latihan tersebut, yang secara signifikan mempengaruhi efektivitasnya. Maka untuk meningkatkan motivasi pada pasien stroke, telah dikembangkan aktivitas latihan kontrol motorik yang melibatkan penggunaan *Virtual Reality* (VR). Pemberian latihan kontrol motorik dengan *Virtual Reality* merupakan latihan kontrol motorik yang inovatif serta memberikan stimulasi multisensori dengan menambahkan nilai hiburan pada latihan tersebut. Sehingga pemberian *Virtual Reality* dapat meningkatkan refleksi diri dan efikasi diri pasien stroke melalui proses adaptasi dan keterlibatan pasien.⁸ Penggunaan *Virtual Reality* untuk rehabilitasi stroke dengan menggunakan asesmen terkait fungsi motorik sebagai ukuran hasil menunjukkan bahwa terdapat peningkatan dalam fungsi motorik, serta tidak ditemukan efek samping yang serius dari latihan kontrol motorik yang berbasis *Virtual Reality*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Virtual Reality* yang awalnya di rancang untuk hiburan dapat menjadi strategi alternatif untuk rehabilitasi berbasis *Virtual Reality*.⁹

Berdasarkan penelitian sebelumnya ditemukan bahwa *Virtual Reality* terbukti dapat meningkatkan fungsi motorik pada pasien stroke, dengan ukuran hasil yang digunakan adalah berdasarkan pada hasil pengukuran fungsi motorik (misalnya ARAT, Box and Block test, dan FMA-UE)¹⁰⁻¹⁶ dan WMFT¹⁷ atau hasil pemeriksaan aktivasi kortikal otak (misalnya MRI, CT, dan Elektroensefalografi).¹⁸⁻²³ Berdasarkan studi literatur hanya sedikit penelitian yang menggunakan biomarker serum sebagai ukuran hasil dari penggunaan *Virtual Reality*. Mekanisme stroke yang berkaitan dengan peradangan, stres oksidatif, dan neuroplastisitas dapat menjadi indikator dari efek neuroprotektif setelah latihan kontrol motorik pada tingkat molekuler seperti BDNF dapat menjadi indikator dari neuroplastisitas.²⁴⁻²⁶ BDNF merupakan protein yang disekresikan dan banyak diekspresikan di otak. BDNF adalah faktor utama dalam neuroplastisitas dan terlibat dalam regenerasi sel otak, pemulihan, serta pengaturan kembali koneksi neural, yang selanjutnya memengaruhi hasil fungsional setelah stroke. BDNF memiliki efek neurotrofik dan perubahan yang dapat terdeteksi dalam serum. Pemulihan atau peningkatan kadar BDNF dapat memberikan efek yang menguntungkan pada gangguan neurologis.²⁴⁻²⁶

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kadar BDNF serum yang rendah pada saat masuk rumah sakit berhubungan signifikan dengan hasil fungsional yang buruk dalam waktu 3 bulan,²⁷⁻²⁹ dan dua penelitian lainnya menunjukkan hasil yang tidak signifikan,^{30,31} meskipun salah satu studi juga menunjukkan bahwa kadar BDNF yang rendah berhubungan dengan hasil fungsional yang buruk setelah 2 dan 7 tahun pasca stroke³¹. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan jaringan dapat diikuti dengan peradangan dan pemulihan homeostasis, yang merupakan proses jangka panjang, fokus seharusnya terletak pada perubahan ekspresi BDNF pada tahap kronis daripada tahap akut.

Rehabilitasi berperan krusial dalam mengoptimalkan neuroplastisitas dan mendorong reorganisasi korteks otak, dua proses penting yang memungkinkan pasien untuk mendapatkan kembali kemampuan yang hilang serta mempelajari strategi kompensasi baru.³² Pelaksanaan rehabilitasi sejak dini secara konsisten terbukti memiliki hubungan yang erat dengan perbaikan fungsi tubuh yang lebih baik pada penderita stroke.³³ Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian kami bertujuan untuk menggunakan *Virtual Reality* yang dipadukan dengan tugas-tugas yang dirancang oleh terapis untuk mengetahui aktivitas penanda serum neuroplastisitas yaitu BDNF pada pasien dengan kondisi stroke.

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini adalah kuasi eksperimental dengan desain *two-group pretest-posttest*. Subjek sebanyak 30 orang pasien stroke yang ditentukan dengan menggunakan teknik purposive sampling dan di bagi menjadi 2 kelompok yang terdiri dari kelompok perlakuan (dengan pemberian *Virtual Reality*) dan kelompok kontrol (tanpa pemberian *Virtual Reality*) dengan masing-masing kelompok terdiri dari 15 orang pasien stroke. Subjek diambil dari pasien stroke yang bersedia dan memenuhi kriteria inklusi pada bulan April 2025. Kriteria inklusi dalam penelitian ini adalah (1) pasien stroke yang berusia 30-70 tahun, (2) onset stroke lebih dari 3 bulan, (3) skor *Mini-Mental State Examination* (MMSE) lebih dari 18, yang menunjukkan kemampuan memahami instruksi, (4) tidak memiliki gangguan neurologis lain sebagai komorbiditas, (5) bersedia mengisi dan menandatangani inform consent dan berpartisipasi dalam intervensi yang dilakukan oleh peneliti. Sedangkan kriteria eksklusi dalam penelitian ini adalah (1) mengalami gangguan fungsi kognitif dan bahasa, dengan Skor *Mini-Mental State Examination* (MMSE) <19, (2) berpartisipasi dalam uji klinis atau rehabilitasi lain dalam waktu 3 bulan sebelum eksperimen, (3) gangguan penglihatan atau persepsi visual yang parah seperti hemi-neglect, (5) gagal bekerja sama dengan peneliti dalam menjalankan aktivitas *Virtual Reality*, dan (7) menolak menjalani tes darah.

Sebelum pemberian latihan kontrol motorik berbasis *Virtual Reality* (VR) dilakukan pemeriksaan seperti Tekanan darah, *Mini-Mental State Examination* (MMSE) yang menunjukkan kemampuan untuk memahami instruksi dan pemeriksaan fungsi motorik ekstremitas atas sebelum dan setelah pemberian *Virtual Reality* dengan Wolf Motor Function Test (WMFT). Pemberian latihan kontrol motorik berbasis *Virtual Reality* dilakukan pada ruang yang bebas dari gangguan eksternal, dengan lingkungan virtual yang disiapkan dalam ruang fisik seluas 6 m². Pemberian VR hanya diberikan pada kelompok perlakuan dengan 4 sesi intervensi, masing-masing berdurasi 10-20 menit per hari, dengan frekuensi sebanyak 3 kali per minggu selama 4 minggu. Latihan *Virtual Reality* menggunakan *Oculus Quest 2*, dengan karakteristik perangkat yaitu standalone VR, memiliki resolusi tinggi memberikan tampilan yang tajam, memungkinkan pengguna bergerak bebas ke segala arah, dapat mendeteksi gerakan tangan atau menggunakan kontroler untuk interaksi virtual, sehingga berfungsi untuk latihan ekstremitas atas maupun bawah. Program rehabilitasi berbasis VR mencakup sejumlah modul terapeutik yang dirancang untuk menstimulasi berbagai domain fungsional. Modul-modul ini meliputi latihan koordinasi bilateral ekstremitas atas, aktivitas jangkauan dan genggaman dengan tingkat kesulitan yang dapat diatur, pelatihan keseimbangan

serta kontrol postural, dan latihan tugas ganda kognitif-motorik yang menantang kemampuan pasien dalam melakukan aktivitas mental dan fisik secara bersamaan.

Pengambilan darah dilakukan sebelum dan sesudah pemberian VR pada masing-masing kelompok. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan serum BDNF menggunakan ELISA kit dari Finetest. Metode pengujian ELISA dilakukan dengan teknik turbidimetri (OD Absorbance) menggunakan microplate 96 well dan pembacaan hasil pada panjang gelombang 450 nm. Standar yang digunakan memiliki rentang konsentrasi 31,25–2000 pg/mL (dengan konversi 1 ng = 1300 mIU). Untuk preparasi sampel, dilakukan pengenceran 2 kali lipat (1/2) dengan cara menambahkan 60 µL sampel ke dalam 60 µL larutan pengencer (sample diluent) kemudian dicampur secara perlahan hingga homogen. Seluruh kit atau bahan uji disimpan pada suhu 2–8°C dalam kondisi kotak tertutup rapat. Hasil pemeriksaan serum BDNF pada masing-masing kelompok dikumpulkan dan dilakukan analisis statistik menggunakan program komputerisasi SPSS *Version* 26. Data ditampilkan dalam bentuk rerata mean±SEM) data dianalisis menggunakan *paired sampel t-test* karena data berdistribusi normal.

HASIL

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pasien dengan kondisi stroke selama kurang lebih 4 minggu di Instalasi Rehabilitasi Medik di RS. Sentra Medika Cikarang. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa kadar serum BDNF pada kelompok kontrol tetap berada pada nilai yang sama, yaitu 1,24 ng/mL baik sebelum maupun sesudah intervensi, sehingga tidak terdapat perubahan yang berarti. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan, kadar serum BDNF mengalami peningkatan dari 1,45 ng/mL sebelum pemberian *Virtual Reality* (VR) menjadi 1,54 ng/mL setelah intervensi. Temuan ini mengindikasikan adanya respons positif berupa peningkatan kadar BDNF pada kelompok yang mendapatkan latihan motorik berbasis VR, sementara kelompok kontrol tidak menunjukkan perubahan. Berikut adalah distribusi data dari pemeriksaan serum BDNF dalam penelitian ini.

Tabel 1. Uji aktivitas serum BDNF pada masing-masing kelompok

Kelompok	Aktivitas Serum BDNF		<i>P Value</i>	<i>P value summary</i>
	Waktu Pemeriksaan			
	<i>Pre-test</i> (ng/mL)	<i>Post-test</i> (ng/mL)		
Kontrol	1,24 ng/mL	1,24 ng/mL	0,0001	***
Perlakuan	1,45 ng/mL	1,54 ng/mL	<0,0001	****

Paired sample t-test dengan nilai $p < 0,05$

Berdasarkan tabel 1 di atas menunjukkan bahwa sebelum intervensi, kadar serum BDNF pada kelompok kontrol (1,24 ng/mL) lebih rendah dibandingkan kelompok perlakuan (1,45 ng/mL), dengan perbedaan yang secara statistik sangat signifikan ($p = 0,0001^{***}$). Setelah pemberian *Virtual Reality* (VR), kadar serum BDNF pada kelompok kontrol tetap tidak berubah (1,24 ng/mL), sedangkan pada kelompok perlakuan meningkat menjadi 1,54 ng/mL, dengan perbedaan yang juga sangat signifikan ($p < 0,0001^{****}$). Temuan ini menunjukkan bahwa latihan motorik berbasis VR mampu meningkatkan kadar BDNF secara bermakna pada pasien stroke, sedangkan kelompok kontrol tidak mengalami perubahan.

Penelitian ini juga menemukan bahwa pada kelompok perlakuan, penilaian fungsi motorik ekstremitas atas yang dilakukan menggunakan *Wolf Motor Function Test* (WMFT)

baik sebelum maupun sesudah intervensi *Virtual Reality* mengalami peningkatan kemampuan motorik ekstremitas atas pasien setelah mendapatkan perlakuan VR, jika dibandingkan dengan kelompok kontrol. Berikut adalah distribusi data penelitian dari pemeriksaan WMFT pada masing-masing kelompok dalam penelitian ini.

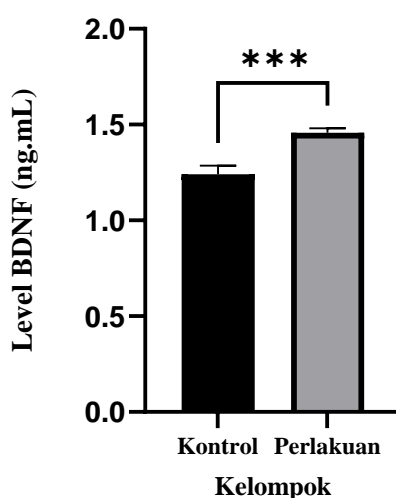
Tabel 2. Kemampuan fungsi motorik pada ekstremitas atas dengan WMFT pada masing-masing kelompok

Kemampuan fungsi motorik ekstremitas atas				
Kelompok	Waktu pemeriksaan		P value	P value summary
	Pre-Test (mean±SEM)	Post-test (mean±SEM)		
Kontrol	38±0,42	40±0,41	0,0001	***
Perlakuan	38±0,39	42±0,39	<0,0001	****

Paired sample t-test dengan nilai $p < 0,05$

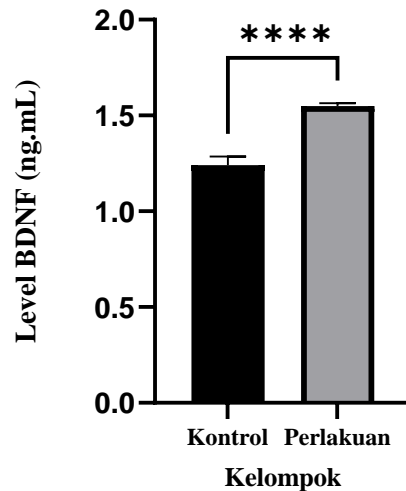
Berdasarkan tabel 2 diatas menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol yang mendapatkan terapi konvensional, skor WMFT mengalami peningkatan dari $38 \pm 0,42$ pada *pretest* menjadi $40 \pm 0,41$ pada *posttest*, dengan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p = 0,0001^*$). Sementara itu, pada kelompok perlakuan yang mendapatkan intervensi *Virtual Reality* (VR), skor WMFT meningkat lebih besar, yaitu dari $38 \pm 0,39$ sebelum intervensi menjadi $42 \pm 0,39$ setelah intervensi, dengan perbedaan yang sangat signifikan ($p < 0,0001^{**}$). Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terapi konvensional dapat meningkatkan fungsi motorik ekstremitas atas, penggunaan VR memberikan efek yang lebih bermakna dalam meningkatkan kemampuan motorik pasien stroke.

Aktivitas Serum BDNF Sebelum Pemberian VR



Gambar 1. Aktivitas Serum BDNF sebelum pemberian VR

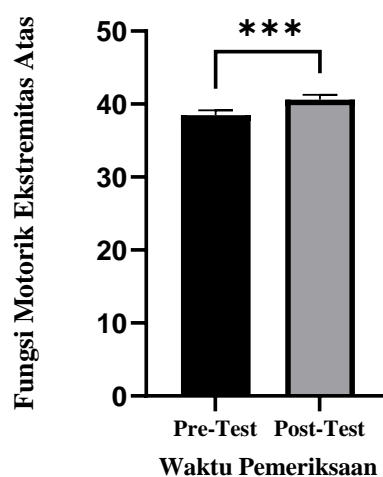
Aktivitas Serum BDNF Sesudah Pemberian VR



Gambar 2. Aktivitas Serum BDNF sesudah pemberian VR

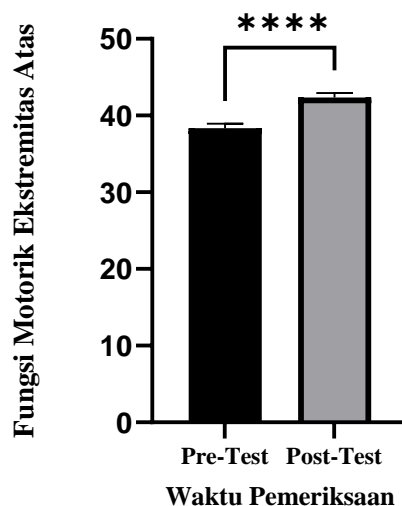
Berdasarkan grafik gambar 1 dan 2 diatas menunjukkan aktivitas serum BDNF sebelum dan sesudah pemberian VR pada masing-masing kelompok. Grafik menunjukkan bahwa kadar serum BDNF pada kelompok kontrol relatif lebih rendah dan tidak mengalami perubahan berarti antara pemeriksaan sebelum dan sesudah intervensi. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan, kadar serum BDNF terlihat lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, dengan adanya peningkatan setelah pemberian intervensi. Temuan ini mengindikasikan bahwa latihan motorik berbasis *Virtual Reality* (VR) berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas serum BDNF pada pasien stroke.

Pemeriksaan WMFT Pada Kelompok Kontrol



Gambar 3. Pemeriksaan WMFT pada kelompok Kontrol

Pemeriksaan WMFT Pada Kelompok Perlakuan



Gambar 4. Pemeriksaan WMFT pada kelompok Perlakuan

Berdasarkan grafik gambar 3 dan 4 diatas menunjukkan bahwa kelompok kontrol yang mendapatkan terapi konvensional mengalami peningkatan skor WMFT dengan perbedaan yang signifikan secara statistik. Namun, peningkatan yang lebih besar terlihat pada kelompok perlakuan yang diberikan intervensi Virtual Reality, dengan hasil yang sangat signifikan.

BAHASAN

Aktivitas serum BDNF setelah pemberian latihan motorik berbasis *Virtual Reality* menunjukkan adanya peningkatan serum BDNF pada kelompok perlakuan dari 1,45 ng/mL (*pre-test*) meningkat menjadi 1,54 ng/mL (*post-test*) jika dibandingkan dengan kelompok kontrol yang tetap berada pada nilai yang sama, yaitu 1,24 ng/mL baik sebelum maupun sesudah intervensi, sehingga tidak terdapat perubahan yang berarti. Peningkatan kadar serum BDNF pada kelompok perlakuan setelah intervensi *Virtual Reality* menunjukkan adanya respons biologis yang berkaitan dengan stimulasi aktivitas neuronal. BDNF berperan penting dalam mekanisme neuroplasticity, termasuk pembentukan sinaps baru, peningkatan viabilitas neuron, serta perbaikan konektivitas jaringan saraf pasca-stroke. Oleh karena itu, meskipun peningkatannya relatif kecil secara absolut, hasil ini mengindikasikan bahwa latihan motorik berbasis VR berpotensi mendukung proses pemulihan fungsi motorik melalui modulasi kadar BDNF.^{25,26,36,37}

Pemberian intervensi *Virtual Reality* (VR) pada kelompok perlakuan dengan total empat sesi latihan berdurasi 10–20 menit per hari dan frekuensi 2–3 kali per minggu menghasilkan peningkatan kadar serum BDNF hingga 1,54 ng/mL pada pasien dengan riwayat stroke iskemik maupun hemoragik yang sudah berlangsung lama. Peningkatan ini, meskipun tidak terlalu besar secara absolut, mengindikasikan adanya aktivasi mekanisme neuroplastisitas yang difasilitasi oleh stimulasi multisensorik dan latihan motorik berbasis tugas yang disediakan oleh VR. Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa intervensi aktif yang melibatkan stimulasi motorik dan sensorik (termasuk VR atau AR) dalam jangka pendek hingga sedang dapat memicu peningkatan kadar BDNF pada pasien stroke, baik iskemik maupun kronis.^{26,37,38}

Pada pasien stroke kronis, kapasitas plastisitas otak umumnya menurun dibandingkan fase akut atau subakut, sehingga pencapaian peningkatan BDNF melalui intervensi jangka

pendek ini menunjukkan bahwa latihan berbasis VR tetap efektif dalam memodulasi aktivitas neuronal. Hal ini mendukung peran VR sebagai pendekatan rehabilitasi tambahan yang mampu menstimulasi pembentukan sinaps baru, meningkatkan viabilitas neuron, serta memperkuat konektivitas jaringan saraf, sehingga berpotensi memperbaiki fungsi motorik ekstremitas atas pada pasien stroke kronis.^{25,26,36,37,38}

Fungsi motorik ekstremitas dalam penelitian ini juga dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan WMFT pada masing-masing kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik terapi konvensional (kelompok kontrol) maupun intervensi *Virtual Reality* (kelompok perlakuan) mampu meningkatkan fungsi motorik ekstremitas atas pada pasien stroke, sebagaimana tercermin dari peningkatan skor WMFT. Namun, besarnya peningkatan yang dicapai kelompok perlakuan jauh lebih signifikan dibandingkan kelompok kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa VR tidak hanya memberikan efek latihan fisik, tetapi juga menawarkan stimulasi multisensorik, *feedback real-time*, serta latihan motorik berbasis tugas yang lebih menantang dan interaktif dibandingkan terapi konvensional.^{39,40,41}

Secara fisiologis, latihan VR dapat memicu aktivasi korteks motorik secara lebih intensif, meningkatkan keterlibatan pasien, serta memperkuat mekanisme neuroplastisitas melalui jalur pembelajaran motorik yang berulang dan bermakna. Dengan demikian, peningkatan yang lebih besar pada kelompok perlakuan menegaskan potensi VR sebagai strategi rehabilitasi yang lebih efektif dalam memperbaiki fungsi motorik ekstremitas atas pasca-stroke.^{42,43}

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kadar serum BDNF hingga 1,54 ng/mL setelah pemberian intervensi *Virtual Reality*, nilai tersebut secara absolut masih relatif rendah jika dibandingkan dengan kadar BDNF yang dilaporkan pada pasien stroke dalam berbagai literatur. Hal ini menandakan bahwa respons biologis yang tercapai belum sepenuhnya mencerminkan pemulihan optimal. Selain itu, durasi intervensi yang terbatas serta jumlah sesi yang relatif sedikit kemungkinan turut memengaruhi besarnya peningkatan yang diperoleh. Untuk mencapai keberhasilan klinis yang lebih bermakna, dibutuhkan strategi tambahan, seperti peningkatan frekuensi dan intensitas latihan, penerapan kombinasi terapi, atau integrasi pendekatan rehabilitasi lain yang sinergis dengan VR. Di sisi lain, perbedaan waktu pengambilan sampel serum BDNF juga dapat memengaruhi hasil, sehingga diperlukan pemantauan yang lebih konsisten dan standar antar studi agar interpretasi data menjadi lebih akurat dan dapat diperbandingkan secara lebih valid.

SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh latihan motorik berbasis *Virtual Reality* terhadap aktivitas serum BDNF pada pasien stroke. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian intervensi VR menghasilkan peningkatan kadar serum BDNF pada kelompok perlakuan dibandingkan kelompok kontrol yang tidak mengalami perubahan berarti. Meskipun peningkatan kadar BDNF yang dicapai relatif kecil secara absolut, temuan ini tetap mencerminkan adanya aktivasi mekanisme neuroplastisitas yang berperan dalam pembentukan sinaps baru, peningkatan viabilitas neuron, dan perbaikan konektivitas jaringan saraf. Selain itu, intervensi VR terbukti memberikan peningkatan fungsi motorik ekstremitas atas yang lebih signifikan daripada terapi konvensional, sebagaimana tercermin dari skor WMFT. Dengan demikian, VR berpotensi menjadi strategi rehabilitasi yang efektif untuk mendukung pemulihan fungsi motorik pasca-stroke melalui stimulasi multisensorik dan latihan berbasis tugas yang berulang serta bermakna.

SARAN

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah sampel yang relatif kecil, sehingga generalisasi hasil penelitian masih terbatas. Meskipun demikian, temuan penelitian ini menunjukkan implikasi praktis bahwa penggunaan *virtual reality* (VR) berpotensi menjadi modalitas rehabilitasi yang efektif dalam meningkatkan fungsi motorik pada pasien stroke dan layak dipertimbangkan untuk diterapkan dalam praktik klinis.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan jumlah sampel dan memperpanjang durasi serta frekuensi intervensi VR, agar efek terhadap kadar serum BDNF dan pemulihan fungsi motorik dapat lebih optimal dan terlihat jelas secara klinis. Pengambilan sampel darah sebaiknya dilakukan dengan waktu yang lebih terstandar untuk meminimalkan variasi biologis harian pada kadar BDNF. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang membandingkan berbagai jenis atau platform VR dengan pendekatan konvensional maupun kombinasi keduanya, sehingga dapat diperoleh strategi rehabilitasi yang paling efektif pada pasien stroke. Studi jangka panjang diperlukan untuk mengevaluasi keberlanjutan efek VR terhadap neuroplastisitas dan pemulihan motorik, terutama pada pasien dengan stroke kronis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada Rumah Sakit Sentra Medika Cikarang dan Instalasi Rehabilitasi Medik yang telah memberikan ijin kepada peneliti dan tim untuk dapat melakukan penelitian. Terimakasih juga kepada pasien di instalasi rehabilitasi medik di RS. Sentra Medika Cikarang yang telah bersedia menjadi responden dalam penelitian ini. Serta semua pihak yang sudah ikut serta membantu dan mendukung selama penelitian ini berlangsung.

RUJUKAN

1. Kemenkes Kesehatan RI. 2024. Cegah Stroke dengan Aktivitas Fisik. Diunduh dari <https://kemkes.go.id/id/rilis-kesehatan/cegah-stroke-dengan-aktivitas-fisik> diakses pada tanggal 04 April 2025.
2. Hendricks HT, Van Limbeek J, Geurts AC, Zwarts MJ. Motor recovery after stroke: a systematic review of the literature. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002; 83:1629–1637.
3. Kwakkel G, Kollen BJ, van der Grond J, Prevo AJ. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. *Stroke.* 2003; 34:2181–2186.
4. Desrosiers J, Malouin F, Bourbonnais D, Richards CL, Rochette A, Bravo G. Arm and leg impairments and disabilities after stroke rehabilitation: relation to handicap. *Clin Rehabil.* 2003; 17:666–673.
5. Mang CS, Campbell KL, Ross CJ, Boyd LA. Promoting neuroplasticity for motor rehabilitation after stroke: considering the effects of aerobic exercise and genetic variation on brain-derived neurotrophic factor. *Phys Ther.* 2013; 93:1707–1716.
6. Pin-Barre C, Laurin J. Physical exercise as a diagnostic, rehabilitation, and preventive tool: influence on neuroplasticity and motor recovery after stroke. *Neural Plast.* 2015; 2015:608581.
7. Chen A, Xiong LJ, Tong Y, Mao M. The neuroprotective roles of BDNF in hypoxic ischemic brain injury. *Biomed Rep.* 2013; 1:167–176. doi: 10.3892/br.2012.48.
8. Riva G, Baños RM, Botella C, Mantovani F, Gaggioli A. Transforming experience: the potential of augmented reality and virtual reality for enhancing personal and clinical change. *Front Psychiatry.* 2016; 7:164.
9. Germanotta M, Gower V, Papadopoulou D, Cruciani A, Pecchioli C, Mosca R, et al. Reliability, validity and discriminant ability of a robotic device for finger training in patients with subacute stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2020; 17:1.

10. Ögün MN, Kurul R, Yaşar MF, Turkoglu SA, Avcı Ş, Yıldız N. Effect of leap motion-based 3D immersive virtual reality usage on upper extremity function in ischemic stroke patients. *Arq Neuropsiquiatr.* 2019; 77:681–688.
11. Song YH, Lee HM. Effect of immersive virtual reality-based bilateral arm training in patients with chronic stroke. *Brain Sci.* 2021; 11:1032.
12. Subramanian SK, Levin MF. Viewing medium affects arm motor performance in 3D virtual environments. *J Neuroeng Rehabil.* 2011; 8:36. doi: 10.1186/1743-0003-8-36.
13. Crosbie J, Lennon S, McGoldrick M, McNeill M, Burke J, McDonough SM, et al. Virtual reality in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a randomised pilot study. *Proc 7th ICDVRAT ArtAblit.* 2008; 229:235.
14. Crosbie JH, Lennon S, McGoldrick MC, McNeill MD, McDonough SM. Virtual reality in the rehabilitation of the arm after hemiplegic stroke: a randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil.* 2012; 26:798–806.
15. Huang X, Naghdy F, Du H, Naghdy G, Murray G. Design of adaptive control and virtual reality-based fine hand motion rehabilitation system and its effects in subacute stroke patients. *Comp Methods Biomech Biomed Eng Imaging Visual.* 2018; 6:678–86.
16. Weber LM, Nilsen DM, Gillen G, Yoon J, Stein J. Immersive virtual reality mirror therapy for upper limb recovery after stroke: a pilot study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2019; 98:783–788.
17. Wang, Z. R., Wang, P., Xing, L., Mei, L. P., Zhao, J., & Zhang, T. (2017). Leap Motion-based virtual reality training for improving motor functional recovery of upper limbs and neural reorganization in subacute stroke patients. *Neural regeneration research*, 12(11), 1823–1831.
18. Prochnow D, Bermúdez i Badia S, Schmidt J, Duff A, Brunheim S, Kleiser R, et al. A functional magnetic resonance imaging study of visuomotor processing in a virtual reality-based paradigm: rehabilitation gaming system. *Eur J Neurosci.* 2013; 37:1441–1447.
19. Takahashi CD, Der-Yeghiaian L, Le V, Motiwala RR, Cramer SC. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain.* 2008; 131:425–437.
20. Jang SH, You SH, Hallett M, Cho YW, Park CM, Cho SH, et al. Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: an experimenter-blind preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86:2218–2223.
21. You SH, Jang SH, Kim YH, Hallett M, Ahn SH, Kwon YH, et al. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: an experimenter-blind randomized study. *Stroke.* 2005; 36:1166–1171.
22. Calabrò RS, Naro A, Russo M, Leo A, De Luca R, Balletta T, et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2017; 14:53. doi: 10.1186/s12984-017-0268-4.
23. Kang YJ, Park HK, Kim HJ, Lim T, Ku J, Cho S, et al. Upper extremity rehabilitation of stroke: facilitation of corticospinal excitability using virtual mirror paradigm. *J Neuroeng Rehabil.* 2012; 9:71.
24. Włodarczyk L, Szelenberger R, Cichon N, Saluk-Bijak J, Bijak M, Miller E. Biomarkers of angiogenesis and neuroplasticity as promising clinical tools for stroke recovery evaluation. *Int J Mol Sci.* 2021; 22:3949.
25. Liu W, Wang X, O'Connor M, Wang G, Han F. Brain-derived neurotrophic factor and its potential therapeutic role in stroke comorbidities. *Neural Plast.* 2020; 2020:1969482.
26. Huang, C. Y., Chiang, W. C., Yeh, Y. C., Fan, S. C., Yang, W. H., Kuo, H. C., & Li, P. C. (2022). Effects of virtual reality-based motor control training on inflammation, oxidative stress, neuroplasticity and upper limb motor function in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *BMC neurology*, 22(1), 21.
27. Lasek-Bal A, Jędrzejowska-Szypułka H, Różycka J, Bal W, Holecki M, Duława J, et al. Low concentration of BDNF in the acute phase of ischemic stroke as a factor in poor prognosis in terms of functional status of patients. *Med Sci Monit.* 2015; 21:3900–3905.
28. Wang J, Gao L, Yang YL, Li YQ, Chang T, Man MH, et al. Low serum levels of brain-derived neurotrophic factor were associated with poor short-term functional outcome and mortality in acute ischemic stroke. *Mol Neurobiol.* 2017; 54:7335–7342.
29. Astuti A, Sutarni S, Setyopranoto I. Serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) level may predict the functional outcome of acute ischemic stroke patients. *Biomed Pharmacol J.* 2020; 13:1963–1973.

30. Sobrino T, Rodríguez-Yáñez M, Campos F, Iglesias-Rey R, Millán M, de la Ossa NP, et al. Association of high serum levels of growth factors with good outcome in ischemic stroke: a multicenter study. *Transl Stroke Res.* 2020; 11:653–663.
31. Stanne TM, Åberg ND, Nilsson S, Jood K, Blomstrand C, Andreasson U, et al. Low circulating acute brain-derived neurotrophic factor levels are associated with poor long-term functional outcome after ischemic stroke. *Stroke.* 2016; 47:1943–1945.
32. Keci A, Tani K, Xhema J. Role of rehabilitation in neural plasticity. *Open Access Macedonian J Med Sci.* 2019;7(9):1540.
33. Lee KE, Choi M, Jeoung B. Effectiveness of Rehabilitation Exercise in improving physical function of Stroke patients: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022; 19:19.
34. Iosa, M., Morone, G., Fusco, A., Castagnoli, M., Fusco, F. R., Pratesi, L., & Paolucci, S. (2015). Leap motion controlled videogame-based therapy for rehabilitation of elderly patients with subacute stroke: a feasibility pilot study. *Topics in stroke rehabilitation*, 22(4), 306–316.
35. Smeragliuolo, A. H., Hill, N. J., Disla, L., & Putrino, D. (2016). Validation of the Leap Motion Controller using markered motion capture technology. *Journal of biomechanics*, 49(9), 1742–1750.
36. Mojtavavi H, Shaka Z, Momtazmanesh S, Ajdari A, Rezaei N. Circulating brain-derived neurotrophic factor as a potential biomarker in stroke: a systematic review and meta-analysis. *J Transl Med.* 2022 Mar 14;20(1):126.
37. Petrova LV, Kostenko EV, Martynov MY, Pogonchenkova IV, Kopasheva VD. Vliyanie reabilitatsii s sensornoi perchatkoi i virtual'noi real'nost'yu na dinamiku neirotroficheskogo faktora golovnogo mozga i kognitivnykh vyzvannykh potentsialov P300 v rannem vosstanovitel'nom periode ishemičeskogo insulta [The effect of rehabilitation with sensory glove and virtual reality on concentration of brain-derived neurotrophic factor and event related potential P300 in the early rehabilitation period after ischemic stroke]. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova.* 2023;123(12. Vyp. 2):75-81.
38. Koroleva ES, Tolmachev IV, Alifirova VM, Boiko AS, Levchuk LA, Loonen AJM, Ivanova SA. Serum BDNF's Role as a Biomarker for Motor Training in the Context of AR-Based Rehabilitation after Ischemic Stroke. *Brain Sci.* 2020 Sep 9;10(9):623.
39. Lee HS, Lim JH, Jeon BH, Song CS. Non-immersive Virtual Reality Rehabilitation Applied to a Task-oriented Approach for Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Restor Neurol Neurosci.* 2020;38(2):165-172.
40. Yang SW, Ma SR, Choi JB. The Effect of Kinesio Taping Combined with Virtual-Reality-Based Upper Extremity Training on Upper Extremity Function and Self-Esteem in Stroke Patients. *Healthcare (Basel).* 2023 Jun 21;11(13):1813.
41. Zhang N, Wang H, Wang H, Qie S. Impact of the combination of virtual reality and noninvasive brain stimulation on the upper limb motor function of stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil.* 2024 Oct 5;21(1):179.
42. Patel J, Fluet G, Qiu Q, Yarossi M, Merians A, Tunik E, Adamovich S. Intensive virtual reality and robotic based upper limb training compared to usual care, and associated cortical reorganization, in the acute and early sub-acute periods post-stroke: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil.* 2019 Jul 17;16(1):92.
43. Shen J, Gu X, Fu J, Yao Y, Li Y, Zeng M, Liu Z, Lu C. Virtual reality-induced motor function of the upper extremity and brain activation in stroke: study protocol for a randomized controlled trial. *Front Neurol.* 2023 Apr 17;14:1094617.