

EFEKTIVITAS LATIHAN BERBASIS VIRTUAL REALITY TERHADAP KEMAMPUAN FUNGSIONAL EKSTREMITAS ATAS DAN FUNGSI KOGNITIF PADA INSAN PASCA STROKE

EFFECTIVENESS OF VIRTUAL REALITY BASED EXERCISES ON UPPER EXTREMITY FUNCTIONAL ABILITY AND COGNITIVE FUNCTION FOR PATIENTS WITH STROKE

Ilham Fatria

Program Studi Fisioterapi, Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Medika Suherman, Indonesia

*Email: ilhamfatria@medikasuherman.ac.id

Diterima: 20 Oktober 2022. Disetujui: 30 November 2022. Dipublikasikan: 30 Desember 2022

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas latihan berbasis Virtual Reality (VR) terhadap kemampuan fungsional ekstremitas atas dan fungsi kognitif pada insan pasca stroke. Jenis penelitian ini adalah kuasi eksperimen dengan menggunakan desain *randomized control pre-post test*. Kelompok perlakuan I berjumlah 8 orang yang diberikan latihan konvensional, sedangkan pada kelompok perlakuan II berjumlah 8 orang yang diberikan latihan berbasis VR. Penelitian ini dilakukan di Klinik Fisioterapi Sri Mulyani selama 4 minggu pada bulan Oktober sampai November 2022. Instrumen pengukuran kemampuan fungsional ekstremitas atas menggunakan *Wolf Motor Function Test* (WMFT) dan instrumen pengukuran fungsi kognitif menggunakan *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA-INA). Hasil penelitian pada kemampuan fungsional ekstremitas atas menggunakan WMFT menunjukkan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan I terdapat peningkatan kemampuan fungsional ekstremitas atas yang tidak signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,0520$) dan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan II terdapat peningkatan kemampuan fungsional ekstremitas atas yang signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,0003^{***}$). Pada pengukuran fungsi kognitif menggunakan MoCA-INA menunjukkan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan I terdapat sedikit peningkatan fungsi kognitif yang tidak signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,4439$) dan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan II terdapat peningkatan fungsi kognitif yang signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,0014^{**}$). Kesimpulan dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa latihan konvensional dan latihan berbasis VR dapat meningkatkan baik kemampuan fungsional ekstremitas atas ataupun fungsi kognitif pada insan pasca stroke. Namun dari hasil secara statistik terlihat bahwa latihan berbasis VR lebih efektif.

Kata Kunci: Stroke, Kemampuan Fungsional Ekstremitas Atas, Fungsi Kognitif, Latihan konvensional, Latihan berbasis Virtual Reality

Abstract: The objective of this study is to determine the effectiveness of Virtual Reality (VR) based exercises on upper extremity functional ability and cognitive functions in patients with stroke. This research is quasi-experiment using a pre-post test randomized control design. The treatment group I consisted of 8 people who were given conventional exercise, while in the treatment group II there were 8 people who were given VR-based exercises. This research was conducted at the Sri Mulyani Physiotherapy Clinic for 4 weeks from October to November 2022. The instrument for measuring upper extremity functional ability used the Wolf Motor Function Test (WMFT) and the instrument for measuring cognitive function used the Montreal Cognitive Assessment (MoCA-INA). The study showed that the upper extremity functional ability using WMFT showed that the results of the treatment group I showed an insignificant increase on upper extremity functional ability ($p > 0.05$ or $p = 0.0520$) and the results of the treatment group II showed an significant increase on upper extremity functional ability ($p > 0.05$ or $p = 0.0003^{***}$). The measurement of cognitive function using the MoCA-INA showed that the results of treatment group I showed a slightly insignificant increase in cognitive function ($p > 0.05$ or $p = 0.4439$) and treatment group II showed a significant increase in cognitive function ($p > 0.05$ or $p = 0.0014^{**}$). The conclusions of this study indicate that conventional exercises and VR-based exercises can improve both upper extremity functional ability and cognitive function in post-stroke individuals. However, statistically, it appears that VR-based exercises are more effective.

Keywords: Stroke, Upper Extremity Function Ability, Cognitive Function, Conventional Exercise, Virtual Reality Based Exercise

PENDAHULUAN

Stroke merupakan penyakit tidak menular yang terus meningkat setiap tahun dan masih menjadi permasalahan global. Penyakit ini juga merupakan salah satu penyakit mematikan yang masuk dalam daftar *World Health Organization* (WHO) sebagai salah satu penyakit terbesar penyebab kematian. Walaupun penyakit stroke merupakan penyakit yang mematikan, akan tetapi penderitanya juga dapat

kembali pulih dan sebagian besarnya mengalami disabilitas. Saat ini stroke merupakan penyebab utama disabilitas di dunia [1].

Beberapa gejala disabilitas pada insan pasca stroke yaitu mengalami gangguan fungsional kronis, gangguan koordinasi, gangguan keseimbangan, kontraktur otot dan defisit kognitif, yang tentu saja akan berkaitan dengan penurunan kualitas hidup termasuk kesulitan untuk berpartisipasi dalam

lingkungan sosial [2]. Dalam kasus Stroke juga diketahui bahwa terdapat gejala keterbatasan penggunaan ekstremitas atas karena adanya disfungsi motorik atau yang biasa disebut dengan hemiparese. Hemiparese ekstremitas atas tersebut merupakan defisit yang paling sering terjadi pada insan pasca stroke. Hal tersebut tentu saja akan berdampak pada kemampuan mereka untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Selain itu, stroke juga meningkatnya risiko terserang demensia 4 hingga 12 kali [3] dan akan meningkat sampai 69% apabila terdapat gejala gangguan kognitif [4].

Sehingga tentu saja hal tersebut menjadi tantangan berbagai elemen termasuk Fisioterapi untuk menentukan strategi agar dapat meningkatkan kapasitas fungsional dan kemampuan kognitif pada insan pasca stroke melalui proses rehabilitasi yang optimal dan komprehensif. Beberapa studi penelitian telah menunjukkan latihan sangat dibutuhkan untuk merangsang perbaikan fungsional dan perubahan neuroplastisitas [5] [6].

Beberapa jenis latihan konvensional dalam mendorong perbaikan kapasitas fungsional insan pasca stroke memiliki prinsip pemberian tugas spesifik serta memanfaatkan pengulangan dengan melibatkan instrumen yang nyata [7] [8]. Kendati penting dan esensial akan tetapi pelibatan instrumen yang nyata sangat berkaitan dengan problem individu, lingkungan, serta keterbatasan aspek ekonomi [9] [10].

Selama 2 dekade terakhir, kemajuan sains dan teknologi telah merambah pesat dalam bidang kesehatan dengan menghasilkan latihan yang melibatkan perangkat Virtual Reality (VR). VR merupakan suatu teknologi yang diperuntukkan untuk memperoleh kembali kontrol melalui tugas-tugas motorik secara objektif dalam lingkungan 3 dimensi sehingga penggunaannya merasakan seolah-olah yang dialami adalah nyata. VR dipahami sebagai simulasi komputer interaktif yang dapat mempengaruhi indera penggunaan melalui umpan balik visual, auditori, dan taktil, sehingga pengguna larut ke dalam lingkungan simulasi (*virtual environment*) [11].

VR memfasilitasi Fisioterapis untuk melakukan rehabilitasi insan pasca stroke secara interaktif, berintensitas tinggi dan banyak pengulangan [12]. Mengingat hal tersebut merupakan elemen dasar dalam mengaktivasi neuroplastisitas pada pasien yang mengalami kerusakan otak [13]. Selain itu, beberapa penelitian telah menyatakan bahwa latihan berbasis VR mampu mempromosikan pemulihan motorik dan fungsi kognitif dengan menginduksi pengalaman yang berasosiasi pada neuroplastisitas agar terciptanya *motor-relearning* [14].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa adaptasi neuroplastisitas akan menuntun reorganisasi gerakan pada level *motor cortex*, *premotor cortex*, *area supplementary motor* dan *somatosensory cortex* karena adanya *efficacy* sinaptik dan *remodeling* pada bagian *spines* dari dendritik yang dapat diinduksi

dengan melakukan tugas berorientasi pada tujuan spesifik dan dilakukan secara berulang pada latihan berbasis VR [15] [16] [17].

Berbagai perangkat telah dapat dipasang pada teknologi VR termasuk untuk mendeteksi gerakan tangan pada level milimeter menggunakan sensor yang di aplikasikan dalam bentuk video game [18]. Dewasa ini berbagai laporan penelitian terbaru telah menyoroti kegunaan potensial dari strategi penerapan tersebut untuk meningkatkan kemampuan motorik ekstremitas atas [19] serta disfungsi kognitif pada insan pasca stroke [20] [21] [22].

Sehingga pada kesempatan kali ini penulis tertarik untuk membahas topik tersebut dan telah melakukan penelitian untuk melihat pengaruh efektifitas latihan berbasis VR terhadap perbaikan kemampuan fungsional ekstremitas atas dan fungsi kognitif pada insan pasca stroke.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah kuasi eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui perbaikan kemampuan fungsional ekstremitas atas dan kemampuan fungsi kognitif pada insan pasca stroke. Uji coba terkontrol secara acak terdiri dari insan pasca stroke pada fase pemulihan yang sedang dalam program rawat jalan di Klinik Fisioterapi Sri Mulyani, Jakarta Barat yang dilakukan selama 4 minggu dengan frekuensi 3 kali per minggu pada bulan Oktober hingga November 2022. Enam belas pasien (7 pria, 9 wanita) insan pasca stroke terdaftar sebagai pasien dalam penelitian ini. Pasien secara acak dibagi dengan program komputer untuk kelompok perlakuan I (n = 8; 4 pria, 4 wanita) dan kelompok perlakuan II (n = 8 ; 3 pria, 5 wanita).

Kriteria inklusi pasien yang termasuk dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) stroke fase awal, yang ditunjukkan *brain computed tomography* atau *magnetic resonance imaging*; (b) dievaluasi untuk jangka waktu 6 bulan setelah serangan stroke; (c) usia diantara 50 dan 75 tahun; (d) pasien dengan paralisis atau paresis unilateral, dengan skor *Fugl Meyer assessment upper-extremity scale* (FMA-UE) >18, menunjukkan indikasi disfungsi ringan sampai sedang; (e) dapat memahami dan menyetujui untuk menyelesaikan penelitian. Adapun kriteria eksklusi pasien apabila mereka memiliki salah satu dari kondisi berikut ini: (a) masalah medis yang serius atau tidak stabil; (b) riwayat penyakit neurologis lainnya dan/atau gangguan psikiatri; (c) mengalami gangguan fungsi kognitif dan bahasa, dengan Skor pemeriksaan *Mini-Mental State* (MMSE) <19.

Instrumen pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Wolf Motor Function Test* (WMFT) untuk melihat kemampuan fungsional ekstremitas atas dan *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA-INA) untuk mengukur fungsi kognitif [39].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada kelompok perlakuan I dan perlakuan II untuk melihat kemampuan fungsional ekstremitas atas dan fungsi kognitif pada insan pasca stroke. Pada masing-masing kelompok dilakukan uji normalitas data dengan menggunakan *Saphiro Wilk test* menunjukkan data berdistribusi normal pada *pre-test* dan *post-test* pada kedua kelompok perlakuan.

Tabel 1. Uji Normalitas Data

Kelompok	<i>Saphiro Wilk Test</i>		Keterangan
	<i>pretest</i>	<i>posttest</i>	
Perlakuan I	0,65	0,88	Normal
Perlakuan II	0,94	0,29	Normal

*Berdasarkan uji normalitas data dengan menggunakan *Saphiro Wilk Test* $p > 0,005$ maka data berdistribusi normal

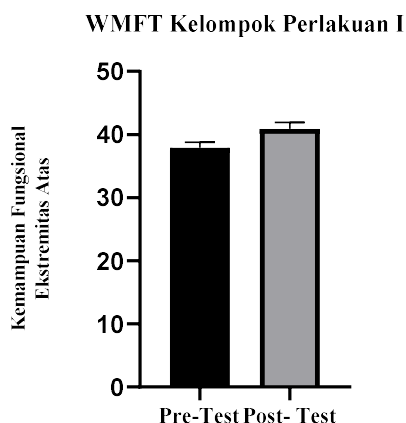
Pengukuran kemampuan fungsional ekstremitas atas menggunakan WMFT pada kedua kelompok perlakuan dengan menggunakan uji *T-test* menunjukkan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan I terdapat peningkatan kemampuan fungsional ekstremitas atas yang tidak signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,0520$) dan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan II terdapat peningkatan kemampuan fungsional ekstremitas atas yang signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,0003^{***}$).

Tabel 2. Uji Hipotesis pengukuran WMFT

Kelompok	Uji Hipotesis	<i>P Value</i> WMFT
Perlakuan I	<i>T - test</i>	0,0520
Perlakuan II	<i>T - test</i>	0,0003***
Perbedaan selisih antar kelompok	<i>Mann-Whitney test</i>	0,0053**

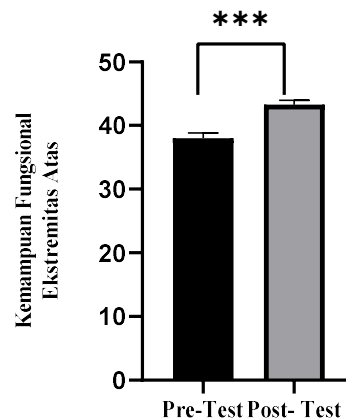
*Berdasarkan Uji Hipotesis pengukuran WMFT pada kelompok perlakuan I dengan menggunakan *T - test* nilai $p > 0,05$, pada kelompok perlakuan II dengan menggunakan *T - test* nilai $p < 0,05$

*Berdasarkan Uji Hipotesis perbedaan selisih antar kelompok dengan menggunakan *Mann-Whitney test* nilai $p < 0,05$



Gambar 1. Hasil Uji Hipotesis pengukuran WMFT

WMFT Kelompok Perlakuan II



Gambar 2. Hasil Uji Hipotesis pengukuran WMFT

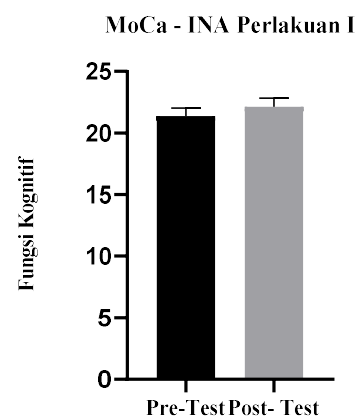
Pengukuran fungsi kognitif menggunakan MoCA-INA pada kedua kelompok perlakuan dengan menggunakan uji *T-test* menunjukkan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan I terdapat sedikit peningkatan fungsi kognitif *post-test* yang tidak signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,4439$) dan hasil pengukuran pada kelompok perlakuan II terdapat peningkatan fungsi kognitif yang signifikan ($p > 0,05$ atau $p = 0,0014^{**}$).

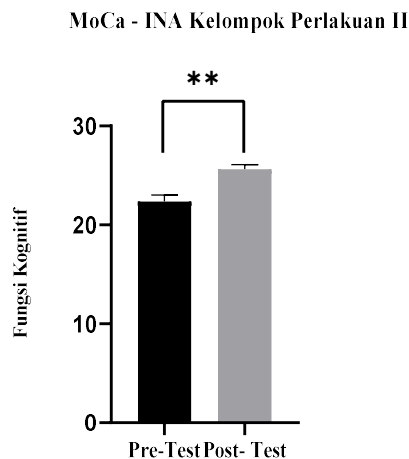
Tabel 3. Uji Hipotesis pengukuran MoCA-INA

Kelompok	Uji Hipotesis	<i>P Value</i> MoCA -INA
Perlakuan I	<i>T - test</i>	0,4439
Perlakuan II	<i>T - test</i>	0,0014**
Perbedaan selisih antar kelompok	<i>Mann-Whitney test</i>	0,0028**

*Berdasarkan Uji Hipotesis pengukuran MoCA-INA pada kelompok perlakuan I dengan menggunakan *T - test* nilai $p > 0,05$, pada kelompok perlakuan II dengan menggunakan *T - test* nilai $p < 0,05$

*Berdasarkan Uji Hipotesis perbedaan selisih antar kelompok dengan menggunakan *Mann-Whitney test* nilai $p < 0,05$





Gambar 3. Hasil Uji Hipotesis pengukuran MoCA-INA

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kemampuan fungsional ekstremitas atas dengan menggunakan instrumen pengukuran WMFT pada kelompok perlakuan II terdapat peningkatan kemampuan fungsional ekstremitas atas yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang mengungkapkan bahwa teknologi VR dapat meningkatkan fungsi ekstremitas atas pada insan pasca stroke kronis [23] serta menunjukkan hasil yang serupa pada insan pasca stroke di fase sub-akut [24]. Pelatihan dengan instrumen VR menghasilkan pemulihan neurologis yang lebih baik dari fungsi ekstremitas atas yang mengalami kelemahan dengan meningkatkannya pengulangan latihan serta berorientasi pada tugas dan motivasi pelatihan dibandingkan dengan terapi konvensional untuk insan pasca stroke. Hal ini mungkin karena sistem VR memberikan umpan balik perseptual multisensor dan menggunakan instrumen nyata yang dikaitkan dengan lingkungan realistik, yang bersama-sama mempromosikan area inkortikal dan subkortikal jaringan saraf untuk mengontrol posisi dan orientasi segmen tubuh dengan lebih baik [25].

Peningkatan fungsi anggota gerak terjadi karena adanya proses pembelajaran kembali dari *motor learning* mulai tahap kognitif, assosiatif dan autonomous. Teknologi VR memberikan pengalaman kepada pengguna untuk dapat melakukan gerakan fungsional secara lebih objektif. Mekanisme latihan berbasis VR melibatkan prinsip neuroplastisitas yang bergantung pada kebiasaan pembelajaran, di mana sistem VR menciptakan lingkungan virtual yang realistis yang mengharuskan insan pasca stroke untuk menggunakan ekstremitas yang mengalami kelemahan mereka untuk melakukan gerakan aktif atau pasif berdasarkan umpan balik multisensori [26].

Latihan berbasis VR dapat menghasilkan recovery fungsional yang lebih baik pada ekstremitas atas bagian distal daripada terapi konvensional. Demikian pula, penelitian lain telah mengungkapkan

peningkatan motorik yang lebih baik pada kelompok otot proksimal ekstremitas atas setelah mendapatkan intervensi berbasis VR [27].

Pada penelitian ini juga dilakukan pemeriksaan fungsi kognitif dengan menggunakan instrumen pengukuran MoCA-INA pada kelompok perlakuan II terdapat peningkatan yang signifikan pada tingkat fungsi kognitif insan pasca stroke. Hal ini sesuai dengan penelitian yang melaporkan bahwa terapi kognitif berbasis komputer dapat efektif dalam pemulihan gejala gangguan kognitif di berbagai area termasuk memori, perhatian, persepsi spasial. Dibandingkan dengan terapi konvensional, program rehabilitasi kognitif berbasis komputer memiliki keunggulan karena pasien dapat mengulang sendiri untuk belajar, memberikan umpan balik secara langsung terkait kinerja pasien, dan dapat menyesuaikan tingkat kesulitan dengan memilih tingkat program yang sesuai untuk pasien [28].

Suatu kajian dari hasil penelitian menjelaskan bahwa perhatian visual berperan penting untuk mengaktifkan fungsi kognitif secara efektif. Ketika kemampuan untuk memperhatikan dan berkonsentrasi terhadap input informasi dari luar terganggu maka akan berdampak pada kesulitan dalam hal pemecahan masalah, memori dan menghasilkan tindakan [29]. Dalam sebuah penelitian menemukan bahwa perhatian visual dan memori visuospasial jangka pendek menunjukkan peningkatan yang signifikan ketika mendapatkan intervensi berbasis program VR pada insan pasca stroke dengan gangguan kognitif. Hal ini karena intervensi berbasis program VR dilakukan dalam bentuk permainan yang dapat membangkitkan motivasi dan minat pasien, yang mengarah pada peningkatan memori prosedural serta pengaktifan kembali neurotransmitter otak dan pada akhirnya mempengaruhi perhatian visual dan memori visuospasial jangka pendek [28].

Penelitian yang dilakukan oleh Rose *et al.* melaporkan pada pasien *vascular brain injury* yang memiliki minat dan secara aktif berpartisipasi dalam program VR menunjukkan hasil tes pada kesadaran spasial yang meningkat secara signifikan. Rose *et al.* menjelaskan bahwa perbaikan memori prosedural akan sangat membantu untuk meningkatkan memori *visuospasial* selama partisipasi aktif dalam menjalani program VR [30]. Selain itu, Kim *et al.* melaporkan bahwa jika pasien termotivasi dengan pengalaman yang beragam ketika mendapatkan latihan berbasis VR, akan dapat menghasilkan peningkatan perhatian dan memori melalui pengaktifan kembali kemampuan *neurotransmitter* otak seperti sistem kolinergik dan dopaminergik. Penelitiannya menunjukkan hasil peningkatan kinerja perhatian dan memori setelah menjalani latihan berbasis VR pada fungsi kognitif lansia melalui stimulus VR yang kuat (visual dan pendengaran) dan imersif yang cukup untuk mendorong secara aktif aktivitas fungsi kognitif [31].

Mekanisme lain yang membuat program VR meningkatkan fungsi kognitif adalah karena background layar VR yang sangat bervariasi seperti lingkungan pegunungan dan lapangan, resor ski, lapangan sepak bola sehingga efektif untuk menstimulasi persepsi *visuospasial*. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kemampuan belajar *visuospasial* meningkat secara signifikan pada pasien yang memiliki disabilitas fisik ketika mendapatkan stimulus persepsi *visuospasial* melalui latihan berbasis VR berupa permainan dibandingkan dengan pasien yang tidak diterapi dengan program VR [32][33]. Insan pasca stroke yang mendapatkan latihan berbasis VR menunjukkan level kewaspadaan melalui perbaikan perhatian visual dan audio. Hal ini karena selama menjalani program mereka mendapatkan stimulus visual secara terus menerus pada layar bersama dengan stimulus audio seperti musik latar dalam permainan VR. Selain itu, Bo Ryun Kim *et al.* menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam tes pembelajaran verbal dan visual yang mencerminkan memori jangka panjang yang relatif serta memori dan perhatian jangka pendek pada sebelum dan sesudah latihan berbasis VR pada insan pasca stroke. Insan pasca stroke melakukan gerakan sederhana dan berulang terutama fleksi dan abduksi bahu melalui program VR. Gerakan fisik yang berulang tersebut cenderung memperbaiki fungsi kognitif dengan meningkatkan aktivasi area otak yang bertanggung jawab untuk fungsi kognitif [28].

Kendati demikian peneliti tidak dapat melakukan analisis secara mendalam proses perkembangan dari hasil latihan pada level neuroanatomi otak karena keterbatasan instrumen pengukuran yang digunakan. Perkembangan tersebut dapat melalui *functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) atau alat *Positron Emission Tomography* (PET) yang memungkinkan untuk dilakukan pengamatan pada aktivitas otak selama menjalani program.

KESIMPULAN

Temuan dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa latihan konvensional dan latihan berbasis VR dapat meningkatkan baik kemampuan fungsional ekstremitas atas ataupun fungsi kognitif pada insan pasca stroke. Namun dari hasil secara statistik terlihat bahwa latihan berbasis VR lebih efektif.

Latihan berbasis VR pada insan pasca stroke memberikan kesempatan untuk mendorong dan memotivasi insan pasca stroke agar dapat melakukan latihan melalui berbagai tugas yang bervariasi juga lebih menantang serta cenderung bertujuan dan berorientasi pada tugas lebih spesifik, yang mana hal tersebut dianggap paling bermanfaat dalam rehabilitasi fungsi motorik ekstremitas atas dan fungsi kognitif [34].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nichols-Larsen DS, Clark PC, Zeringue A, Greenspan A, Blanton S. (2005). Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke*. 36:1480-4.
- [2] Kernan WN, Ovbiagele B, Black HR, et al. (2014). Guidelines for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack : a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association / American Stroke Association. *Stroke*. 45:2160-236.
- [3] Khedr EM, Hamed SA, El-Shereef HK, et al. (2009). Cognitive impairment after cerebrovascular stroke: relationship to vascular risk factors. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 5:103-16.
- [4] Yu KH, Cho SJ, Oh MS, et al. (2013). Cognitive impairment evaluated with Vascular Cognitive Impairment Harmonization Standards in a multi center prospective stroke cohort in Korea. *Stroke*. 44:786-8.
- [5] Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. (2000). Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem*. 74:27-55.
- [6] Kwakkel G. (2006). Impact of intensity of practice after stroke: issues for consideration. *Disabil Rehabil*. 28:823-30.
- [7] Platz T, van Kaick S, Mehrholz J, Leidner O, Eickhof C, Pohl M. (2009). Best conventional therapy versus modular impairment-oriented training for arm paresis after stroke: a single-blind, multicenter randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 23:706-16.
- [8] Samuelkamaleshkumar S, Reethajanetsureka S, Pauljebaraj P, Benshamir B, Padankatti SM, David JA. (2014). Mirror therapy enhances motor performance in the paretic upper limb after stroke: a pilot randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 95:2000-5.
- [9] Foley NC, Teasell RW, Bhogal SK, Doherty T, Speechley MR. (2003). The efficacy of stroke rehabilitation: a qualitative review. *Top Stroke Rehabil*. 10:1-18.
- [10] Langhorne P, Coupar F, Pollock A. (2009) Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol*. 8:741-54.
- [11] Holden MK. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav*. 8:187-211. discussion 212-9.
- [12] Kwakkel G, Kollen BJ, Krebs HI. (2008). Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair*. 22:111-21.
- [13] Kleim JA, Jones TA. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity:

- implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res.* 51:S225-39.
- [14] Doyon J, Benali H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Curr Opin Neurobiol.* 15:161-7.
- [15] Nudo RJ. (2003). Adaptive plasticity in motor cortex: implications for rehabilitation after brain injury. *J Rehabil Med.* 7-10
- [16] Hallett M. (2005). Neuroplasticity and rehabilitation. *J Rehabil Res Dev.* 42. xvii-xxii.
- [17] Jang SH, You SH, Hallett M, et al. (2005). Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: an experimenter-blind preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil.* 86:2218-23.
- [18] Kim B R, Min Ho Chun, M.D., Lee Suk Kim, M.D., Ji Young Park, M.D. (2011). Effect of Virtual Reality on Cognition in Stroke Patients. *Ann Rehabil Med.* 35: 450-459
- [19] Kwon JS, Park MJ, Yoon IJ, Park SH. (2012). Effects of virtual reality on upper extremity function and activities of daily living performance in acute stroke: a double-blind randomized clinical trial. *Neuro Rehabilitation.* 31:379-85.
- [20] Brunner I, Skouen JS, Hofstad H, et al. (2016). Is upper limb virtual reality training more intensive than conventional training for patients in the subacute phase after stroke? An analysis of treatment intensity and content. *BMC Neurol.* 16:219.
- [21] Carregosa AA, Aguiar Dos Santos LR, Masruha MR, et al. (2018). Virtual rehabilitation through Nintendo Wii in poststroke patients: follow-up. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 27:494-8.
- [22] Lledo LD, Diez JA, Bertomeu-Motos A, et al. (2016). A comparative analysis of 2D and 3D tasks for virtual reality therapies based on robotic assisted neurorehabilitation for post-stroke patients. *Front Aging Neurosci.* 8:205.
- [23] Brunner I, Skouen JS, Hofstad H, Aßmus J, Becker F, Sanders A-M, et al. (2017). Virtual reality training for upper extremity in subacute stroke (VIRTUES): a multicenter RCT. *Neurology.* 89(24):2413-21
- [24] Soufi Ahmadi H, Hassani Mehraban A, Amini M, Sheikhi M. (2019). The Effects of Virtual Reality on Upper Limb Function in Chronic Stroke Patients: A Clinical Trial. *Iranian Rehabilitation Journal.* 17 (1) :81-89
- [25] Calabrò RS, Naro A, Russo M, Leo A, De Luca R, Balletta T, et al. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil.* 14(1):1-16.
- [26] Kiper P, Piron L, Turolla A, Stożek J, Tonin P. (2011). The effectiveness of reinforced feedback in virtual environment in the first 12 months after stroke. *Neurol Neurochir Pol.* 45(5):436-44
- [27] Shin J-H, Kim M-Y, Lee J-Y, Jeon Y-J, Kim S, Lee S, et al. (2016). Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-blinded, randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 13(1):1-10.
- [28] Bo Ryun Kim, et al. (2011). Effect of Virtual Reality on Cognition in Stroke Patients. *Ann Rehabil Med.* 35: 450-459
- [29] Ben-Yishay Y, Piasetsky EB, Rattock J. 1987. *A systematic method for ameliorating disorders in basic attention.* In : Meier MJ, Benton AL, Diller L, Editors. *Neuropsychological rehabilitation, 1st ed.* New York : Chur-chill Livingstone, 165-181.
- [30] Rose FD, Brooks BM, Attree EA, Parslow DM, Lead- better AG, McNaill JE, Jayawardena S, Greenwood R, Potter J. (1999). A preliminary investigation into the use of virtual environments in memory retraining after vascular brain injury: indications for future strategy? *Disabil Rehabil.* 21: 548-554
- [31] Kim YH, Shin SH, Park SH, Ko MH. (2001). Cognitive assessment for patient with brain injury by computerized neuropsychological test. *J Korean Acad Rehab Med.* 25: 209-216.
- [32] Wilson PN, Foreman N, Tlauka M. (1996). Transfer of spatial information from a virtual to a real environment in physically disabled children. *Disabil Rehabil.* 18: 633-637.
- [33] Stanton D, Foreman N, Wilson P, Duff y H, Parnell R. 2022. *Use of virtual environments to acquire spatial under standing of real-world multi-level environments. Proceedings of the 4th International Conference on Disability, Virtual Reality and associated Technologies; Sep 18-20; Veszprem, Hungary.* UK: University of Reading.
- [34] Llorens R, Noe E, Colomer C, Alcaniz M. (2015). Effectiveness, usability, and cost-benefit of a virtual reality-based telerehabilitation program for balance recovery after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 96:418-25

