

Analisa Upper-limb Movement Sequence (UMS) menggunakan Absolute Trajectory Error dan Hand Speed Movement untuk Rehabilitasi Pasca Stroke

Basri Noor Cahyadi
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah
Malang
Malang, Indonesia
basrinoorc@umm.ac.id

Milkhatussyafa'ah Taufiq
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Bina Nusantara
Malang, Indonesia
milkhatussyafaah.taufiq@binus.ac.id

Wan Khairunizam
Faculty of Electrical Engineering
and Technology
University Malaysia Perlis
khairunizam@unimap.edu.my

Abstract—2019 World Health Organization informed that the two-thirds of stroke patients have a permanent disability. Disability disorders can affect performance or daily activities such as eating, drinking, wearing clothes, bathing, and others. Disability caused by stroke can be treated by exercising motor function and muscle strength. Studies in upper extremity rehabilitation report that the most important element in the disability recovery process is monitoring the progress of the rehabilitation itself. For monitoring and evaluating upper arm rehabilitation, the therapists still rely on traditional assessments based on ordinal scales or charts and are only monitored in terms of the patient's upper arm movement. In this study, we will analyze the rehabilitation movement based on virtual reality games using the Absolute Trajectory Error and Hand Speed Movement methods. While the rehabilitation movement used in this study will apply the Upper-limb Movement Sequence (UMS) method. Five subjects participated for data collection over 3 sessions and 5 iterations. The movements were recorded by using the Kinect Xbox V2 sensor with 10 Hz sampling data. Mean absolute trajectory error (ATE) and hand speed method were used to analyze arm movements during VR games. Although this study used healthy subjects, 80% of them experienced an increase in movement, and this condition was evidenced by a decrease in ATE values in each session. Trajectory data can be used as the basis for analysis of arm movements during the VR game rehabilitation process, where with these data errors in hand position, hand speed to reach the target, and movement errors can be analyzed more deeply. Moreover, the mean ATE and hand speed movements can show the progress or changes in hand movement during the rehabilitation process clearly.

Keywords— Movement Sequence, Absolute Trajectory Error, After Stroke, Rehabilitation,

I. PENDAHULUAN

World Health Organization (WHO) tahun 2019 menginformasikan bahwa dua pertiga pasien stroke mengalami cacat tetap [1]. Meskipun stroke bukanlah penyebab utama kecacatan, tetapi stroke dapat menyebabkan kecacatan jangka panjang yang dapat menurunkan kinerja seseorang dalam aktivitas atau pekerjaan dan dapat menurunkan kepercayaan diri dalam hidup. Stroke merupakan suatu kondisi dimana darah yang mengalir menuju ke otak terganggu. Kondisi seperti ini disebabkan oleh penyumbatan atau pecahnya pembuluh darah di otak. Pada saat terjadi penyumbatan atau pecahnya pembuluh darah maka otak tidak akan mendapatkan oksigen dan nutrisi, sehingga sel-sel di otak akan mati. Kondisi ini menyebabkan bagian tubuh yang dikendalikan oleh area otak yang rusak tidak berfungsi dengan baik [2].

Kelemahan ekstremitas atas setelah stroke lazim dalam rehabilitasi, hampir 40% tidak pernah mendapatkan kembali penggunaan fungsional ekstremitas atas. Kecacatan setelah stroke dapat disebabkan oleh melemahnya fungsi kontrol *motoric* otot itu sendiri dan melemahnya kekuatan otot yang disebabkan oleh kurangnya aktivitas akibat stroke [3]. Disisi lain, studi pada pasien pasca stroke telah menunjukkan bahwa ada saraf, struktur otot dan perubahan fungsi setelah stroke yang dapat menyebabkan defisit kekuatan otot dan *motoric* [4]. Pelemahan fungsi ekstremitas atas dapat diatasi dengan modul perawatan yang terencana dan terorganisir dengan baik, termasuk penggunaan gerakan aktif dalam tugas yang berulang dan berorientasi. Selain itu, gerakan rehabilitasi harus aman untuk mencegah penurunan panjang serat, *atrophy* pada otot, dan penurunan elastisitas pada

tendon [5]. Proses rehabilitasi dapat berjalan optimal jika terapi rehabilitasi dimulai secepat mungkin setelah serangan stroke, seperti pada [6]. Dalam proses rehabilitasi banyak parameter yang harus dipantau seperti arah, ketepatan, kecepatan dan percepatan gerakan untuk mencapai target dan kekuatan otot [7]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemulihan dengan metode yang teroganisir dapat meningkatkan aktivitas otot [8]. R. Suhaimi membuat urutan gerakan dengan tiga kriteria yaitu pemanasan, gerakan intens dan pendinginan. Sistem ini berbasis game dan checkpoint atau target. Pada hasil laporan akhir menyebutkan bahwa 80% pasien memiliki peningkatan kekuatan otot deltoid dan biceps [9]. Z. L. Htoon mengusulkan metode untuk estimasi parameter impedansi mekanik ekstremitas atas menggunakan Recursive Least Square (RLS). Untuk pengukuran dan analisis digunakan platform berbantuan robot 3-DOF untuk rehabilitasi pasca stroke dengan beberapa sensor gaya yang terletak pada lengan robot dan motor [10].

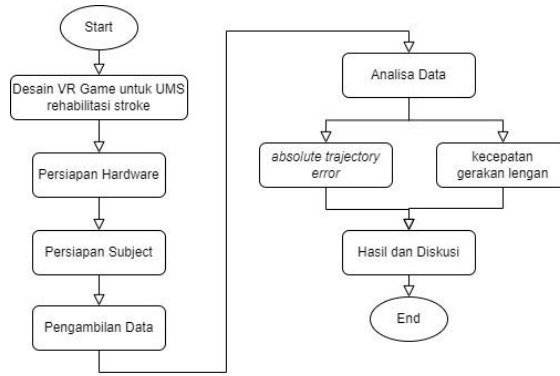
Virtual Reality (VR) adalah lingkungan digital, yang dapat sepenuhnya dikendalikan oleh pihak tertentu. VR adalah platform populer di dunia game yang dapat memanipulasi lingkungan virtual menjadi lebih menarik. Para peneliti dan terapis stroke telah menerapkan platform ini untuk menggantikan rehabilitasi stroke konvensional. Ini adalah cara yang efektif untuk membangun lingkungan yang bervariasi dan menarik, dimana dengan metode ini memungkinkan pasien untuk terlibat dalam kegiatan terapeutik yang bermakna dan memotivasi [11]. Rehabilitasi dengan menggunakan game VR mungkin memiliki beberapa keunggulan dibandingkan terapi tradisional walaupun hal ini masih dalam tahap penelitian. Game VR dapat memungkinkan orang untuk mempraktikkan aktivitas sehari-hari yang tidak dapat dilakukan di lingkungan rumah sakit. Selain itu, beberapa fitur game VR mungkin dapat menarik pasien untuk menghabiskan lebih banyak waktu dalam terapi.

Studi dalam rehabilitasi ekstremitas atas melaporkan bahwa elemen terpenting dalam proses pemulihan lengan adalah memantau kemajuan rehabilitasi itu sendiri [12]. Untuk memantau dan mengevaluasi rehabilitasi lengan atas, sebagian besar terapis masih mengandalkan penilaian secara klinis. Cara-cara tersebut dilakukan secara manual oleh terapis dengan menggunakan skala ordinal berbasis grafik dan hanya monitor dari segi gerakan lengan atas pasien [13], [14]. Metode penilaian rehabilitasi yang efektif dan akurat sangat penting untuk mencapai tujuan rehabilitasi. Saat ini, ada banyak metode evaluasi yang dirancang untuk menilai rehabilitasi, tetapi metode-metode tersebut masih menggunakan cara yang konvensional. Metode penilaian konvensional merupakan suatu metode penilaian klinis yang dilakukan secara manual oleh terapis dengan menggunakan skala ordinal berbasis grafik seperti *Barthel Index (BI)*, *Functional Independence Measure (FIM)*, *Wolf Motor Function (WMF)*, *National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS)*, *Fugl-Meyer Assessment (FMA)*, dan *Edmonton Symptom Assessment Scale (ESAS)* [8, 9]. Pada penelitian ini akan fokus pada Analisa Gerakan pada Upper-limb Movement Sequence (UMS) untuk rehabilitasi berbasis permainan virtual dengan menggunakan *absolute trajectory error (ATE)* dan kecepatan gerakan lengan.

Poin-poin kunci dari penelitian ini terdiri dari empat bagian. Bagian pertama adalah pendahuluan dan peneliti terkait. Bagian kedua adalah metodologi penelitian. Bagian ketiga adalah hasil, dan pembahasan dan bagian terakhir adalah kesimpulan.

II. METODE PENELITIAN

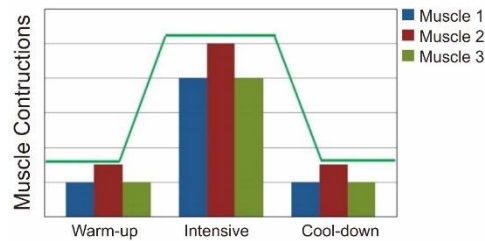
Penelitian ini berfokus pada analisa gerakan UMS pada saat melakukan proses rehabilitasi berbasis permainan VR. Metode evaluasi yang akan digunakan menggunakan *absolute trajectory error (ATE)* dan kecepatan gerakan lengan. Alur penelitian ini telah ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

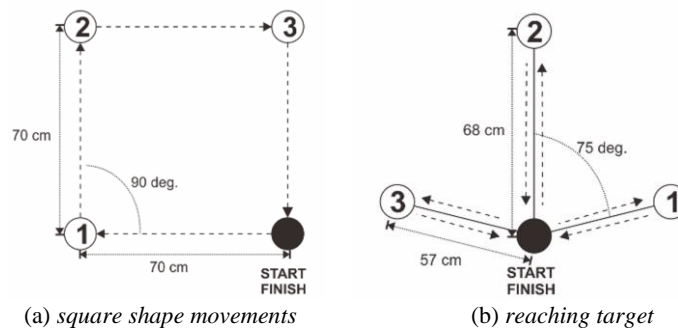
A. Desain Gerakan UMS untuk Rehabilitasi Pasca Stroke

Peneliti sepakat bahwa gerakan yang ideal untuk rehabilitasi stroke adalah urutan Gerakan atau movement sequence yaitu suatu Gerakan yang dimulai dengan gerakan mudah untuk pemanasan, gerakan bertahap dan gerakan mudah untuk pendinginan [9], [15]. Pemanasan membantu mengendurkan otot sekaligus mengurangi risiko cedera. Salah satu cara untuk pemanasan adalah mulai bertindak pada tingkat intensitas atau kecepatan paling ringan. Kekuatan otot dan kontrol motorik dapat dipulihkan dengan menggunakan latihan intensif. Pendinginan adalah aktivitas lambat dengan mengurangi kontraksi otot. Selain itu, pendinginan akan mencegah kekakuan setelah latihan fisik dan mengendurkan otot. Pola urutan gerakan ideal yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pola gerakan tangan yang ideal

Pada penelitian ini terdapat dua pola permainan yang telah diusulkan untuk proses pengambilan data, dimana permainan ini terdiri dari *square shape movements* dan *reaching target*. Berikut adalah desain gerakan UMS yang diusulkan:



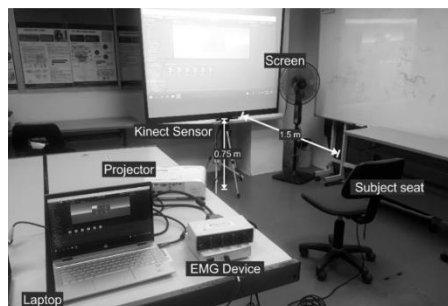
Gambar 3 Desain *upper-limb movement sequence* (UMS) untuk rehabilitasi ekstremitas atas pasca stroke

Metode rehabilitasi yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a) merupakan gerakan rehabilitasi untuk memulihkan fungsi lengan atas, dimana pasien akan menggerakkan tangan sesuai dengan arah panah yang nantinya akan membentuk lintasan kotak. Gerakan ini bertujuan untuk melatih sistem kontrol motorik otot, dan kekuatan otot lengan atas

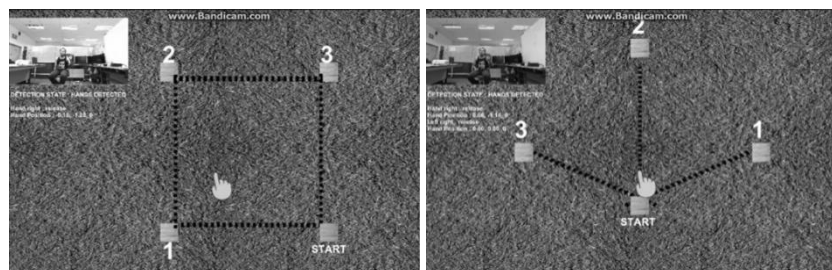
termasuk deltoid, biceps, dan triceps. Gambar 3 (b) merupakan gerakan rehabilitasi untuk memulihkan fungsi lengan atas, dimana pasien akan menggerakkan tangan untuk menjangkau target yang dituju. Gerakan ini bertujuan untuk melatih sistem control motorik, peregangan dan kekuatan otot.

B. Desain Permainan VR untuk Rehabilitasi Pasca Stroke

Permainan VR ini dirancang dengan menggunakan metode non-immersive karena metode ini tidak memerlukan kinerja grafis tingkat tertinggi, tidak ada perangkat keras khusus seperti head-mounted display (HMD), biaya rendah, dan dapat digunakan untuk banyak aplikasi. Gerakan dalam permainan ini telah dianalisis pada penelitian sebelumnya mengenai aktivitas otot [16], [17]. Lingkungan VR untuk gerakan lengan dirancang dengan luas ruang 3 x 3 m. Sistem tersebut terdiri dari sensor Kinect, tampilan layar, personal computer (PC), proyektor, dan audio (built-in PC). Sensor Kinect Xbox One diletakkan di lantai dengan tinggi 75 cm dan jarak subjek ke sensor Kinect 150 cm. Karena peneliti sebelumnya menyatakan bahwa jarak optimal untuk sensor Kinect Xbox adalah 150 cm hingga 200 cm [18], [19].



Gambar 4 Lingkungan Permainan VR untuk Rehabilitasi Pasca Stroke



Gambar 5 Tampilan Permainan VR pada Layar Proyektor

Tampilan *user interface* pada game VR terdiri dari tangan virtual, target berbentuk persegi, jalur lintasan gerakan tangan, tangkapan video subjek, waktu, dan koordinat tangan virtual.

C. Pengumpulan Data

Sebanyak lima subjek berpartisipasi dalam penelitian ini selama tiga sesi. Pada setiap sesi atau *Sesi*, semua subjek harus melakukan permainan dengan lima kali pengulangan. Seluruh subjek, baik laki-laki maupun perempuan, merupakan mahasiswa Universiti Malaysia Perlis (UniMAP), dalam kondisi sehat, dan tidak kidal. Penggunaan subjek dengan kondisi sehat karena sistem ini masih dalam pengujian fungsional sistem di area laboratorium kampus.



(a) *Square shape movements* (b) *Reaching Target Movements*
 Gambar 6 Urutan dan aturan gerakan pada permainan VR untuk rehabilitasi

Pola gerakan atau aturan permainan VR ditunjukkan pada Gambar 6. (a) Permainan pola *square shape*, dimana langkah pertama adalah meletakkan tangan dalam posisi bebas. Langkah kedua adalah meletakkan tangan pada posisi start dengan kondisi tangan terbuka dengan siku ditekuk ke atas membentuk sudut 60 derajat. Langkah selanjutnya adalah menggerakkan tangan mengikuti garis dalam permainan. Subjek harus mencapai semua target dengan urutan Target #1, Target #2, Target #3 dan Finish. Gerakan ini akan membentuk pola persegi. (b) Permainan *reaching target*, dimana langkah pertama dan kedua sama dengan permainan *square shape movements*. Pada langkah ketiga subjek harus meraih object virtual nomor 1 berbentuk persegi pada monitor dan Kembali lagi ke posisi start. Langkah selanjutnya adalah mengulangi Langkah ketiga dengan meraih object virtual nomor 2 dan 3 kemudian berhenti di kotak finish.

D. Pengolahan Data

Data lintasan direkam dengan menggunakan sensor Kinect Xbox One yang terintegrasi dengan permainan VR untuk rehabilitasi pasca stroke. Gerakan tangan subjek dan lintasan gerakan tangan akan disimpan dalam laptop. Frekuensi sampling yang digunakan untuk merekam gerakan tangan adalah sebesar 10 Hz. Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan menggunakan software MATLAB.

1) Absolute Trajectory Error (ATE)

Kesalahan Lintasan Absolut atau *Absolute Trajectory Error* (ATE) adalah penyimpangan posisi koordinat objek dengan koordinat gerakan yang sebenarnya. Dalam penelitian ini, kesalahan gerakan tangan dihitung dengan menggunakan *mean absolute trajectory error* (ATE). Perhitungan kesalahan lintasan absolut adalah dengan membagi koordinat pergerakan dengan koordinat referensi. Koordinat referensi dihasilkan oleh game. Rerata kesalahan lintasan absolut rata-rata adalah rata-rata kesalahan lintasan absolut dari setiap koordinat [20].

$$mean ATE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{a} - a| \quad (1)$$

Dimana:

- \bar{a} = koordinat referensi
- a = Virtual koordinat tangan

2) *Hand Speed Movement*

Perhitungan dasar kecepatan tangan adalah jarak dibagi waktu. Jarak antara dua koordinat dapat dihitung dengan menggunakan *Teorema Pythagoras*. Jika jumlah koordinatnya n, maka jarak total (d_{total}) adalah $d_1 + d_2 + d_3 \dots \dots + d_n$ [21].

$$d = \sqrt{(Y_1 - Y_0)^2 + (X_1 - X_0)^2} \tag{2}$$

$$v = \frac{d_{total}}{t} \tag{3}$$

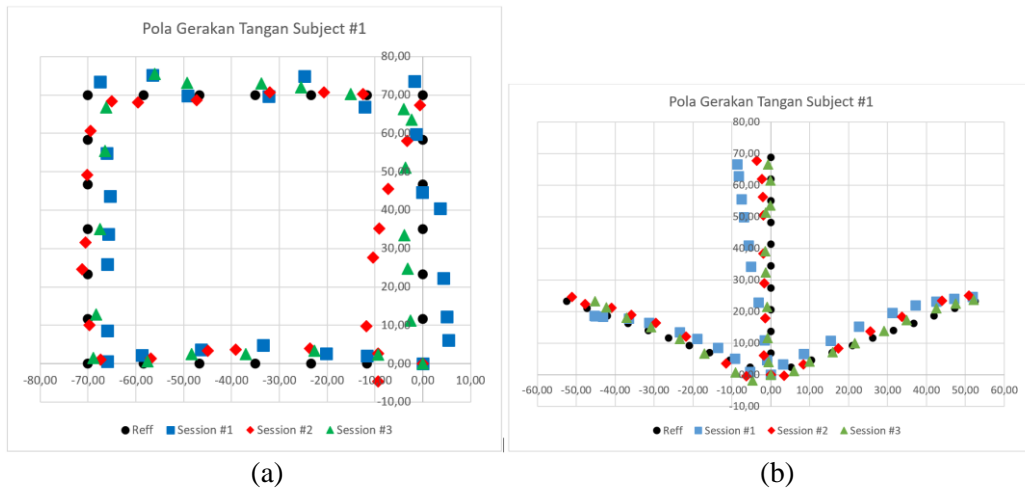
Dimana:

- d = Jarak antara koordinat
- X_0, Y_0 = Koordinat referensi
- X_1, Y_1 = Koordinat yang direkam
- v = kecepatan tangan
- d_{total} = Total jarak yang telah ditempuh
- t = Waktu

III. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gerakan lengan selama rehabilitasi menggunakan permainan VR yang menerapkan metode *upper-limb movement sequence* berdasarkan gerakan lintasan tangan.

Hasil rekaman koordinat dan data gerakan lengan pada saat melakukan rehabilitasi ditunjukkan pada Gambar 7, Dimana data tersebut merupakan data dari Subject #1. Dari pola gerakan lengan, subjek mengalami peningkatan gerakan pada setiap sesinya. Pola pergerakan lintasan pada *Sesi #3* lebih mulus dibandingkan *Sesi #2* dan *Sesi #1*. Selain itu, waktu untuk menyelesaikan permainan meningkat di setiap sesi dan gerakan kesalahan juga berkurang di setiap *Sesi*. Sedangkan nilai kesalahan lintasan mutlak kecil, pola gerakan lengan akan mulus. Subjek gerakan lengan disebut normal jika pola gerakan lengannya sama dengan pola acuan.



Gambar 7 Lintasan gerakan lengan dari Subjek #1 (a) *square shape* (b) *reaching target*

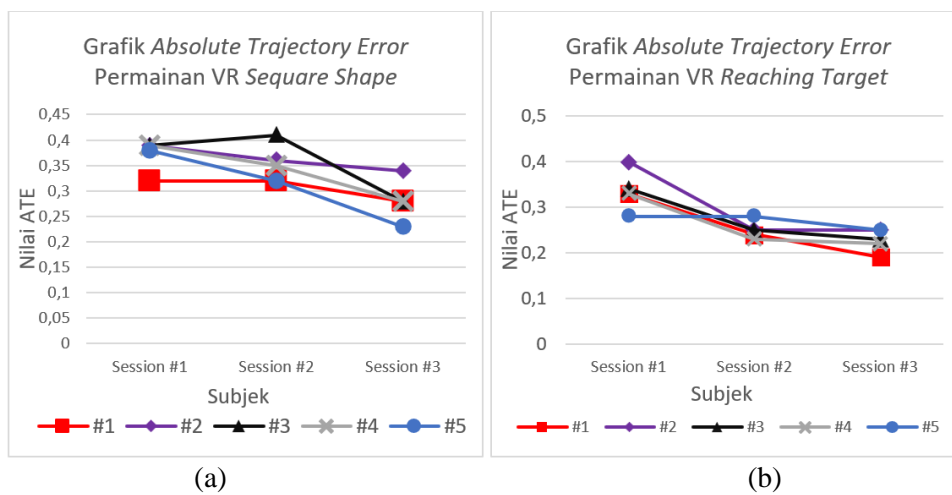
A. Absolute Trajectory Error

Tabel 1 menunjukkan nilai kesalahan gerak yang dilakukan oleh setiap subjek dalam menyelesaikan permainan VR untuk rehabilitasi pasca stroke. Nilai minus pada kolom perubahan nilai ATE menunjukkan penurunan kesalahan artinya subjek mengalami perbaikan gerakan disetiap sesinya. Sedangkan nilai rata-rata kesalahan gerak pada Sesi #1 adalah 0,355, Sesi #2 adalah 0,301, dan Sesi #3 adalah 0,255.

Tabel 1 Nilai *absolute trajectory error* pada saat melaksanakan proses rehabilitasi

Subjek	Permainan	Nilai ATE			Perubahan nilai ATE	
		Sesi #1	Sesi #2	Sesi #3	Sesi #1 ke #2	Sesi #2 ke #3
#1	<i>Sequare Shape</i>	0,32	0,32	0,28	0	-0,04
	<i>Reaching Target</i>	0,33	0,24	0,19	-0,09	-0,05
#2	<i>Sequare Shape</i>	0,39	0,36	0,34	-0,03	-0,02
	<i>Reaching Target</i>	0,4	0,25	0,25	-0,15	0
#3	<i>Sequare Shape</i>	0,39	0,41	0,28	0,02	-0,13
	<i>Reaching Target</i>	0,34	0,25	0,23	-0,09	-0,02
#4	<i>Sequare Shape</i>	0,39	0,35	0,28	-0,04	-0,07
	<i>Reaching Target</i>	0,33	0,23	0,22	-0,1	-0,01
#5	<i>Sequare Shape</i>	0,38	0,32	0,23	-0,06	-0,09
	<i>Reaching Target</i>	0,28	0,28	0,25	0	-0,03

Gambar 8 menunjukkan grafik perubahan *absolute trajectory error* atau ATE setiap sesi. Peningkatan gerakan tangan ditunjukkan dengan penurunan nilai ATE setiap sesi atau penurunan grafik disetiap sesinya. Penurunan nilai ATE disebabkan oleh peningkatan kualitas gerakan yang dilakukan oleh subjek pada setiap sesi. Jika subjek melakukan kesalahan selama gerakan lengan termasuk tidak fokus dalam permainan atau menggerakkan tangan dengan cepat, kesalahan lintasan absolut akan meningkat. Umumnya peserta akan mencoba untuk memperbaiki gerakannya sampai mendapatkan nilai error yang lebih rendah.



Gambar 8 Grafik perubahan nilai ATE untuk setiap sesi (a) permainan *sequare shape* (b) permainan *reaching target*.

Kesalahan lintasan absolut rata-rata dapat menunjukkan keakuratan gerakan tangan di setiap sesi. Meskipun penelitian ini menggunakan subjek dalam kondisi sehat atau normal, sebagian besar subject mengalami peningkatan dalam gerakan. Metode tugas yang berorientasi tugas dan berulang untuk perawatan gerakan lengan dapat membantu subjek untuk meningkatkan akurasi gerakan tangan. Kondisi ini dibuktikan dengan penurunan nilai ATE setiap sesinya.

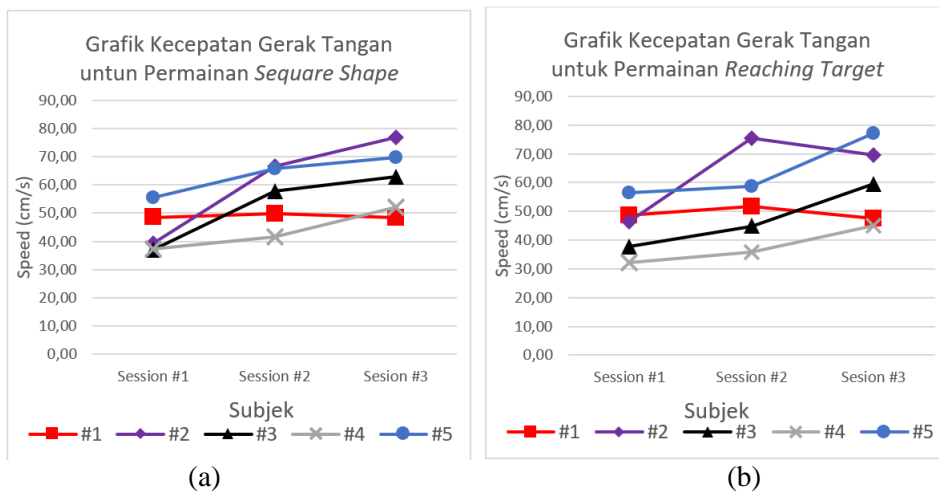
B. Hand Speed Movement

Tabel 2 menunjukkan nilai kecepatan gerakan tangan subjek dalam menyelesaikan permainan dan perubahan kecepatan pada setiap sesinya. Dilihat dari kolom perubahan kecepatan terdapat beberapa penurunan kecepatan hal ini bisa disebabkan oleh kondisi psikologi atau fisik subject pada saat menyelesaikan permainan seperti kelelahan atau kurangnya konsentrasi. Secara keseluruhan kelima subject mengalami peningkatan kecepatan dalam menyelesaikan permainan, dengan rata-rata kecepatan pada Sesi #1 adalah 43,81 cm/s, Sesi #2 adalah 54,814 cm/s, dan Sesi #3 adalah 60,92 cm/s.

Tabel 2 Kecepatan gerakan tangan dalam menyelesaikan permainan

Subjek	Kecepatan (cm/s)			Perubahan Kecepatan (cm/s)	
	Sesi #1	Sesi #2	Sesi #3	Sesi #1 to #2	Sesi #2 to #3
#1	48,56	49,82	48,55	1,26	-1,27
	48,7	51,76	47,65	3,06	-4,11
#2	39,39	66,66	76,61	27,27	9,95
	46,49	75,38	69,7	28,89	-5,68
#3	36,98	57,7	62,97	20,72	5,27
	37,71	44,92	59,66	7,21	14,74
#4	37,32	41,73	52,21	4,41	10,48
	31,14	35,82	45	4,68	9,18
#5	55,38	65,67	69,75	10,29	4,08
	56,43	58,68	77,13	2,25	18,45

Gambar 9 menunjukkan grafik perubahan kecepatan tangan untuk menyelesaikan permainan disetiap sesinya. Peningkatan nilai menunjukkan peningkatan gerakan kecepatan tangan disetiap sesi. Sebagian besar subjek mengalami peningkatan kecepatan gerak pada setiap sesinya. Peningkatan kecepatan dapat dipengaruhi oleh pelatihan perulangan dan peningkatan fungsi koordinasi motorik pada otot.



Gambar 9 Grafik gerakan kecepatan untuk setiap sesi (a) square shape (b) reaching target.

Hasil analisis menunjukkan, sebagian besar subjek mengalami peningkatan dalam gerakan kecepatan tangan. Fungsi motorik dan kekuatan otot dapat mempengaruhi gerakan tangan untuk menyelesaikan permainan. Jika subjek melakukan latihan dalam waktu yang lama atau menggunakan metode yang berulang-ulang maka gerakannya akan lebih baik termasuk gerakan kecepatan tangan dan gerakan kesalahan. Jika subjek jarang

melaksanakan rehabilitasi maka grafik kemajuan rehabilitasi akan menurun atau tidak konsisten.

IV. KESIMPULAN

Data lintasan memberikan informasi yang berguna tentang gerakan lengan selama rehabilitasi menggunakan VR, termasuk kesalahan gerakan, kesalahan posisi tangan, dan kecepatan tangan untuk mencapai target atau menyelesaikan permainan. Dalam penelitian ini, rata-rata ATE dan gerakan kecepatan tangan mampu memberikan informasi yang jelas tentang perkembangan gerakan tangan dalam menyelesaikan permainan. Dari hasil pengamatan dengan menggunakan posisi gerak tangan dan kecepatan dapat disimpulkan bahwa metode evaluasi ini dapat digunakan atau dipraktikkan untuk proses evaluasi rehabilitasi pasca stroke, walaupun masih perlu adanya pengembangan. Kesalahan dan kecepatan gerakan tangan selama perawatan lengan dapat ditingkatkan dengan menggunakan tugas yang berulang-ulang dan berorientasi. Penelitian terkait pengembalian fungsi motorik otot masih terus dapat dikembangkan. Evaluasi terhadap proses rehabilitasi tidak hanya dilihat dari sisi luar tetapi kondisi otot atau bagian dalam otot juga harus dievaluasi karena untuk menghindari terjadinya kekakuan otot, kelelahan otot, bahkan kerusakan/sobek pada otot.

ACKNOWLEDGEMENT

Penelitian ini didukung dengan dana penelitian Technopreneur UniMAP Sdn Bhd (TUSB) dengan hibah penelitian 2017/08/0006 dan kerjasama antara Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) dan Universiti Malaysia Perlis (UniMaP).

REFERENCES

- [1] J. Kim *et al.*, “Global Stroke Statistics 2019,” *International Journal of Stroke*, vol. 15, no. 8, pp. 819–838, 2020. doi: 10.1177/1747493020909545.
- [2] M. Molinari and M. Masciullo, “Stroke and potential benefits of brain-computer interface,” *Handb. Clin. Neurol.*, vol. 168, pp. 25–32, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00003-2.
- [3] B. Yu *et al.*, “The Effects of the Biceps Brachii and Brachioradialis on Elbow Flexor Muscle Strength and Spasticity in Stroke Patients,” *Neural Plast.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/1295908.
- [4] B. N. Sahyudi *et al.*, “Investigation of upper limb movement for VR based post stroke rehabilitation device,” *Proc. - 2018 IEEE 14th Int. Colloq. Signal Process. its Appl. CSPA 2018*, pp. 52–56, May 2018, doi: 10.1109/CSPA.2018.8368684.
- [5] B. N. Cahyadi *et al.*, “Muscle Fatigue Detections during Arm Movement using EMG Signal,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 557, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/557/1/012004.
- [6] S. S. Mahmoud, Z. Cao, J. Fu, X. Gu, and Q. Fang, “Occupational Therapy Assessment for Upper Limb Rehabilitation: A Multisensor-Based Approach.,” *Front. Digit. Heal.*, vol. 3, p. 784120, Dec. 2021, doi: 10.3389/fdgth.2021.784120.
- [7] N. H. Ismail *et al.*, “Investigation of upper arm muscle activation for the progress monitoring in stroke rehabilitation,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2045, Dec. 2018, doi: 10.1063/1.5080841.
- [8] M. S. H. Majid, W. Khairunizam, A. B. Shahrman, I. Zunaidi, B. N. Sahyudi, and M. Zuradzman, “EMG Feature Extractions for Upper-Limb Functional Movement during Rehabilitation,” *2018 Int. Conf. Intell. Informatics Biomed. Sci. ICIIBMS 2018*, pp. 314–320, Nov. 2018, doi: 10.1109/ICIIBMS.2018.8549932.
- [9] R. Suhaimi, K. S. Talha, K. Wan, and M. A. Ariffin, “Design of movement sequences for arm rehabilitation of post-stroke,” *Proc. - 5th IEEE Int. Conf.*

- Control Syst. Comput. Eng. ICCSCE 2015*, pp. 320–324, May 2016, doi: 10.1109/ICCSCE.2015.7482205.
- [10] Z. L. Htoon, S. N. I. Sidek, S. Fatai, and T. Yunahar, “Assessment of upper limb muscle tone level based on estimated impedance parameters,” *IECBES 2016 - IEEE-EMBS Conf. Biomed. Eng. Sci.*, pp. 742–747, 2016, doi: 10.1109/IECBES.2016.7843549.
- [11] M. Trombetta, P. P. Bazzanello Henrique, M. R. Brum, E. L. Colussi, A. C. B. De Marchi, and R. Rieder, “Motion Rehab AVE 3D: A VR-based exergame for post-stroke rehabilitation,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 151, pp. 15–20, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.CMPB.2017.08.008.
- [12] M. Kutlu, C. T. Freeman, E. Hallelwell, A. M. Hughes, and D. S. Laila, “Upper-limb stroke rehabilitation using electrode-array based functional electrical stimulation with sensing and control innovations,” *Med. Eng. Phys.*, vol. 38, no. 4, pp. 366–379, Apr. 2016, doi: 10.1016/J.MEDENGGPHY.2016.01.004.
- [13] C. Duret, O. Courtial, and A. G. Grosmaire, “Kinematic measures for upper limb motor assessment during robot-mediated training in patients with severe sub-acute stroke,” *Restor. Neurol. Neurosci.*, vol. 34, no. 2, pp. 237–245, Mar. 2016, doi: 10.3233/RNN-150565.
- [14] S. S. Esfahlani, B. Muresan, A. Sanaei, and G. Wilson, “Validity of the Kinect and Myo armband in a serious game for assessing upper limb movement,” *Entertain. Comput.*, vol. 27, pp. 150–156, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.ENTCOM.2018.05.003.
- [15] H. L. Lee, W. Khairunizam, B. N. Cahyadi, W. A. Mustafa, and S. Z. S. Idrus, “Progress Monitoring in Upper Limb Stroke Rehabilitation by Using Muscle Activation and Hand Speed,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1529, no. 4, Jun. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1529/4/042019.
- [16] B. N. Cahyadi et al., “Upper Limb Muscle Strength Analysis for Movement Sequence Based on Maximum Voluntary Contraction Using EMG Signal,” 2018. doi: 10.1109/ICASSDA.2018.8477638.
- [17] H. S. Lee, Y. J. Park, and S. W. Park, “The effects of virtual reality training on function in chronic stroke patients: A systematic review and meta-analysis,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/7595639.
- [18] J. Huang, M. Lin, J. Fu, Y. Sun, and Q. Fang, “An Immersive Motor Imagery Training System for Post-Stroke Rehabilitation Combining VR and EMG-based Real-Time Feedback,” *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Int. Conf.*, vol. 2021, pp. 7590–7593, Nov. 2021, doi: 10.1109/EMBC46164.2021.9629767.
- [19] W.-S. Kim et al., “Clinical Application of Virtual Reality for Upper Limb Motor Rehabilitation in Stroke: Review of Technologies and Clinical Evidence,” *J. Clin. Med.*, vol. 9, no. 10, pp. 1–20, Oct. 2020, doi: 10.3390/jcm9103369.
- [20] H. Ai, A. Zhu, J. Wang, X. Yu, and L. Chen, “Buffer compliance control of space robots capturing a non-cooperative spacecraft based on reinforcement learning,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 13, Jul. 2021, doi: 10.3390/APP11135783.
- [21] “Distance between points - Math Open Reference.” <https://www.mathopenref.com/coorddist.html> (accessed Sep. 25, 2022).