

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Stroke merupakan penyebab utama morbiditas jangka panjang, dimana lebih dari 60% penderita *stroke* mengalami defisit neurologis persisten yang berdampak signifikan pada independensi dan kualitas hidup pasien. *World Health Organization* (WHO) menyebutkan bahwa terdapat sebanyak 15 juta orang di seluruh dunia yang menderita *stroke* (Hummel et al., 2005). Pada tahun 2021, terdapat sekitar 1.789.261 kasus *stroke* di Indonesia. Berdasarkan data Riskesdas tahun 2018 diketahui prevalensi penyakit *stroke* di Sulawesi Selatan sebesar 10,6% dengan populasi terbanyak pada usia 75 tahun sebanyak 48,5% (RI, 2019). *Stroke* merupakan penyakit katastrofik ketiga yang berbiaya mahal dan telah menghabiskan anggaran sebanyak 2,5 triliun rupiah (BPJS Kesehatan Republik Indonesia, 2021).

Stroke adalah penyebab disabilitas kedua paling banyak, dimana sekitar 80% individu yang bertahan dari *stroke* menderita gangguan motorik, seperti hemiparesis, serta 15-30% individu menjadi tidak mampu melakukan aktivitas harian dengan normal secara permanen yang mengakibatkan depresi dan penurunan kualitas hidup. Lebih dari 60% pasien *stroke* dengan hemiparesis mengalami kehilangan keterampilan pada ekstremitas atas dan fungsi lengan, khususnya pada tangan dan pergelangan tangan yang lebih terdampak dibandingkan bahu dan siku (Felipe et al., 2020; Kwakkel et al., 2003; Wang et al., 2019). Selain itu diestimasikan sekitar 80% dari 700.000 individu pasca *stroke* memerlukan terapi tangan, dan hanya sekitar 20% yang memerlukan terapi untuk balian fungsi ambulasi. Hal ini diakibatkan sulitnya mengembalikan al ekstremitas atas dibandingkan ekstremitas bawah (Friedman,



Pergerakan tangan memainkan peran utama di dalam fungsi ekstremitas atas, dimana banyak aktivitas harian yang memerlukan fungsi tangan, seperti menggunakan alat makan, mengancingkan baju, membuka pintu, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, kehilangan fungsi tangan dapat mempengaruhi kemandirian fungsional dan kualitas hidup pasien secara serius (Wang et al., 2019). Temuan beberapa studi longitudinal mengindikasikan bahwa dari 30-66% pasien *stroke* dengan lengan yang mengalami paresis tetap tidak berfungsi ketika diperiksa enam bulan pasca *stroke*, dan hanya 5-20% pasien mengalami kesembuhan fungsional sempurna (Kwakkel et al., 2003). Ketiadaan fungsi genggaman yang terukur pada 1 bulan setelah *stroke* merupakan indikasi adanya penyembuhan fungsional yang buruk pada lengan yang terkena (Kwakkel et al., 2003). Dalam kondisi seperti diatas, sistem motorik manusia mempertahankan kapasitasnya untuk plastisitas, sehingga program rehabilitasi berguna untuk menurunkan masalah tangan jangka panjang (Friedman, 2014).

Rehabilitasi *stroke* konvensional telah menjadi intervensi berbasis bukti yang mampu meningkatkan kekuatan, fleksibilitas, ketahanan, mobilitas fungsional dan kualitas hidup pasien dengan *stroke* (Kannan et al., 2019). Namun, terapi konvensional yang dinilai sangat repetitif namun monoton menjadi keterbatasan terapi konvensional (Felipe et al., 2020; Kannan et al., 2019). Selain itu keterbatasan peralatan yang sesuai untuk kemampuan motorik halus yang diperlukan untuk meningkatkan ketangkasan tangan, akses yang sulit menuju pusat rehabilitasi, keterbatasan sumber daya terapis, dan biaya terapi yang mahal menyebabkan kepatuhan pasien menjadi rendah sehingga terjadi status fungsional tangan yang optimal (Friedman, 2014).

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan *virtual reality* pada terapi rehabilitasi *stroke* terbukti memberikan perbaikan pada fungsi motorik, kekuatan otot, dan keseimbangan atas bawah (Felipe et al., 2020). *Video game* yang digunakan dalam



aplikasi terapeutik telah berkembang sejak beberapa tahun terakhir, khususnya pada kondisi yang menghubungkan stimulus *virtual* dengan situasi di kehidupan nyata. Teknologi pemrosesan gambar dalam desain sistem membantu memotivasi individu dengan keterbatasan fisik untuk meningkatkan jumlah latihan yang dapat dilakukan, sehingga berdampak pada peningkatan kemampuan menggerakkan ekstremitas yang terkena, serta disertai dengan peningkatan kualitas hidup (Chang et al., 2013; Felipe et al., 2020). Merians dkk. melaporkan bahwa aktivasi area parietal posterior dan area premotor pada pasien dengan *stroke* dapat dilakukan dengan memberikan paparan pergerakan dari tangan *virtual* serta memotivasi pasien untuk meniru gerakan tersebut (Felipe et al., 2020; Merians et al., 2009). Sejumlah studi menunjukkan bahwa rehabilitasi berbasis *virtual reality* dapat membantu untuk meningkatkan rentang gerak, kekuatan otot, serta fungsi pada regio tubuh yang terdampak (Felipe et al., 2020). Namun, Laver dkk. melaporkan bahwa bukti untuk menarik kesimpulan mengenai dampak dari *VR* dan permainan video interaktif pada kekuatan genggaman, dan fungsi motorik halus ekstremitas atas secara keseluruhan pada pasien dengan *stroke* belumlah cukup. Studi dan panduan berbasis bukti mengenai rehabilitasi dalam mengembalikan fungsi tangan dan motorik halus secara spesifik pasca *stroke* masih terbatas (Wang et al., 2019). Oleh karena itu, penulis tertarik untuk menilai hubungan antara penggunaan *VR* dengan fungsi tangan dan fungsi motorik halus tangan pada pasien pasca *stroke*.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Bagaimana pengaruh pemberian *virtual reality exergame* pada status fungsional tangan dan fungsi motorik halus pada pasien pasca *stroke*



1.3. TUJUAN PENELITIAN

1.3.1. TUJUAN UMUM

Mengetahui pengaruh pemberian *virtual reality exergame* pada status fungsional tangan dan fungsi motorik halus pasien pasca *stroke*.

1.3.2. TUJUAN KHUSUS

1. Mengetahui pengaruh pemberian terapi rehabilitasi konvensional terhadap status fungsional tangan pasien pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *virtual reality exergame* dengan terapi rehabilitasi konvensional terhadap status fungsional pasien pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin.
3. Mengetahui pengaruh pemberian terapi rehabilitasi konvensional terhadap fungsi motorik halus pasien pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin.
4. Mengetahui pengaruh penambahan *virtual reality exergame* pada terapi rehabilitasi konvensional terhadap fungsi motorik halus pasien pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin.
5. Menganalisis perbedaan pengaruh antara terapi rehabilitasi konvensional saja dan terapi rehabilitasi dengan penambahan *virtual reality exergame* terhadap status fungsional tangan pasien pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin.
6. Menganalisis perbedaan pengaruh antara terapi rehabilitasi konvensional saja dan terapi rehabilitasi dengan penambahan *virtual reality exergame* terhadap fungsi motorik halus pasiennn pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin.



1.4. MANFAAT PENELITIAN

1.4.1. MANFAAT TEORITIS

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan terkait pengaruh pemberian *virtual reality exergame* pada status fungsional tangan dan fungsi motorik halus tangan pasien pasca *stroke*.

1.4.2. MANFAAT METODOLOGIK

Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam mengetahui pengaruh pemberian *virtual reality exergame* pada status fungsional tangan dan fungsi motorik halus tangan pasien pasca *stroke* di RSPTN. Universitas Hasanuddin Makassar melalui penelitian eksperimental yang menggunakan desain penelitian *randomized controlled trial* (RCT).

1.4.3. MANFAAT APLIKATIF

Penelitian ini diharapkan bermanfaat dan dapat digunakan sebagai metode rehabilitasi untuk meningkatkan fungsional tangan dan motorik halus tangan pada populasi pasien pasca *stroke*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi *Stroke*

Kata “*stroke*” pertama kali diperkenalkan dalam dunia kedokteran oleh William Cole pada tahun 1689 dalam “*A Physico- Medical Essay Concerning the Late Frequencies of Apoplexies*”. Sebelum Cole, istilah yang umum digunakan untuk menjelaskan cedera otak non traumatik akut adalah “*apoplexy*”, dan selanjutnya telah digunakan oleh Hippocrates sejak 400 tahun sebelum masehi. Selama lebih dari 2000 tahun, klinisi mengalami kesulitan mendefinisikan istilah “*stroke*” (Ralp, 2023).

Definisi *stroke* menurut WHO yang umum digunakan sejak 1970 hingga saat ini adalah munculnya gejala klinis yang disebabkan oleh gangguan fungsi otak, bersifat fokal maupun global yang menetap lebih dari 24 jam dan dapat menyebabkan kematian tanpa adanya penyebab lain selain masalah vaskular (Ralp, 2023).

American Heart Association / The American Stroke Association (AHA/ASA) memberikan definisi yang komprehensif mengenai *stroke*, dimana dijelaskan bahwa *stroke* merupakan episode akut dari disfungsi neurologis fokal yang menetap selama lebih dari 24 jam (Prasanna, 2023).

2.2. Fungsi Tangan

Tangan manusia melakukan banyak fungsi. Fungsi utama tangan adalah menggenggam atau memegang. Yang berarti, tangan dirancang untuk memegang atau memanipulasi objek. Fungsi lain dari tangan yang tidak dapat sepenuhnya dipahami diantaranya adalah mengekspresikan



emosi, dan menggunakan telapak tangan terbuka seperti menekan sandaran tangan untuk membantu berdiri. (Lippert, 2011).

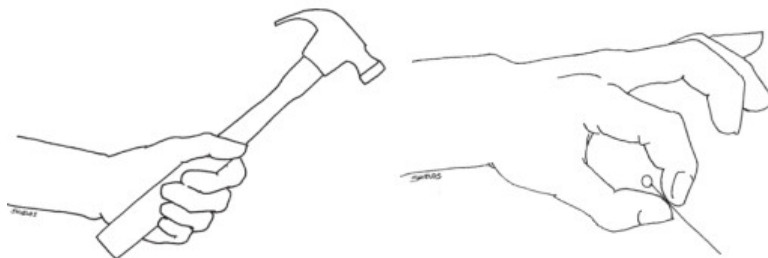
Saat menggenggam atau memegang suatu objek; cara tangan digunakan tergantung pada ukuran, bentuk, dan berat objek, bagaimana objek itu akan digunakan, dan keterlibatan segmen proksimal ekstremitas atas. Secara umum, sendi bahu memposisikan letak tangan sedangkan siku memungkinkan tangan bergerak lebih dekat atau lebih jauh dari tubuh, terutama wajah. Pergelangan tangan memberikan stabilitas saat tangan memanipulasi objek. Meskipun banyak perhatian cenderung terfokus pada aspek menggenggam fungsi tangan, gerakan melepaskan pun sama pentingnya. Tanpa kemampuan untuk melepaskan, fungsi genggam tangan sangat berkurang. Terdapat posisi pergelangan tangan dan tangan yang optimal sehingga tangan menjadi sangat efektif dalam hal kekuatan dan presisi. Posisi ini disebut posisi fungsional tangan. Pada posisi ini, pergelangan tangan berada dalam posisi sedikit ekstensi, sendi MCP dan PIP jari sedikit tertekuk, dan ibu jari berada dalam posisi berlawanan (Lippert, 2011).



Gambar 2. 1 Posisi Fungsional Pergelangan Tangan dan Tangan (Lippert, 2011)



Pada dasarnya ada dua jenis *prehension*, yaitu kekuatan genggam (power grip) dan presisi genggam (*presition grip*). Aktivitas menentukan jenis pegangan mana yang dibutuhkan. Sebuah *power grip* digunakan ketika sebuah benda harus dipegang dengan kuat saat digerakkan oleh otot sendi yang lebih proksimal (memegang palu atau kenop pintu). *Power grip* seringkali melibatkan kontraksi isometrik tanpa gerakan yang terjadi antara tangan dan benda yang dipegang. Pegangan presisi, sering disebut sebagai *prehension presisi*, digunakan saat objek harus dimanipulasi.



Gambar 2. 2 Power Grip dan Presition Grip (Lippert, 2011)

Genggam kekuatan biasanya membutuhkan jumlah gaya tertentu. Jari-jari akan melakukan gerakan fleksi mengelilingi obyek dalam arah yang sama dan ibu jari berada di arah berlawanan untuk menjaga kontak objek tetap pada pergelangan dan jari-jari. Setelah benda terpasang dengan kuat di tangan, benda tersebut dapat digerakkan oleh otot sendi yang lebih proksimal. Fleksor jari panjang (ekstrinsik) mencengkeram objek, dan ekstensor jari panjang (juga ekstrinsik) membantu menahan pergelangan tangan dalam posisi netral atau sedikit melebar. Ibu jari yang terlibat cenderung berada dalam posisi adduksi. Tiga pegangan kekuatan yang biasa dijelaskan adalah silinder, sferis, dan pengait (Lippert, 2011)



2.3. Gangguan Fungsi Tangan Pasca *Stroke*

Kompleksitas struktur dan fungsi tangan bersamaan dengan persarafan yang mendukung fungsi tangan berkontribusi pada kesulitan yang besar dalam merehabilitasi fungsi tangan pasca *stroke*. Kompleksitas biomekanik yang beragam membuat tangan secara luas direpresentasikan pada korteks motorik otak, yang menunjukkan bahwa kontrol halus pergerakan tangan sangat bergantung pada traktus kortikospinalis yang intak. Ketika traktus kortikofugal ipsilesional mengalami kerusakan parah akibat *stroke*, maka rekrutmen kortikal motorik kontralesi menjadi mekanisme kompensasi neural untuk pasien dengan *stroke* sedang-berat. Rekrutmen kortikal kontralesi dapat bergantung pada traktus kortikobulbospinal kontralesi, seperti traktus kortikoretikulospinal, untuk mengontrol ekstremitas atas yang terdampak. Namun, kompensasi traktus kortikoretikulospinal bercabang pada beberapa segmen medula spinalis, menginervasi otot proksimal lebih banyak daripada otot distal, dan cenderung pada otot fleksor, tetapi resolusi dan inervasi tidak sebanding pada otot ekstensor tangan dan jari. Hal ini berakibat pada *involuntary coupling* yang abnormal pada abduksi bahu dan fleksi pergelangan tangan/jari, yang disebut juga sebagai pola sinergi fleksi, dimana kelemahan otot pada ekstensor sendi distal akan melawan pergerakan tangan fungsional, khususnya *hand opening*. Secarang singkat, ekstensi pada sendi distal, seperti *hand opening*, akan lebih bergantung pada fungsi traktus kortikospinalis, yang utamanya diproyeksikan dari hemisfer lokasi lesi dan memiliki sistem saraf kompensasi yang kurang memadai untuk menyediakan *backup driving*. Dasar persarafan ini menjadi tantangan besar dalam membuat restorasi efektif untuk fungsi tangan pada pasien dengan *stroke* sedang-berat. Selain itu, penurunan fungsi tangan dapat terjadi lebih lanjut akibat dari *none-use-decay*. Meskipun menantang, temuan beberapa

menunjukkan bahwa penyembuhan fungsi tangan pada populasi ini memungkinkan untuk terjadi, seiring dengan perubahan perilaku



yang dipicu oleh intervensi serta adanya plastisitas neural (Wang et al., 2019).

Terdapat perbedaan rehabilitasi fungsi motorik pada tangan setelah *stroke* dari bagian tubuh lain, seperti ekstremitas bawah, trunkus, dan bagian proksimal dari ekstremitas atas, yang pulih lebih cepat dan secara menyeluruh. Hingga saat ini, belum terdapat panduan yang berfokus membahas mengenai metode intervensi yang efektif untuk meningkatkan fungsi motorik tangan pada individu dengan *stroke* sedang hingga berat (Wang et al., 2019).

Pendekatan rehabilitatif konvensional membantu mengembalikan fungsi motorik dan pergerakan tubuh, namun mayoritas penyintas *stroke* tetap memiliki disabilitas fungsional residual jangka panjang. Bukti pada rehabilitasi *stroke* menunjukkan bahwa neuroplastisitas dan kesembuhan motorik optimal bergantung pada beberapa unsur, seperti repetisi, intensitas latihan, *task-specificity*, umpan balik objektif, dan motivasi selama terapi (Malik et al., 2022).

Gangguan fungsi tangan pasca *stroke* dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Meskipun terdapat beberapa variasi individual, faktor-faktor berikut umumnya terkait dengan gangguan tangan setelah *stroke* (Einstad, 2021):

- Kerusakan otak
- Kelemahan otot dan spastisitas
- Gangguan sensoris
- Kontraktur dan perubahan jaringan lunak
- Malformasi biomedik
- Plastisitas sistem saraf pusat

Secara umum, hemiparesis berdampak lebih pada fungsi tangan dan pergelangan tangan dibandingkan bahu dan siku. Tangan memainkan peran penting dan utama di dalam fungsi ekstremitas atas, karena fungsinya di dalam kehidupan sehari-hari, seperti mencuci, memasak, mengancingkan baju, memegang garpu dan sendok, membuka pintu,



mengetik, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, hilangnya fungsi tangan dapat berdampak serius pada independensi dan kualitas hidup pasien (Wang et al., 2019).

2.4. Penilaian Fungsi Tangan Pasca *Stroke*

Pencapaian keterampilan lengan dan fungsi tangan merupakan proses yang kompleks dan seringkali menjadi sulit setelah mengalami *stroke* dan melibatkan interaksi beberapa fungsi dan struktur tubuh. Evaluasi ekstremitas atas yang terlibat harus mencakup beberapa hal, seperti pemeriksaan sensoris, mekanisme biomekanik maupun fisiologis yang menghalangi pergerakan (Radomski, 2014).

2.4.1 Kekuatan Genggaman Tangan

Dalam menilai kekuatan tangan, terdapat beberapa alat yang digunakan untuk menilai kekuatan genggaman. Dan yang sering digunakan adalah Jamar dinamometer. Kekuatan cengkeraman dinilai menggunakan dinamometer elektronik yang terdapat didalam alat. Dinamometer memiliki lima jarak yang dapat disesuaikan yaitu 1, 1 1/2 , 2, 2 1/2 , dan 3 inci. Pengukuran diambil dari semua jarak ini setelah pasien diinstruksikan untuk memegang dinamometer dengan kekuatan maksimal. Tiga pengukuran dilakukan, dan nilai rata-rata dari ketiga percobaan ini dicatat. Kekuatan cengkeraman yang biasa membuat kurva berbentuk lonceng, dengan jarak tengah yang lebih kuat dan lebih lemah di setiap ujungnya. Kedua tangan kanan dan kiri dievaluasi. Biasanya ada perbedaan 5-10% antara tangan yang dominan dan yang tidak dominan, biasanya tangan yang dominan lebih kuat (Duruoz, 2014).





Gambar 2. 3 Digital Hand Dynamometer (Meng-Ta LEE, 2023)

2.4.2 Skala Fugl Meyer

Fugl-Meyer Assesment (FMA) adalah indeks yang digunakan untuk menentukan tingkat keparahan, menggambarkan pemulihan motorik dapat digunakan untuk merencanakan dan dapat menilai efektivitas terapi yang telah diberikan. Metode ini telah digunakan secara luas untuk penilaian klinis kemampuan fungsional motorik. Skor yang diperoleh telah terbukti memiliki konsistensi, responsivitas dan akurasi yang sangat baik. FMA dapat digunakan pada pasien pasca *stroke* akut maupun kronik, dapat juga diterapkan pada pasien dengan derajat berat maupun afasia walaupun membutuhkan waktu yang lebih lama saat pemeriksaan (Duruoz, 2014).

Hasil studi menunjukkan penilaian menggunakan FMA menunjukkan reliabilitas relatif tinggi, dan reliabilitas absolut memuaskan untuk reliabilitas antar penilai dan tes ulang. Korelasi antara fungsi motorik FMA dan *Jebsen-Taylor hand function*, *grip power*, *motor assessment scale* (MAS), and the *Berg Balance Scale* (BBS) adalah sedang hingga baik, dan sangat signifikan ($p < 0,05$). Hasil menunjukkan bahwa FMA adalah penilaian yang *reasonable* dari fungsi ekstremitas atas dan bawah pasien dengan stroke

12).



C. HAND support may be provided at the elbow to keep 90° flexion, no support at the wrist, compare with unaffected hand, the objects are interposed, active grasp		none	partial	full
Mass flexion from full active or passive extension		0	1	2
Mass extension from full active or passive flexion		0	1	2
GRASP				
a. Hook grasp flexion in PIP and DIP (digits II-V), extension in MCP II-V	cannot be performed can hold position but weak maintains position against resistance	0	1	2
b. Thumb adduction 1-st CMC, MCP, IP at 0°, scrap of paper between thumb and 2-nd MCP joint	cannot be performed can hold paper but not against tug can hold paper against a tug	0	1	2
c. Pincer grasp, opposition pulpa of the thumb against the pulpa of 2-nd finger, pencil, tug upward	cannot be performed can hold pencil but not against tug can hold pencil against a tug	0	1	2
d. Cylinder grasp cylinder shaped object (small can) tug upward, opposition of thumb and fingers	cannot be performed can hold cylinder but not against tug can hold cylinder against a tug	0	1	2
e. Spherical grasp fingers in abduction/flexion, thumb opposed, tennis ball, tug away	cannot be performed can hold ball but not against tug can hold ball against a tug	0	1	2
Total C (max 14)				

Gambar 2. 4 Skala Fugl-Meyer regio tangan (Duruoz, 2014)

2.4.3 Nine Hole Peg Test

Nine Hole Peg Test (NHPT) dikembangkan untuk mengukur ketangkasan jari, juga dikenal sebagai ketangkasan motorik halus. Pemeriksaan ini dapat digunakan dengan berbagai populasi, termasuk pasien dengan *stroke*. NHPT adalah tes yang relatif murah dan dapat dilakukan dengan cepat. NHPT harus digunakan bersamaan dengan tes kinerja ekstremitas atas lainnya, untuk memperkirakan fungsi ekstremitas atas dengan lebih akurat.

NHPT terdiri dari papan persegi dengan 9 pasak. Di salah satu ujung papan ada lubang untuk pasak, dan di ujung lainnya ada piring bundar dangkal untuk menyimpan pasak. NHPT dikelola dengan meminta pasien mengambil pasak dari wadah, satu per satu, dan menempatkannya ke dalam lubang di papan, secepat mungkin. Klien kemudian harus melepas pasak dari lubang, satu per satu, dan memasangnya kembali ke dalam wadah. Untuk berlatih dan menilai skor awal, tes harus dimulai dengan anggota gerak atas yang tidak sakit. Papan harus ditempatkan di garis tengah tubuh pasien, dengan wadah memegang pasak berorientasi pada tangan yang diuji. Hanya tangan yang sedang dievaluasi yang harus an tes. Tangan yang tidak dievaluasi diizinkan memegang tepi ntuk memberikan stabilitas.



Pasien diberi skor berdasarkan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan aktivitas tes, dicatat dalam hitungan detik. *Stopwatch* harus dimulai dari saat peserta menyentuh pasak pertama hingga pasak terakhir menyentuh wadah. Mathiowetz dkk. melaporkan bahwa rata-rata pria dewasa sehat menyelesaikan NHPT dalam 19,0 detik (SD 3,2) dengan tangan kanan, dan dalam 20,6 detik (SD 3,9) dengan tangan kiri. Untuk wanita dewasa yang sehat, NHPT diselesaikan masing-masing dalam 17,9 detik (SD 2,8) dan 19,6 detik (SD 3,4) dengan tangan kanan dan kiri (Mathiowetz, 1985).

Tiga studi telah menguji reliabilitas intra-penilai dari NHPT. Keduanya melaporkan reliabilitas intra-rater yang sangat baik dan satu melaporkan reliabilitas intra-rater yang memadai menggunakan koefisien korelasi. Satu studi menggunakan Spearman rho dan dua lainnya, korelasi Pearson (Figueiredo, 2011).

Dua studi telah meneliti validitas bersamaan dari NHPT. Studi pertama meneliti sensitivitas NHPT membandingkannya dengan *Frenchay Arm Test* sebagai standar emas dan melaporkan bahwa NHPT memiliki sensitivitas rendah, dengan 27% hasil kesalahan klasifikasi. Studi kedua memeriksa validitas bersamaan dari NHPT dan melaporkan korelasi yang memadai hingga sangat baik dengan *Box and Block Test* (BBT) dan *Action Research Arm Test* (ARAT) pada pra dan paska perawatan (Figueiredo, 2011).

NHPT tidak boleh digunakan pasien dengan gangguan ekstremitas atas yang parah dan mereka yang tidak mampu mengangkat pasak (Radomski, 2014).





Gambar 2. 5 Gambar Nine hole peg test (Duruoz, 2014)

2.5. Virtual Reality Exergaming Rehabilitation

Virtual reality (VR) adalah penggunaan simulasi interaktif yang dibuat melalui komputer dengan tujuan memberikan pengalaman yang berguna kepada individu, dengan cara menciptakan lingkungan tiga dimensi yang lebih menarik dan interaktif yang menyerupai objek/kejadian di dunia nyata (El-Kafy, 2021) . VR memberikan pengalaman teknologi yang memungkinkan pengguna terlibat sepenuhnya dalam dunia virtual, dimana pengguna dapat berinteraksi melalui perangkat yang dapat dikenakan seperti *headset* atau bahkan hanya dengan menggunakan tangan. Fitur utama dari semua aplikasi VR adalah interaksi. Ini berarti pengguna tidak hanya berada dalam lingkungan virtual (*virtual environment*), tetapi juga dapat berinteraksi dengan objek-objek virtual di dalam lingkungan tersebut. Dalam beberapa sistem VR, interaksi dapat dilakukan dengan menggunakan penunjuk yang dioperasikan oleh *mouse* atau tombol



Pada sistem lain, tangan pengguna atau bagian tubuh lainnya presentasikan dalam lingkungan virtual, sehingga gerakan tangan dapat dihasilkan. Dengan menggunakan VR, pengguna dapat

merasakan sensasi seolah-olah berada di tempat lain, melakukan aktivitas yang tidak mungkin dilakukan dalam dunia nyata, atau berlatih keterampilan tertentu dengan cara yang aman dan efektif. Teknologi VR terus berkembang dan memiliki potensi besar dalam bidang kesehatan, terkhusus pada terapi rehabilitasi (Torner, 2019).

Exergame atau *exercise game* sendiri adalah video game yang mengharuskan pemain untuk berinteraksi dengan skenario permainan melalui gerakan tubuh yang bertujuan, menawarkan kesenangan sambil menstimulasi fungsi sensorik, kognitif, psikologis, dan motorik mereka. (Fang, 2021). *Exergame* ini merupakan salah satu bagian dari *virtual reality*. Terapi *virtual reality exergaming rehabilitation* dipertimbangkan sebagai sebuah opsi terapi yang berguna untuk meningkatkan keseimbangan, *gait*, dan luaran fungsional dengan *engagement* aktif melalui permainan video. *Exergaming* memiliki potensi untuk menggunakan gerakan seluruh tubuh, variasi kecepatan, berbagai arah, gerakan repetitif dan meningkatkan keseimbangan pasca stroke (Arshad, 2020).

Teknologi VR mampu menyediakan *framework* yang baik untuk mengikat pasien di dalam aktivitas yang memiliki tujuan tanpa bantuan terapis, sehingga hal ini diharapkan dapat memotivasi pasien di dalam meraih tujuan yang diinginkan. Teknologi VR memiliki kontribusi signifikan dalam mencapai fungsi fisik dan memperkuat tingkat motivasi pasien stroke (Arshad, 2020). VR merupakan teknologi berbasis komputer yang membentuk lingkungan virtual, interaktif, *motivational*, dan multi-sensoris, dimana pasien dapat berinteraksi dengan aktivitas yang dikembangkan oleh komputer. Aplikasi VR dan *games* dapat menyediakan kegiatan latihan yang repetitif, intensif, dan *task-specific*, serta penting dalam neuroplastisitas. Terdapat teknologi *non-immersive*, *semi-immersive*, dan *immersive* yang digunakan di dalam VR, dimana pemilihan teknologi ini

tergantung pada tingkat isolasi dari pengguna dari lingkungan sekitar latihan. Berbagai permainan video *non-immersive* telah diciptakan



untuk dimainkan di rumah, sehingga pilihan permainan ini dapat dilakukan secara luas, aman, dan murah oleh klinisi dan pasien *stroke*.

Sebuah studi menunjukkan bahwa setelah 4 minggu terapi, didapatkan perbedaan yang signifikan pada skor asesmen Fugl-Meyer *lower extremity* (LE) di antara grup *task-oriented training* (TOT) dan grup VRT, dimana grup VRT menunjukkan perbaikan yang lebih besar dibandingkan grup TOT, yang juga menunjukkan perbaikan signifikan. Sebuah uji klinis pada 5 pasien *stroke* juga menyatakan bahwa skor asesmen Fugl-Meyer LE memiliki perbaikan yang signifikan pada kelompok teknologi VR. Mekanisme yang mendasari hal ini kemungkinan adalah adanya reorganisasi kortikal dan aliran sinaps di dalam otak yang terlibat setelah latihan. Program latihan berlangsung selama 4 minggu, untuk 4-5 hari tiap minggu, dan 60 menit tiap sesi, dilakukan pada studi tersebut. Teknologi VR direkomendasikan karena dapat memproduksi plastisitas neural. Perbaikan signifikan juga teramati pada kedua grup setelah latihan dilakukan selama 6-8 minggu, tetapi kelompok VR menunjukkan luaran yang lebih baik, apabila dibandingkan dengan kelompok TOT (Arshad, 2020).

Gamification pada rehabilitasi *stroke* secara signifikan dapat memotivasi pasien agar terus mengikuti program latihan yang diberikan. Hal ini dianggap dapat memperbaiki kontrol motorik sehingga dapat memperbaiki fungsional dengan penggunaan yang sesuai. Pasien dapat menggunakan tangan atau gerakan tubuhnya untuk memainkan permainan, yang kemudian menyediakan praktik berulang pada ekstremitas yang mengalami paresis dengan umpan balik yang konsisten. Permainan juga berperan sebagai sumber *enjoyment* pasien, yang mampu meningkatkan motivasi, durasi, dan intensitas latihan. Berbagai permainan telah dicobakan pada pasien *stroke* termasuk permainan 2D, 3D, *Nintendo* *Wii*, *PlayStation*, *Wii Balance*, *Xbox*, *Kinect*, dan *Armeo-Senso* dan memberikan luaran positif (Alankus et al., 2010; Malik et al., 2022).





Gambar 2. 6 *Virtual reality* untuk ketangkasan tangan (Friedman, 2014)

2.6 Jenis *Virtual Reality Exergame*

Dalam perkembangan kemajuan teknologi *virtual reality* terdapat beberapa jenis *virtual reality* yang dibagi berdasarkan tingkat kedalaman emosi dan aplikasi pengalaman pengguna (Radomski, 2014).

Non-immersive simulation

Jenis VR ini merupakan jenis teknologi paling sederhana. Teknologi ini menggunakan indera paling sedikit dalam proses simulasinya, dengan memungkinkan kondisi di sekelilingnya terhadap realitas di luar realitas virtual. Pengguna masuk ke dalam lingkungan tiga dimensi menggunakan monitor dengan resolusi tinggi melalui *workstation* konvensional.

Semi-immersive simulation

Simulasi *semi-immersive* memberikan pengalaman *virtual* lebih mendalam, dimana pengguna sebagian hadir tetapi tidak sepenuhnya ada dalam lingkungan virtual. Simulasi *semi-immersive* mendekati kenyataan dan memanfaatkan teknologi.

Full-immersive simulation



Simulasi yang mengimplementasikan teknologi VR maksimal. Teknologi ini menggunakan perangkat keras seperti tampilan yang dipasang

di kepala pengguna dan menggunakan perangkat pendeteksi gerakan yang digunakan untuk menstimulasi semua indera pengguna.

2.7. Efek Seluler *Virtual Reality*

2.7.1 Neuroplastisitas

Neuroplastisitas adalah kemampuan struktur otak dan fungsinya yang terkait untuk tetap berkembang karena adanya stimulasi. Stimulasi sensori yang diterima otak memodifikasi struktur dan fungsi bagian otak tertentu yang bersifat stabil, dimana terjadi modifikasi dari jaringan dendrit sel neuron maupun akson, sehingga muncul hubungan antar sel neuron yang lebih banyak. Hal ini terjadi dalam berbagai tingkatan, yang berarti jenis dan tingkatan perubahan yang terjadi dapat bervariasi. Perubahan akibat neuroplastisitas ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu perubahan jangka pendek (*short-term change*) dan perubahan jangka panjang (*longe-term change*). Perubahan jangka pendek (dalam hitungan detik hingga jam) terjadi akibat adanya peningkatan eksitabilitas sementara pada neuron yang dapat dilihat menggunakan stimulasi magnetik transkraniol berdenyut tunggal (TMS), dimana terjadi perubahan tegangan di area korteks otak, namun efek ini hanya bersifat sementara. Sedangkan perubahan jangka panjang terjadi apabila terdapat perubahan struktur akibat proses belajar dan latihan sebuah kemampuan tertentu dalam waktu lama. Dalam penelitiannya pada 50 tahun yang lalu Hebb menyatakan bahwa peningkatan efisiensi sinaptik terjadi pada proses belajar, dimana firing berulang pada satu sel saraf akan menyebabkan firing berulang pada sel saraf yang berhubungan. Plastisitas dapat terjadi melalui beberapa proses yaitu perubahan reseptor, *collateral sprouting*, *unmasking of pre-existing pathway*, dan beberapa proses lainnya (Levin, 2014).



strosit atau astroglia memiliki peran yang sangat aktif dalam an otak, bukan hanya pada aspek metabolisme dan sebagai a faktor-faktor pertumbuhan, melainkan lebih utamanya dalam

pengaturan sinyal saraf dan penyesuaian sinapsis. Perubahan dalam aktivitas elektrofisiologi otak terjadi dalam berbagai tahapan waktu, dimulai dari beberapa menit atau jam setelah kejadian, hingga berlanjut selama beberapa minggu hingga bulan. Perubahan ini kemungkinan terkait dengan aktivasi berbagai gen pada tahap setelah terjadi iskemik pada *stroke*.

Telah diketahui sejak lama bahwa peningkatan *input* sensoris dari berbagai modalitas dapat meningkatkan adaptabilitas otak. Proses sensoris mencakup pengolahan informasi dari penglihatan, pendengaran, proprioseptif, perabaan, dan tekanan yang dapat menghasilkan umpan balik (*feedback*) terkait gerakan. Dari sisi anatomi dan fisiologi, *biofeedback* memanfaatkan informasi sensoris eksteroseptif termasuk informasi visual dan auditori, serta data yang berasal dari reseptor kulit dan proprioseptif. Seluruh informasi ini diteruskan ke area korteks somatosensori dan hipokampus untuk diproses, dimana informasi tersebut disimpan dalam pola atau *engram* tertentu sebagai memori sensoris. Ketika korteks sensoris telah “mempelajari” pola yang sesuai, maka *engram* memori tersebut digunakan untuk memulai suatu gerakan motorik melalui komponen eferen. Apabila terjadi gangguan pada sistem saraf seperti iskemik pada *stroke*, sistem motorik akan gagal mengikuti pola yang sudah ada. Untuk itu diperlukan sinyal sensoris yang memberikan umpan balik ke korteks untuk memperbaiki kegagalan tersebut (Ward, 2005).

2.7.2 Mekanisme Molekuler Neuroplastisitas

Neuroplastisitas dapat diobservasi melalui skala yang berbeda; dimana adaptasi tingkah laku, proses belajar dan memori merupakan tingkatan teratas dari proses neuroplastisitas. Dasar dari proses ini berbentuk molekul dan interaksinya, yang mendasari tingkat sirkuit dan jaringan subseluler/sinaptik, seluler, dan saraf. Beberapa dekade ini telah dibuktikan bahwa plastisitas muncul dari serangkaian molekul. Plastisitas jangka panjang muncul sebagai hasil dari



perubahan ekspresi gen yang dipicu oleh modulasi kaskade sinyal melalui beberapa sinyal molekul pada saat aktivitas saraf (Gulyaeva, 2016).

Sejumlah fungsi saraf, termasuk plastisitas sinaptik bergantung pada regulasi protein sinaptik yang tepat, dimana banyak diantaranya dapat dikontrol dengan cepat melalui fosforilasi/defosforilasi. Beberapa molekul yang memiliki peran penting dalam proses plastisitas adalah protein kinase, protein fosfatase, dan protease karena kemampuannya untuk mengkatalisis konversi substrat protein yang berbeda. Sifat substrat pada enzim-enzim tersebut menentukan arah transduksi sinyal atau perubahan metabolik yang disebabkan oleh enzim pleiotropik. Target utama dari jalur pensinyalan molekuler yang berbeda adalah koneksi penghambatan neuron GABAergik. Mekanisme plastisitas sinaptik jangka panjang pada sinaptik GABAergik, termasuk yang dimediasi oleh protein kinase yang berbeda sedang dalam tinjauan klinis (Gulyaeva, 2016).

Sekelompok protein yang disebut neurotropicn dianggap sebagai mediator molekuler yang kuat dari plastisitas sinaptik. Neurotropicn adalah protein yang diyakini memainkan. Peran penting dalam sinapsis, dan telah dipelajari secara ekstensif selama 40 tahun terakhir. Di antara semua neurotropicn, *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF) menonjol karena fungsi utamanya pada otak dewasa sebagai pengatur plastisitas sinaptik, efek struktural dan fungsionalnya berkisar dari jangka pendek hingga jangka panjang, pada sinapsis rangsang atau penghambatan, di banyak wilayah otak (Gulyaeva, 2016).

Mitokondria, dengan menghasilkan energi, memainkan peran penting dalam mengendalikan neuroplastisitas, termasuk diferensiasi saraf, pertumbuhan neurit, pelepasan neurotransmitter, dan remodeling dendrit. Mitokondria memancarkan sinyal molekuler yang bertindak secara local atau melakukan perjalanan ke target yang jauh termasuk ke nukleus (Gulyaeva, 2016).



2.7.3 Hubungan Neuroplastisitas dengan *Virtual Reality*

Pada umumnya, setelah mengalami kerusakan pada otak, kemampuan seseorang untuk berinteraksi dengan lingkungan fisik menjadi terbatas. Namun, teknologi baru seperti VR memiliki potensi untuk membantu mengurangi keterbatasan fisik tersebut dengan menyediakan alternatif lingkungan yang bermanfaat untuk melatih keterampilan motorik. *Virtual reality* dijelaskan sebagai cara antarmuka pengguna-komputer yang melibatkan simulasi waktu nyata dari lingkungan, skenario, atau aktivitas yang memungkinkan pengguna berinteraksi melalui berbagai indera. Pendekatan pelatihan menggunakan VR memanfaatkan kemajuan teknologi terbaru, termasuk desain robot yang lebih baik, pengembangan antarmuka haptik, dan interaksi manusia-mesin dalam dunia virtual. Keunggulan utama penerapan teknologi VR adalah memungkinkan pasien berinteraksi dengan lingkungan dalam cara yang natural. Lingkungan yang dapat diatur ini memungkinkan perilaku interaktif yang dapat dipantau dan direkam, yang merupakan keuntungan utama penggunaan VR. Dengan demikian, VR dapat memberikan stimulasi yang bermakna dan relevan ke sistem saraf individu, dan dengan menggunakan plastisitas otak, teknologi ini dapat digunakan untuk mendorong pembelajaran dan rehabilitasi motorik (Levin, 2014).

Informasi visual yang terdapat dalam *virtual reality* memberikan signal yang baik untuk reorganisasi sirkuit sensorimotor di otak. Latihan aktif dengan pemberian umpan balik (*feedback*) pada pasien bermanfaat dalam menurunkan kesalahan pembentukan gerakan pada area motorik dan premotor. Selain itu, pengamatan berulang dan bertujuan dari suatu gerakan dapat mempengaruhi interaksi kortiko-kortikal (baik memfasilitasi dan inhibisi intrakortikal) pada area motor dan premotor. Demikian pula, data unit tunggal menunjukkan bahwa sejumlah besar neuron di area premotor, dan parietal dimodulasi oleh informasi visual sehingga dapat melakukan modifikasi gerakan langsung melalui informasi visual (Levin,



2.8 Faktor yang Mempengaruhi Respon terhadap Rehabilitasi

Pengaruh perbedaan jenis kelamin dalam hal respons terhadap latihan rehabilitasi pada subjek dengan *stroke* subakut masih belum diketahui karena ukuran sampel yang kecil, perbedaan profil hormon, usia, dan mortalitas di antara laki-laki dan perempuan dengan *stroke*. Efektivitas latihan fisik di dalam menurunkan risiko *stroke* pertama dan rekuren lebih tinggi ditemukan pada laki-laki dibandingkan perempuan, serta laki-laki lebih responsif terhadap latihan yang diberikan, yang ditunjukkan melalui perbaikan fungsi klinis yang lebih tinggi setelah serangan *stroke* daripada perempuan (Tollár et al., 2021).

Sebuah studi oleh Tollar dkk. membandingkan efek intensitas tinggi dan frekuensi *agility exergaming* dan program pelayanan standar dengan intensitas yang lebih rendah, terhadap gejala klinis, mobilitas, tekanan darah, dan kualitas hidup pasien dengan *stroke*. Latihan *high-intensity exergaming* dua kali sehari dibandingkan satu kali sehari atau *lower intensity standard care* 1 kali sehari memberikan dampak pada gejala klinis, motorik, tekanan darah, dan kualitas hidup pada laki-laki dan perempuan dengan *stroke* iskemik subakut. Hasil studi tersebut menyimpulkan bahwa *high-intensity exergaming* 2 kali sehari lebih superior dampaknya dibandingkan dengan *high-intensity exergaming* 1 kali sehari atau pelayanan standar dengan *lower intensity* pada gejala klinis, motorik, tekanan darah, dan kualitas hidup pasien *stroke* subakut (Tollar et al., 2021).

Bukti yang didapatkan dari data meta-analisis uji klinis menunjukkan bahwa jumlah terapi motorik yang lebih tinggi berkaitan dengan luaran yang lebih baik pada manusia. Namun, RCT yang dilakukan pada pasien sub-akut dan kronis dengan dosis yang berbeda dan intervensi latihan yang sama. tidak menunjukkan adanya tambahan keuntungan dari 2-3 kali lipat ng biasanya diterima di pelayanan klinis rutin. Apakah sejumlah n motorik dalam jumlah besar di fase sub-akut awal akan iikkan peningkatan kesembuhan dan luaran pada pasien *stroke*



masih menjadi misteri (Stinear et al., 2020). Sebuah studi observasional prospektif individu dengan stroke pada fase kronis menemukan bahwa 90 jam terapi fisik dalam 5 hari tiap minggu selama 3 minggu mampu menurunkan gangguan motorik ekstremitas atas. Namun, studi ini masih memiliki kelemahan berupa tidak adanya grup kontrol dan asesmen yang dilakukan tidak secara *blinded* (Ward et al., 2019). Studi lain yang menggunakan metode randomisasi partisipan dengan fase kronis pada 3 kelompok intervensi terapi fisik, menunjukkan bahwa terapi yang dilakukan selama 300 jam dalam 5 hari per minggu selama 12 minggu mampu menurunkan gangguan pada ekstremitas atas (Stinear et al., 2020). Dampak dari perbedaan dosis tidak bermakna pada kedua studi yang melaporkan adanya perbaikan pada rata-rata asesmen Fugl-Meyer *upper extremity* yang berkisar di angka 9-10, meskipun terdapat 3 kali lipat perbedaan dalam dosis terapi (Stinear et al., 2020).

