WIRAGA: Exergame VR dengan Biofeedback EMG dan C/D Ratio untuk Rehabilitasi Anggota Gerak Atas

Program Inovasi Unggul Berdampak ITB 2026

Khoirul Muslim[1], Ari Widyanti[1], Agung Dewandaru[2], Elvina Arviningtyas[1], Annabel Febbyola[1]

[1] KK Ergonomi, Rekayasa Kerja, dan Keselamatan Kerja, Fakultas Teknologi Industri, ITB

[2] KK Rekayasa Perangkat Lunak dan Pengetahuan, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB

Abstract

Penyintas stroke membutuhkan latihan kekuatan anggota gerak atas yang repetitif dan progresif, tetapi latihan konvensional cenderung monoton dan akses rehabilitasi jangka panjang masih terbatas. Program ini mengembangkan **WIRAGA** (*Wearable Interactive Rehabilitation with Adaptive Gesture Assistance*), *exergame* berbasis *virtual reality* (VR) yang memadukan *biofeedback* elektromiografi (EMG) *real-time* dengan manipulasi *control/display* (C/D) *ratio* untuk membentuk persepsi beban tanpa alat resistansi mekanis.

Prototipe divalidasi secara teknis melalui *pilot study* faktorial *within-subject* 3 × 2 (target 10/15/20% MVC × C/D 1/2) pada partisipan sehat. Interaksi kedua faktor berpengaruh signifikan terhadap aktivitas otot fleksor (p_{GG} = 0,047; η^2_G = 0,611), sedangkan C/D *ratio* secara mandiri belum berpengaruh. Analisis *power* menetapkan 24–30 partisipan untuk eksperimen utama. Prototipe telah mencapai TKT 4 dan tercatat sebagai hak cipta.

Kata kunci: *exergame*, *virtual reality*, *biofeedback* EMG, C/D *ratio*, rehabilitasi stroke

Introduction

Stroke merupakan beban kesehatan yang besar, baik di dunia maupun di Indonesia. Gangguan anggota gerak atas paling membatasi kemandirian penyintas, dan pemulihannya memerlukan latihan kekuatan yang intensif, repetitif, dan progresif (Ada dkk., 2006; Veldema & Jansen, 2020).

VR dan *exergame* terbukti memperbaiki luaran motorik anggota gerak atas (Song & Lee, 2021; Huang dkk., 2024). Namun, terdapat tiga celah:

- aplikasi VR rehabilitasi masih berorientasi pada latihan berbasis tugas, belum latihan kekuatan;
- *controller* VR tidak menghadirkan beban fisik sehingga perlu mekanisme lain untuk membentuk persepsi beban;
- terapis memerlukan data objektif aktivasi otot untuk memantau intensitas latihan.

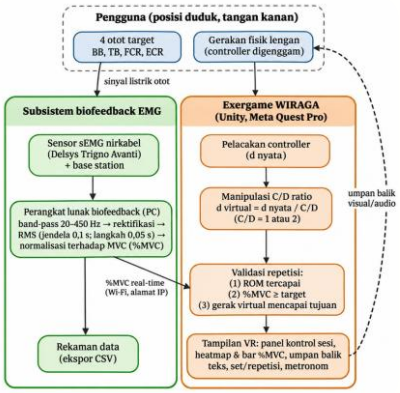
Tujuan. Mengembangkan dan memvalidasi secara teknis di laboratorium prototipe WIRAGA, lanjutan prototipe ReHaptic (2025), melalui empat sasaran: (a) integrasi *biofeedback* EMG *real-time* empat otot ke VR; (b) implementasi C/D *ratio* sebagai pembentuk persepsi beban; (c) protokol uji laboratorium terstandar; dan (d) *pilot study* sebagai validasi teknis dan dasar penetapan ukuran sampel.

8,3 per 1.000
prevalensi stroke di Indonesia (SKI 2023)

Ke-3
penyebab disabilitas terbesar di dunia (Teasell dkk., 2020)

Research Method

WIRAGA dibangun di Unity untuk Meta Quest Pro dan terhubung melalui Wi-Fi dengan perangkat lunak *biofeedback* yang membaca empat sensor sEMG Delsys Trigno Avanti (*biceps brachii*, *triceps brachii*, *flexor* dan *extensor carpi radialis*). Sinyal difilter *band-pass* 20–450 Hz, direktifikasi, dihitung RMS (jendela 0,1 s), lalu dinormalisasi terhadap MVC sehingga tampil sebagai %MVC *real-time*. Pada C/D = 2, gerak virtual hanya setengah gerak nyata sehingga beban dipersepsikan lebih berat (*pseudo-haptic*).



Gambar 1. Arsitektur sistem WIRAGA

Protokol uji laboratorium (persetujuan etik KEP/II/2025/X/M150825EA-EFHF):

- **Desain:** faktorial *within-subject* 3 × 2, yaitu target *biofeedback* 10/15/20% MVC × C/D *ratio* 1/2; enam perlakuan dalam satu sesi ±3 jam dengan urutan Williams.
- **Partisipan:** dewasa sehat 18–25 tahun, dominan tangan kanan, tidak terbiasa latihan kekuatan maupun VR.
- **Gerakan:** *biceps curl*, *triceps extension*, *wrist curl* fleksi dan ekstensi; posisi duduk, metronom 40 bpm.
- **Repetisi valid:** ROM tercapai, %MVC mencapai target, dan gerak virtual mencapai titik tujuan.
- **Luaran ukur:** sEMG empat otot (%MVC), EEG empat kanal (Muse 2), Borg CR-10, dan log repetisi.
- **Analisis:** RM-ANOVA dengan koreksi Greenhouse–Geisser, *mixed model*, η^2_G, koreksi Holm, dan G*Power 3.1.



Gambar 2. Antarmuka *exergame* WIRAGA di VR (kiri) dan pelaksanaan *pilot study* (kanan)

Discussion & Result

Keenam kombinasi perlakuan berhasil dijalankan dalam satu sesi. Data dianalisis dari empat partisipan (bisep, trisep) dan tiga partisipan (fleksor, ekstensor, EEG).

0,047
p_{GG} interaksi C/D × *biofeedback* pada fleksor

0,611
η^2_G, efek terbesar pada *pilot study*

24–30
partisipan untuk eksperimen utama

Tabel 1. Ringkasan RM-ANOVA: p_{GG} (η^2_G)

Variabel	n	C/D ratio	Biofeedback	Interaksi
Bisep	4	0,735 (0,003)	0,655 (0,026)	0,543 (0,106)
Trisep	4	0,843 (0,001)	0,557 (0,024)	0,625 (0,102)
Fleksor	3	0,993 (0,000)	0,182 (0,528)	**0,047* (0,611)**
Ekstensor	3	0,990 (0,000)	0,586 (0,102)	0,987 (0,001)
EEG β	3	0,877 (0,000)	0,107 (0,116)	0,310 (0,103)
EEG γ	3	0,952 (0,000)	0,179 (0,080)	0,153 (0,138)

** $p < 0,05$. n = jumlah partisipan. Delta, theta, alpha: tidak signifikan.*

- Satu-satunya efek signifikan adalah **interaksi C/D ratio × target biofeedback** pada fleksor ($F(2,4) = 10,39$; p_{GG} = 0,047; *mixed model* p = 0,004), tertinggi pada 20% MVC dengan C/D = 1. Tidak ada pasangan perlakuan yang berbeda setelah koreksi Holm.
- **C/D ratio secara mandiri** belum berpengaruh terhadap seluruh variabel.
- Efek *biofeedback* pada gelombang **beta dan gamma** signifikan hanya pada *mixed model* (p = 0,018; 0,036).
- **Ukuran sampel:** G*Power (f = 0,31; α = 0,05; *power* 0,80) memberi minimum 12 partisipan; eksperimen utama memakai 24–30 partisipan dengan komposisi jenis kelamin seimbang.

Conclusion

- Prototipe WIRAGA berfungsi *end-to-end* di laboratorium dan mencapai **TKT 4**; hak cipta program komputer tercatat (No. 001371989).
- Target *biofeedback* menghasilkan perbedaan respons otot yang terukur, terutama pada fleksor bila dikombinasikan dengan C/D *ratio*.
- Temuan masih awal (n kecil, partisipan sehat) dan belum menunjukkan efektivitas klinis pada pasien stroke.
- **Langkah lanjut:** penyempurnaan sistem *biofeedback* EMG, eksperimen utama dengan 24–30 partisipan, dan validasi biomekanika bersama University of Groningen menuju TKT 5.

Didanai Program Inovasi Unggul Berdampak ITB 2026; mitra: PT Syirkah Utama Nusantara.