



TESIS

**ANALISA PENGARUH INTERVENSI AKOMODASI-KONVERGENSI
TERHADAP PARAMETER *MENTAL FATIGUE* INTRA INDIVIDU PADA
AKTIVITAS *NEARWORK* DENGAN TES PAULI BERBASIS *VIRTUAL REALITY***

(VR)

Oleh:

RIYADI HARTONO

2320223001

**PROGRAM STUDI SAINS BIOMEDIS PRORGRAM MAGISTER
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA**

2026



**ANALISA PENGARUH INTERVENSI AKOMODASI-KONVERGENSI
TERHADAP PARAMETER *MENTAL FATIGUE* INTRA INDIVIDU PADA
AKTIVITAS *NEARWORK* DENGAN TES PAULI BERBASIS *VIRTUAL REALITY*
(VR)**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister
Pada Program Studi Sains Biomedis Program Magister**

Disusun dan diajukan oleh:

RIYADI HARTONO

2320223001

**PROGRAM STUDI SAINS BIOMEDIS PRORGRAM MAGISTER
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA
2026**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

**ANALISA PENGARUH INTERVENSI AKOMODASI-KONVERGENSI TERHADAP
PARAMETER *MENTAL FATIGUE* INTRA INDIVIDU PADA AKTIVITAS *NEARWORK*
DENGAN TES PAULI BERBASIS *VIRTUAL REALITY* (VR)**

Disusun dan diajukan oleh:

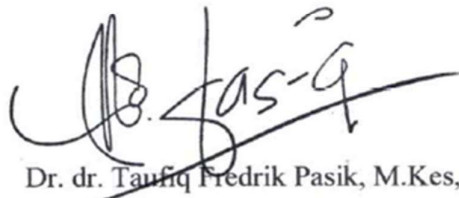
RIYADI HARTONO

2320223001

Disetujui untuk melakukan UJIAN TESIS

Pada Tanggal 30 Januari 2026

Menyetujui: Pembimbing 1



**Dr. dr. Taufiq Fredrik Pasik, M.Kes,
M.Pd.I, MH, CIPA**

NIP. 197001292000031001

Pembimbing 2



**Dr. dr. Maria Selvester Thadeus,
M.Biomed, Sp.KKLP., Subsp. FOMC**

NIP 196511272021212001

TESIS

ANALISA PENGARUH INTERVENSI AKOMODASI-KONVERGENSI TERHADAP
PARAMETER *MENTAL FATIGUE* INTRA INDIVIDU PADA AKTIVITAS *NEARWORK*
DENGAN TES PAULI BERBASIS *VIRTUAL REALITY* (VR)

Disusun dan diajukan oleh:

RIYADI HARTONO

2320223001

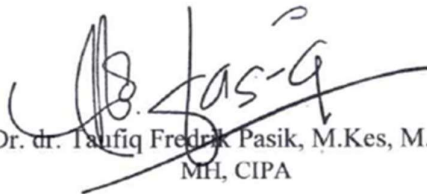
Telah diujikan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Magister Sains Biomedis Fakultas Kedokteran Universitas Pembangunan Nasional
"Veteran" Jakarta

Pada Tanggal 30 Januari 2026

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat Kelulusan

Menyetujui:

Pembimbing 1



Dr. dr. Fauziq Fredrik Pasik, M.Kes, M.Pd.I,
MH, CIPA

NIP. 197001292000031001

Pembimbing 2



Dr. dr. Maria Selvester Thadeus, M.Biomed,
Sp.KKLP., Subsp. FOMC

NIP 196511272021212001

Kepala Program Studi Sains
Biomedis Program Magister



Dr. dr. Maria Selvester Thadeus, M.Biomed,
Sp.KKLP., Subsp. FOMC

NIP 196511272021212001

Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr. Fauziq Fredrik Pasiak, M.Kes,
M.Pd.I, MH, CIPA

NIP 197001292000031001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Nama : Riyadi Hartono
NIM : 2320223001
Program Studi : Sains Biomedis Program Magister
Fakultas Kedokteran UPN “Veteran” Jakarta.

Menyatakan bahwa penulisan Usulan Penelitian Tesis yang berjudul: “Analisa Pengaruh Intervensi Akomodasi-Konvergensi Terhadap Parameter *Mental fatigue* Intra Individu Pada Aktivitas *Nearwork* Dengan Tes Pauli Berbasis VR”, adalah benar-benar karya saya sendiri. Adapun yang bukan merupakan karya saya dalam penulisan Usulan Penelitian Tesis ini diberi tanda sitasi dan ditampilkan dalam daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021 tentang Integritas Akademik dalam Menghasilkan Karya Ilmiah dan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 26 Januari 2026

Yang Membuat Pernyataan,



Riyadi Hartono

NIM. 2320223001

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah Subhana wa Ta'ala, dan atas berkah, Rahmat dan karunia-Nyasehingga dapat terselesaikannya tulisan tesis ini yang berjudul "*Analisa Pengaruh Intervensi Akomodasi-Konvergensi Terhadap Parameter Mental fatigue Intra Individu pada Aktivitas Nearwork Dengan Tes Pauli Berbasis VR*". Penyusunan tesis ini sebagai syarat kelulusan Program Studi Sains Biomedis Program Magister Fakultas Kedokteran UPN "Veteran" Jakarta. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada"

1. Dr. dr. Taufiq Fredrik Pasik, M. Kes, M.Pd.I selaku Dekan Fakultas Kedokteran UPN "Veteran" Jakarta sekaligus sebagai pembimbing tesis pertama yang selalu membimbing dan memberikan dukungan kepada kami dalam penyusunan tesis ini.
2. Dr. dr. Maria Selvester Thadeus, M. Biomed, Sp. KKLK., Subsp. FOMCselaku Kepala Program Studi Sains Biomedis Program Magister Fakultas Kedokteran UPN "Veteran" Jakarta sekaligus pembimbing tesis kedua yang telah memberikan bimbingan, wawasan dan kemudahan dalam pengusunan tesis ini
3. Prof. Dr. dr. Basuki Supartono, SpOT, MARS, FICS yang membimbing pada tahap awal penyusunan tesis sehingga dapat terselesaikan tulisan tesis ini.
4. Dr.dr. Suzy Yusna Dewi, SpKJ (K), MARS, yang telah memberikan dukungan dan bimbingan dalam pemanfaatan peralatan EEG dan penggunaan Laboratorium MERCe UPN "Veteran" Jakarta sehingga dapat terlaksananya penelitian tesis ini, dan juga sekaligus Dosen Penguji.
5. Dr. dr. Muttia Amalia, M.Biomed, yang telah memberikan ide-ide dan bimbingan dalam penulisan tesis ini hingga tersusun tulisan yang komprehensif dan juga sekaligus Dosen Penguji.
6. Bapak Hadiwahjono bin Djojsubronto, dr. Erna Harfiani, M.S.i., Sp. KKLK, dr. Nabila Nur Izzati, S. Ked, Syifa Afifah Mumtaz, S. Ked., Haidar Muhammad Fathih, dan Hannah Safira Alya selaku ayah, istri dan anak-anak yang saya cintai, yang selalu memberikan dukungan, inspirasi, dan bantuannya sehingga mendapatkan kemudahan dalam penulisan tesis.

7. Mbak Djakiyah Kalsum A, S.Psi., dan Mbak Rizki Fauziah yang telah banyak memberikan bantuannya selama perkuliahan dan dalam melakukan penelitian tesis.
8. Dosen Penguji, Para Dosen dan Pengajar Program Studi Sains Biomedis Program Magister Fakultas Kedokteran UPN “Veteran” Jakarta yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu dan tidak mengurangi rasa hormat kami, yang selama ini telah memberikan ilmu dan wawasan yang luar biasa dalam studi perkuliahan ini.
9. Temen-temen satu Angkatan pertama Program Studi Sains Biomedis Program Magister Fakultas Kedokteran UPN “Veteran” Jakarta yang bersama-sama dengan kompak telah dapat menempuh perkuliahan ini hingga akhirnya menuju ke akhir yang sukses.
10. Mas Mikhael Valentino, dan Mas Nafis Ihkwana serta semua adik-adik mahasiswa Fakultas Kedokteran yang telah membantu kami sebagai asisten penelitian dan sebagai responden sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Depok, 30 Januari 2026



Riyadi Hartono

**ANALISA PENGARUH INTERVENSI AKOMODASI-KONVERGENSI
TERHADAP PARAMETER *MENTAL FATIGUE* INTRA INDIVIDU PADA
AKTIVITAS *NEARWORK* DENGAN TES PAULI BERBASIS *VIRTUAL REALITY*
(VR)**

Riyadi Hartono¹, Taufiq Fredrik Pasik², Maria Selvester Thadeus³

ABSTRAK

Latar Belakang: Aktivitas *nearwork* berbasis layar 2D dalam masa yang panjang dapat memicu kelelahan visual dan mental fatigue yang berdampak pada penurunan performa kognitif. Aktivitas akomodasi–konvergensi mata menjadi mekanisme yang berpengaruh pada kondisi ini. Teknologi *virtual reality* (VR) berpotensi dapat dipergunakan untuk mengintervensi dengan mengeliminasi kebutuhan akomodasi–konvergensi.

Tujuan: Menganalisis pengaruh intervensi eliminasi akomodasi–konvergensi mata dengan perangkat VR terhadap parameter mental fatigue pada intra-individu dalam aktivitas *nearwork*.

Metode: Penelitian dengan desain crossover intra-individu melibatkan 20 subjek laki-laki sehat usia 18–25 tahun. Setiap subjek menjalani dua Perlakuan: (1) Tes Pauli berbasis layar 2D, dan (2) Tes Pauli berbasis 3D VR. Parameter mental fatigue dinilai menggunakan multi-biomarker objektif, meliputi performa Tes Pauli, diameter pupil, latensi dan amplitudo P300 ERP, serta gelombang EEG (theta frontal, alpha parietal dan oksipital). Analisis statistik menggunakan Linear Mixed-Effects Model (LMEM).

Hasil: Faktor durasi dan waktu berpengaruh signifikan terhadap menurunnya diameter pupil ($p < 0,001$) dan perlambatan latensi P300 ($p = 0,034$), menunjukkan perkembangan mental fatigue seiring durasi *nearwork*. Tidak ditemukan perbedaan signifikan antara kondisi 2D dan 3D VR pada parameter gelombang alpha dan theta dan amplitudo P300. Tetapi menunjukkan kenaikan performa kognitif yang ditunjukkan dengan hasil Tes Pauli dengan perbedaan bermakna, antara kondisi VR yang dapat mempertahankan dan perbaikan performa kognitif secara signifikan dibandingkan kondisi layar 2D ($p = 0,017$).

Kesimpulan: Intervensi eliminasi akomodasi–konvergensi berbasis 3D VR pada aktivitas *nearwork* tidak menghambat perkembangan mental fatigue secara neurofisiologis, namun memberikan keuntungan perbaikan performa kognitif. VR berpotensi menjadi alternatif media *nearwork* tanpa meningkatkan atau menurunkan risiko mental fatigue secara signifikan dibandingkan berbasis layar 2D.

Kata Kunci: akomodasi, konvergensi, *nearwork*, *virtual reality*, *mental fatigue*, Tes Pauli, P300, EEG.

**ANALYSIS OF THE EFFECTS OF ACCOMMODATION–CONVERGENCE
INTERVENTION ON INTRA-INDIVIDUAL MENTAL FATIGUE PARAMETERS
DURING NEAR-WORK ACTIVITIES USING A VIRTUAL REALITY (VR)-BASED
PAULI TEST**

Riyadi Hartono¹, Taufiq Fredrik Pasik², Maria Selvester Thadeus³

ABSTRACT

Background: Prolonged 2D screen-based nearwork activities can induce visual fatigue and mental fatigue, leading to a decline in cognitive performance. Ocular accommodation–convergence activity is a key mechanism contributing to this condition. Virtual reality (VR) technology has the potential to be used as an intervention by eliminating the need for accommodation–convergence.

Objective: To analyze the effect of eliminating ocular accommodation–convergence using a VR device on mental fatigue parameters within individuals during nearwork activities.

Methods: This study employed an intra-individual crossover design involving 20 healthy male subjects aged 18–25 years. Each subject underwent two conditions: (1) a 2D screen-based Pauli Test and (2) a 3D VR-based Pauli Test. Mental fatigue parameters were assessed using objective multi-biomarkers, including Pauli Test performance, pupil diameter, P300 ERP latency and amplitude, and EEG waves (frontal theta, parietal and occipital alpha). Statistical analysis was performed using a Linear Mixed-Effects Model (LMEM).

Results: Duration and time factors had a significant effect on pupil diameter reduction ($p < 0.001$) and P300 latency prolongation ($p = 0.034$), indicating the progression of mental fatigue with increasing nearwork duration. No significant differences were found between 2D and 3D VR conditions in alpha and theta wave parameters or P300 amplitude. However, cognitive performance, as measured by the Pauli Test, showed a significant improvement under the VR condition, which was able to maintain and enhance cognitive performance compared with the 2D screen condition ($p = 0.017$).

Conclusion: A 3D VR-based intervention eliminating accommodation–convergence during nearwork activities does not inhibit the neurophysiological development of mental fatigue, but it provides benefits in improving cognitive performance. VR has the potential to serve as an alternative nearwork medium without significantly increasing or decreasing the risk of mental fatigue compared with 2D screen-based media.

Keywords: accommodation, convergence, nearwork, virtual reality, mental fatigue, Pauli test, P300, EEG.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
I.3.1 Tujuan Umum	3
I.3.2 Tujuan Khusus	4
I.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
II.1 Tinjauan Pustaka	6
II.2 Landasan Teori	6
II.2.1. <i>Mental fatigue</i>	6
II. 2.2. Kemampuan Kognitif pada <i>Nearwork</i>	7
II.2.2.1 <i>Nearwork</i>	7
II.2.2.2 Pengaruh <i>Nearwork</i> terhadap Kemampuan Kognitif	7
II.2.3. Kelelahan Visual	8
II.2.3.1. Akomodasi Mata dan Vergensi Mata	8
II.2.3.2 Mekanisme Akomodasi Mata	9
II.2.3.3 Vergensi Mata	10
II.2.3.4. Otot Ekstraokular dan Gerakan Bola Mata	11
II.2.3.5. Kelelahan akibat Akomodasi dan Vergensi Mata	12

II.2.4 Virtual Reality	14
II.2.5 Tes Pauli	16
II.2.5.1 Aspek Psikologis dan Kognitif Tes Pauli	16
II.2.5.2 Penggunaan Tes Pauli	17
II.2.5.3 Skoring Hasil Tes Pauli	17
II.2.6 Metode Dasar Pengukuran EEG	19
II. 2.6.1 Bio-electric Sistem Syaraf dan Neuron	19
II.2.6.2 Kelistrikan Sistem Saraf	20
II.2.6.3. Pengukuran EEG untuk Kelelahan Mata dan <i>Mental Fatigue</i> ...	22
II.2.6.4 Tata Laksana Peletakan Elektroda	23
II.2.6.4.1 Parameter EEG	23
II.2.6.4.2 q-EEG (Quantitative Electroencephalography)	25
II.2.7. Relaksasi (Washout)	26
II. 2.8. Biomarker untuk Kelelahan Visual dan <i>Mental Fatigue</i>	27
II.2.8.1. Biomarker Pupil Metrik untuk Kelelahan Visual	27
II.2.8.2 Biomarker Gelombang EEG	27
II.2.8.3. Pengukuran P300 ERP EEG ...	28
II. 2.8.4 Biomarker Test Pauli	29
II.3 Hipotesis atau Pernyataan Penelitian	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
III.1. Metode Penelitian	31
III.1.1. Dua Perlakuan dalam Penelitian	32
III.1.2 Alur Penelitian	34
III.1.2.1 Alur Penelitian Secara Umum	34
III.1.2.2 Alur Desain Penelitian dan Pengumpulan Data	35
III.2. Metode Pengambilan Sampel	37
III.2.1 Penentuan Jumlah Sample	37
III.2.2 Analisa Statistik Sampel Data Kecil (Small-N Designs, SND)	39
III.2.2.1 LMEM tidak Memerlukan Uji Normalitas dan Homogenitas Tidak Perlu Dilakukan di Awal Analisis	40
III.2.2.2 Langkah-Langkah Penghitungan LMEM	41

III.2.3 Alasan Pemilihan Sampel dan Umur Sampel	43
III.2.3.1 Alasan Pemilihan Gender	43
III.2.2..2 Alasan Pemilihan Umur Sample	43
III.3 Variable yang Digunakan	45
III.3.1 Kerangka Konsep Penelitian	45
III.3.2 Kemampuan Kognitif	46
III.3.3 Kerangka Teori Skematis	47
III.4 Alat Penelitian	47
III.5 Metode Analisis Data	48
III.5.1 Tes Paui Berbasis Layar 2 Dimensi dan Berbasis VR	49
III.5. 2 Pengolahan Data	50
III.5.3.1. Analisa Hasil Tes Pauli	50
III.5.3.2. Analisa Hasil Gelombang EEG	52
III.5.3.3. Analisa Hasil Pengukuran P300	53
III.5.3.4. Analisa Hasil Pengukuran Diameter Pupil	55
III.6 Metode Penyajian Data	55
BAB IV HASIL HASIL DAN PEMBAHASAN	57
IV.1 Deskripsi Tempat Penelitian	57
IV.2 Pelaksanaan Penelitian	57
IV.3 Hasil Penelitian	58
IV.3.1 Hasil Pengukuran Diameter Pupil	59
IV.3.2 Hasil Pengukuran Amplitudo P300.....	59
IV.3.3 Hasil Pengukuran Latensi P300.....	59
IV.3.4 Hasil Pengukuran Performa Tes Pauli	60
IV.3.5 Hasil Pengukuran Gelombang Theta Area Frontal (EEG).....	61
IV.3.6 Hasil Pengukuran Gelombang Alpha Area Parietal	61
IV.3.7 Hasil Pengukuran Gelombang Alpha Oksipital	62
IV.4 Pembahasan	63
IV.4.1 <i>Mental fatigue</i> sebagai Fungsi Waktu, Bukan Media Tampilan pada Perlakuan	63
IV.4.2 Stabilitas Amplitudo P300 dan Implikasi terhadap Kapasitas Atensi ...	64

IV.4.3 Performa Tes Pauli	64
IV.4.4 Gelombang EEG	64
IV.4.5 Validitas Desain Crossover	65
IV.4.6 Sintesis Temuan	65
IV.5 Keterbatasan Penelitian	66
BAB V PENUTUP	67
V.1 Kesimpulan	67
V.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan visual kondisi normal dengan kondisi VR	16
Tabel 2. Contoh hasil tes Pauli	18
Tabel 3. Contoh hasil olahan data Tes Pauli	18
Tabel 4. Perbandingan metode relaksasi (washout)	27
Tabel 5. Karakteristik Frekuensi Gelombang Otak yang Berbeda	28
Tabel 6. Waktu yang dibutuhkan untuk pengujian satu sample. Sekali pengujian per satu sampel karena terbatasnya alat ukur	36
Tabel 7. Tabel Parameter Penelitian	49
Tabel 8. Hasil Pengukuran parameter diameter pupil, P300, tes Pauli dan EEG	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Fokus Mata	8
Gambar 2	Pengaruh akomodasi mata pada bentuk dan posisi lensa mata, tampak Zonules menegang pada saat mata akomodasi	9
Gambar 3	Mekanisme akomodasi pada mata dengan meningkatkan kekuatan optik lensa Kristalina	10
Gambar 4	Otot Mata	11
Gambar 5	Akomodasi Mata	14
Gambar 6	Posisi obyek di titik F2 sehingga mata tidak berakomodasi.....	14
Gambar 7	Optik VR	14
Gambar 8	Lembar Kerja Pauli	19
Gambar 9	Impuls saraf	20
Gambar 10	Aktivasi otak	21
Gambar 11	Transformasi Fourier	21
Gambar 12	Peletakan Elektroda EEG	23
Gambar 13	q-EEG	25
Gambar 14	P300 ERP	28
Gambar 15	Alur Penelitian.....	33
Gambar 16	Diagram Metode Pengambilan Data	35
Gambar 17	Peningkatan presisi untuk setiap penambahan 1 ukuran sampel per kelompok pada uji kelompok parallel	38
Gambar 18	Kurva rentang usia untuk tugas kognitif	44
Gambar 19	Metodologi Pengambilan data	44
Gambar 20	Kerangka Konsep Pelenelitian	45
Gambar 21	Kerangka Teori Skematis	47
Gambar 22	Sistem Lembar Kerja tes Pauli Berbasis komputer dan berbasis VR	50
Gambar 23	Metodologi pengelolaan data Pauli Tes	50
Gambar 24	Contoh hasil tes Paul dalam aplikasi yang dipakai	

	dalam penelitian	51
Gambar 25	Grafik regresi linear performa penghitungan benar tes Pauli ...	51
Gambar 26	Metodologi pengelolaan data hasil pengukuran gelombang EEG	52
Gambar 27.	Grafik regresi linear <i>FFT Absolute Power</i> gelombang EEG yang diambil dari area tertentu.	53
Gambar 28	Rerata gradien performa Tes Pauli pada kondisi 2D layar dan VR dengan <i>error bar</i> interval kepercayaan 95%	60
Gambar 29	Rerata gelombang gradien theta area frontal (EEG) pada kondisi 2D layar dan VR dengan <i>error bar</i> interval kepercayaan 95%	61
Gambar 30	Rerata gelombang gradien alpha area parietal (EEG) pada kondisi 2D layar dan VR dengan <i>error bar</i> interval kepercayaan 95%	60
Gambar 31	Rerata gelombang gradien alpha area parietal (EEG) pada kondisi 2D layar dan VR dengan <i>error bar</i> interval kepercayaan 95%.	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Surat Persetujuan Etik	79
Lampiran 2	Dokumentasi Penelitian	80
Lampiran 3	<i>Log book</i> Penelitian	82
Lampiran 4	Data Hasil Pengukuran	83
Lampiran 5	Data Hasil Pengukuran; Format SPS “Long” (1)	84
Lampiran 6	Data Hasil Pengukuran Format SPS “Long” (2)	85
Lampiran 7	Contoh Hasil Pengukuran	86