

TESIS

**PERFORMANSI AKURASI *VISUAL ANGLE*
TERHADAP OBJEK DINAMIS PADA TAMPILAN
LAYAR STEREOSKOPIK**



ANINDYA AGRIPINA HADYANAWATI

19916034

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

**PERFORMANSI AKURASI VISUAL ANGLE
TERHADAP OBJEK DINAMIS PADA TAMPILAN
LAYAR STEREOSKOPIK**

**Tesis untuk memperoleh Gelar Magister pada Program
Studi Teknik Industri Program Magister
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam
Indonesia**

**ANINDYA AGRIPINA HADYANAWATI
19916034**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2021**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan nama Allah SWT, tesis yang berjudul “Performansi Akurasi *Visual Angle* Terhadap Objek Dinamis Pada Tampilan Layar Stereoskopik” ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Tidak terdapat bagian didalamnya yang merupakan plagiat dari karya orang lain dan melakukan penjiplakan dengan mengutip dengan cara yang tidak sesuai dari tata dan etika keilmuan dalam berpendidikan. Jika dikemudian hari terbukti melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia menanggung resiko dan sanksi yang diberikan.

Yogyakarta, Desember 2021



Anindya Agripina Hadyanawati

19916034

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

TUGAS AKHIR

**PERFORMANSI AKURASI *VISUAL ANGLE* TERHADAP OBJEK DINAMIS PADA
TAMPILAN LAYAR STEREOSKOPIK**

Tesis telah disetujui pada tanggal
29 November 2021

Dosen Pembimbing



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D

NIP: 025200519

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D

NIP: 025200519

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PERFORMANSI AKURASI *VISUAL ANGLE* TERHADAP OBJEK
DINAMIS PADA TAMPILAN LAYAR STEREOSKOPIK

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Anindya Agripina Hadyanawati
 No. Mahasiswa : 19916034

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat
 untuk memperoleh gelar Sarjana Magister Teknik Industri Fakultas
 Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 28 Desember 2021

Tim Penguji

Winda Nur Cahyo S.T., M.T., PhD

Ketua Penguji

Muhammad Ridwan Andi Purnomo S.T., M.Sc., Ph.D

Penguji 1

Dr. Taufiq Immawan S.T., M.M.

Penguji 2

Mengetahui,
 Ketua Program Studi Teknik Industri
 Fakultas Teknologi Industri
 Universitas Islam Indonesia



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Performansi Akurasi Visual Angle Terhadap Objek Dinamis Pada Tampilan Layar Stereoskopik”** guna memenuhi salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata Dua (S2) pada program Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tesis ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan dan kesempatan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Winda Nur Cahyo S.T., M.T., PhD. selaku Ketua Program Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Winda Nur Cahyo S.T., M.T., PhD. selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan.
4. Keluarga tercinta, Papa, Mama, dan kakak yang telah memberikan dukungan langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tesis.
5. Seluruh responden dan pihak yang telah turut mendukung dan membantu dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih jauh dari sempurna sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pembaca demi melengkapi

kekurangan dalam laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, Desember 2021

Anindya Agripina Hadyanawati



DAFTAR ISI

| | |
|-------------------------------------|------|
| PERNYATAAN KEASLIAN TESIS | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | iv |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| ABSTRAK | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4. Batasan Penelitian | 3 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1. Mekanisme mata | 6 |
| 2.2. Gerakan Mata | 7 |
| 2.2.1. <i>Smooth Pursuit</i> | 9 |
| 2.3. Layar Stereoskopik | 10 |
| 2.4. <i>Eye-tracking</i> | 12 |
| 2.5. Penelitian terdahulu | 13 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1. Objek dan Subjek Penelitian | 18 |
| 3.2. Desain Eksperimen | 18 |
| 3.3. Variabel Penelitian | 19 |
| 3.3.1 Variabel Independen | 19 |
| 3.3.2 Variabel Dependen | 22 |
| 3.4. Hipotesis | 28 |
| 3.5. Instrumen Penelitian | 28 |
| 3.6. Prosedur Penelitian | 34 |
| BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | 38 |
| 4.1 Profil Responden | 38 |
| 4.2 Pengumpulan Data | 39 |
| 4.3 Uji Statistik <i>Visual Angle</i> | 40 |
| 4.4 Uji Statistik Independent Sample T-Test | 43 |
| BAB V PEMBAHASAN | 45 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 48 |
| 6.1 Kesimpulan | 48 |
| 6.2 Saran | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA | 50 |
| LAMPIRAN-LAMPIRAN | 55 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya..... | 14 |
| Tabel 3. 1 Desain Eksperimen | 19 |
| Tabel 3. 2 Jarak benda pada layar | 20 |
| Tabel 4. 1 Profil Responden..... | 38 |
| Tabel 4. 2 Jumlah data pada setiap stimulus | 40 |
| Tabel 4. 3 Ringkasan hasil repeated measures ANOVA untuk <i>Visual Angle</i> pada mata kiri | 40 |
| Tabel 4. 4 Ringkasan hasil repeated measures ANOVA untuk <i>Visual Angle</i> pada mata kanan | 41 |
| Tabel 4. 5 Hasil Independent Sample T-Test..... | 44 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Anatomi bagian-bagian mata | 6 |
| Gambar 2. 2 Perbedaan Fixation, Smooth Pursut, dan Optokinetic Eye Movement | 8 |
| Gambar 2. 3 Perbedaan anantara <i>Saccades</i> dan <i>Smooth Pursuit</i> | 9 |
| Gambar 2. 4 Ilustrasi dari Layar Stereoskopik..... | 11 |
| Gambar 2. 5 Perbedaan real-world dan 3 Dimensi | 13 |
| Gambar 3. 1 Ilustrasi dari level parallax (a) 0 Parallax (b) 30 Parallax (c) 60 Parallax..... | 20 |
| Gambar 3. 2 Ukuran benda pada layar..... | 21 |
| Gambar 3. 3 (a) gerak melingkar (b) gerak horizontal (c) gerak vertikal..... | 22 |
| Gambar 3. 4 Teorema Pythagoras..... | 23 |
| Gambar 3. 5 Posisi teoritis pada layar (a) melingkar (b) horizontal (c) vertical.... | 25 |
| Gambar 3. 6 Visualization of the human gaze on (a) Circular motion (b) Horizontal motion (c) Vertical motion..... | 26 |
| Gambar 3. 7 Visualisasi jarak antara data teoretis dan data aktual..... | 26 |
| Gambar 3. 8 Ilustrasi <i>visual angle</i> | 27 |
| Gambar 3. 9 Sony TDG-BT400A 3D Glasses..... | 29 |
| Gambar 3. 10 IR-Emitter NVIDIA | 29 |
| Gambar 3. 11 Sony 3D TV Bravia..... | 29 |
| Gambar 3. 12 PC Asus MD800 Core i7-7700 | 30 |
| Gambar 3. 13 Tobii <i>Eye-Tracker</i> Pro Nano | 30 |
| Gambar 3. 14 <i>Chin rest</i> | 31 |
| Gambar 3. 15 Jarak nyaman dalam Melihat Layar | 32 |
| Gambar 3. 16 Layout dari sisi atas..... | 33 |
| Gambar 3. 17 Layout dari sisi kanan | 34 |
| Gambar 3. 18 Prosedur Penelitian..... | 35 |
| Gambar 4. 1 Filtrasi Data | 39 |
| Gambar 4. 2 Perbandingan rata-rata Variabel Parallax..... | 42 |
| Gambar 4. 3 Perbandingan rata-rata Variabel Arah Gerak | 42 |

Gambar 4. 4 Perbandingan rata-rata Variabel Kecepatan.....43



ABSTRAK

Virtual reality (VR) adalah untuk membuat gambar adegan tiga dimensi yang dapat berinteraksi dengan manusia. Penggunaan VR memerlukan diam dan bergerak. Penelitian ini menyelidiki keakuratan pandangan mata manusia terhadap objek bergerak dalam VR atau tampilan stereoskopik. Dalam eksperimental desain, 10 orang secara sukarela (lima laki-laki dan lima perempuan) melakukan 27 kondisi percobaan di tiga tingkat lingkungan yang berbeda (3D pada parallax 0, 3D pada parallax 30, dan 3D pada parallax 60), dua tingkat kecepatan ($5^\circ/s$ dan $25^\circ/s$), dan tiga tingkatan arah gerak (melingkar, horizontal, vertikal). Studi ini memeriksa tampilan stereoskopik menggunakan TV 3D dan kacamata 3D. Objek virtual dalam penelitian ini dikembangkan pada perangkat lunak Unity 4.3.4. Data direkam dengan Tobii pro lab dengan sampling rate 60Hz dan menggunakan filter fiksasi dengan *Velocity-Threshold Identification* (I-VT). Data tersebut dihitung menjadi akurasi jarak kemudian diubah menjadi *visual angle*. Data percobaan menunjukkan bahwa arah gerak dan kecepatan yang memiliki perbedaan yang signifikan pada *visual angle*. Hasil uji statistik rmANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara gerak melingkar, horizontal, dan vertikal pada mata kiri dengan $F(2;18) = 31.769$; $p < ,000$ dan perbedaan yang signifikan antara kecepatan $5^\circ/s$ dan $25^\circ/s$ dengan $F(1;9) = 65.169$; $p < ,000$. Mata kanan juga menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara gerak melingkar, horizontal, dan sirkular dengan $F(2;18) = 19.879$; $p < 0,000$ dan perbedaan yang signifikan antara kecepatan $5^\circ/s$ dan $25^\circ/s$ dengan $F(1;9) = 26.612$; $p < ,001$. Hasil uji Tukey HSD menunjukkan hasil yang signifikan antara gerak melingkar, gerak horizontal, dan gerak vertikal. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa arah vertikal lebih akurat.

Kata kunci: Tampilan Layar Stereoskopik, Objek Bergerak, *Smooth pursuit*, Akurasi

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini bertujuan untuk menjelaskan latar belakang masalah, yang menjadi dasar penelitian, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam kehidupan sehari-hari ketepatan dalam melakukan suatu tindakan sangatlah penting, beberapa tindakan tersebut antara lain memasukkan anak kunci ke dalam gembok atau melakukan tembakan bola basket, yang sangat dibutuhkan kecepatan eksekusi guna meningkatkan produktivitas hidup manusia. Ketidakmampuan untuk bertindak cepat dan akurat pada saat yang sama merupakan salah satu prinsip dasar pengendalian motorik yang sering disebut sebagai *speed-accuracy trade-off* (Kourtis, Sebanz, & Knoblich, 2012).

Semakin berkembangnya dunia teknologi, saat ini marak digunakan teknologi *virtual reality*. *Virtual reality* (VR) adalah penggunaan teknologi komputer untuk membuat gambar adegan tiga dimensi yang dapat berinteraksi dengan manusia (Vince, 2004). VR dapat digunakan untuk berbagai bidang, seperti arkeologi, game, pendidikan, dan perjalanan luar angkasa yang sulit dijangkau secara langsung hingga pelatihan pekerja yang berbahaya (Cipresso, et al., 2018). Menurut Lewis dan Griffin (1997) karakteristik sistem VR juga telah terbukti mempengaruhi kemampuan pengguna untuk melakukan tugas di lingkungan virtual. Sebagian besar bidang yang menggunakan VR memerlukan objek bergerak, seperti game, simulasi, dan pelatihan. Oleh karena itu, pemilihan objek bergerak dianggap penting. Contoh objek bergerak seperti menyentuh benda saat bergerak, menunjuk, atau merespon benda bergerak (Khamis, et al., 2018). Benda yang bergerak bisa dalam berbagai arah, seperti sinusoidal, vertikal, horizontal, dan pergerakan melingkar.

VR dan objek bergerak sangat relevan dengan pergerakan mata. Salah satu gerakan mata adalah *Smooth Pursuit* (SP). SP menjadi penting karena sifat dinamis aplikasi VR sering mengharuskan pemilihan target bergerak (Khamis, et al., 2018).

Dalam gerakan SP, mata manusia secara alami dan tidak sadar dapat mengikuti gerakan benda bergerak. Namun, gerakan SP lebih baik untuk gerakan yang dapat diprediksi daripada gerakan target yang tidak terduga (Sharpe, 2014). Gerakan mata dapat diukur sebagai performansi manusia. Salah satu cara pengukuran performansi tersebut dengan akurasi.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang mengkaji akurasi sebagai kinerja manusia. Akurasi merupakan salah satu tindakan yang populer untuk mengukur kinerja manusia, terutama dalam kualitas pergerakan mata (Prasetyo, Widyaningrum, & Lin, 2019; Blignaut, et al., 2014). Akurasi akan meningkat ketika target ditempatkan secara vertikal dan berada dekat dengan posisi pengamat (Lin, et al., 2015). Selain itu, penelitian dari Pastel, et al (2021) menemukan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam akurasi tatapan mata ketika mengikuti objek bergerak.

Penelitian ini melihat keakuratan pandangan mata manusia terhadap objek bergerak dalam tampilan stereoskopik. Akurasi pada penelitian ini didefinisikan sebagai perbedaan antara posisi teoritis (posisi koordinat pada layar) dan posisi *eye-gaze* yang direkam menggunakan *eye-tracker*. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui seberapa baik kinerja tatapan mata ketika mengikuti objek bergerak dalam beberapa arah gerak, lingkungan dan kecepatan yang berbeda-beda. Data yang dikumpulkan oleh *eye-tracker* dikenal sebagai parameter gerak mata atau *eye movement measurement* (Lin, Prasetyo, & Widyaningrum, 2019). Dalam hal ini, data yang diambil adalah titik pandangan mata manusia untuk mengetahui koordinat secara tepat. Perhitungan jarak antara posisi teoritis dan posisi *eye-gaze* dari *eye-tracker* diperlukan guna meningkatkan interaksi yang lebih baik ketika melakukan pengamatan maupun aktivitas pada tampilan stereoskopik.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diperoleh di atas, maka di dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah terdapat pengaruh variabel parallax, arah gerak, dan kecepatan terhadap performansi mata manusia dalam melihat benda bergerak?

2. Apakah terdapat perbedaan antara mata kanan dan mata kiri dalam melihat benda bergerak?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variabel parallax, arah gerak, dan kecepatan terhadap performansi mata manusia dalam melihat benda bergerak.
2. Mengetahui perbedaan antara mata kanan dan mata kiri dalam melihat benda bergerak.

1.4. Batasan Penelitian

Adapun ruang lingkup dan batasan pada penelitian ini yaitu:

1. Kacamata Sony 3D yang digunakan untuk melihat benda pada lingkungan 3D dalam parallax negatif.
2. Software Unity 3D versi 4.3.4 digunakan untuk membuat objek bergerak.
3. Kecepatan gerak benda telah diatur pada software Unity 3D sesuai dengan rancangan percobaan.
4. Jarak mata responden dengan *eye-tracker* diatur sejauh 60cm.
5. Jarak mata responden dengan layar 3D TV diatur sejauh 207cm.
6. IPD yang digunakan diasumsikan pada jarak konstan yaitu 6,5cm.
7. Data *eye-gaze* dari *eye-tracker* diasumsikan berdistribusi normal. Data outlier akan dihapus dengan mempertimbangkan validitas data secara keseluruhan.
8. Sepuluh subjek yang berpartisipasi dalam penelitian ini diasumsikan mewakili seluruh populasi.
9. Seluruh responden berasal dari institusi National Taiwan University of Science and Technology.
10. Eksperimen dilakukan di ruang eksperimen Ergonomic and Design Laboratory MA005, National Taiwan University of Science and Technology.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat guna mengetahui interaksi tatapan mata manusia terhadap benda bergerak. Sehingga diharapkan dapat memberikan rekomendasi berupa arah gerak benda, kecepatan, maupun jarak benda yang diharapkan dapat meningkatkan performansi pada tampilan layar stereoskopik.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika dibuat agar penulisan tugas akhir dapat lebih terstruktur yang disusun dalam beberapa bab. Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai pendahuluan yang berisikan pemaparan latar belakang yang menjadi permasalahan pada topik penelitian ini. Selain itu pendahuluan juga berisi tentang perumusan masalah terstruktur dan mudah menentukan penyelesaiannya, tujuan penelitian guna menentukan fokus penelitian, manfaat penelitian ke berbagai pihak, batasan masalah dengan harapan penelitian tidak membicarakan diluar topik, dan sistematika penelitian secara singkat.

BAB II KAJIAN LITERATUR

Berisikan tentang teori dan konsep dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah penelitian yang telah dirumuskan baik diperoleh dari buku maupun pendapat pakar atau sumber yang valid. Selain itu juga memuat uraian terkait hasil penelitian sebelumnya oleh peneliti lain yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan terkait metode penelitian yang berisikan kerangka pemecahan masalah dan penjelasan secara umum bagaimana langkah-langkah yang akan dilakukan menggunakan metode yang telah ditentukan. Bab ini juga mencakup subjek dan objek penelitian, desain eksperimen, sumber data penelitian, alat dan bahan penelitian, teknik pengambilan data, teknik pengolahan data, teknik analisis data, serta bagan alir penelitian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bagian ini akan mengulas data yang diperoleh selama melakukan penelitian dan kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan metode yang dipilih dan telah diuraikan pada bab sebelumnya. Hasil pengolahan data ditampilkan baik dalam bentuk gambar maupun tabel. Bab ini menjadi pedoman untuk pembahasan hasil yang akan ditulis pada selanjutnya.

BAB V PEMBAHASAN

Dari hasil pengumpulan dan pengolahan data, akan dibahas dan dianalisis dengan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan dari penelitian yang telah ditentukan sehingga akan menghasilkan sebuah kesimpulan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis dan pembahasan. Kesimpulan bertujuan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya. Selain itu pada bab ini mencakup saran yang diberikan berdasarkan pengalaman untuk penelitian selanjutnya.

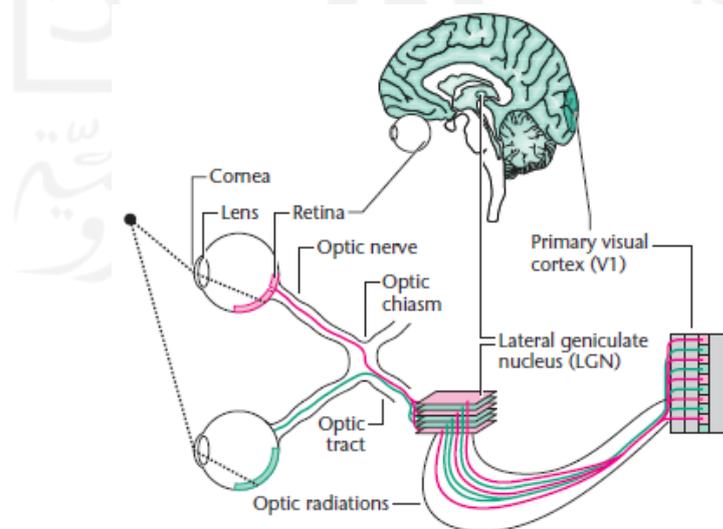
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka yang digunakan dalam penelitian ini berkaitan dengan tampilan stereoskopik, pergerakan mata, dan pelacakan mata. Bab ini juga menyajikan penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini.

2.1. Mekanisme mata

Mata merupakan elemen vital dari tubuh manusia yang digunakan untuk melihat suatu objek. Mata memiliki tugas untuk mengirimkan berbagai informasi terkait penglihatan. Mata memiliki beberapa bagian, seperti bagian luar mata yang terlihat, yaitu sklera (bagian putih mata), iris, dan pupil. Terdapat selaput transparan yang menutupi iris yaitu kornea, dan pada bagian tengah iris terdapat bagian melingkar yang disebut pupil, serta bagian belakang iris terdapat lensa. Selama penyesuaian penglihatan, bentuk lensa berubah-ubah menyesuaikan objek yang dilihat sehingga memungkinkan gambar objek dibawa secara fokus dan teratur ke retina. Retina terletak di bagian belakang mata. Terdapat area kecil di retina yang berisi sebagian besar sel yang peka terhadap warna dan penting untuk memberikan persepsi detail penglihatan (Morimoto & Mimica, 2005). Anatomi sistem visual bagian-bagian mata manusia dapat dilihat pada Gambar 2. 1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Anatomi bagian-bagian mata

Sumber: (Van Hooser & Nelson, 2001)

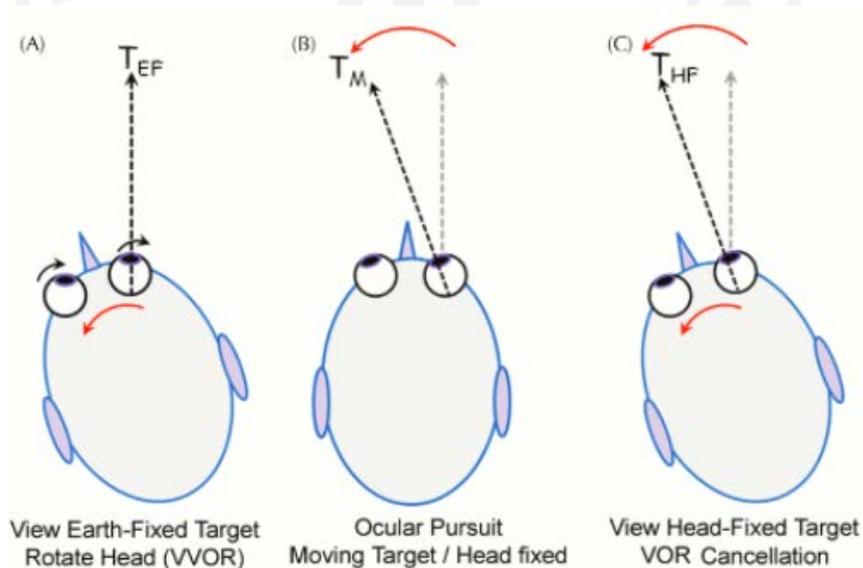
Proses manusia dalam melihat sebuah objek dimulai dari cahaya tiba di mata dan difokuskan pada retina. Retina mengirimkan sinyal ke nukleus genikulatum lateral, yang mengirimkannya ke visual korteks primer. Fotoreseptor di retina mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang diproses oleh neuron retina lokal, yang kemudian memberikan input ke sel ganglion retina, kemudian disalurkan ke neuron. Antara retina dan visual korteks primer, nukleus genikulatum lateral berfungsi sebagai tempat pemberhentian sementara. Sel-sel sederhana dan kompleks yang peka terhadap luminansi di korteks merespons puncak luminansi dan puncak gradien yang disejajarkan dengan benar. Sel-sel sederhana dan kompleks yang peka terhadap cahaya di korteks merespons puncak luminansi dan puncak gradien yang disejajarkan dengan benar. Sel-sel kompleks merespons batang-batang cahaya yang diorientasikan dengan benar di tempat yang dapat menerima cahaya, sedangkan sel-sel sederhana merespons puncak pencahayaan yang diorientasikan dengan benar di tempat tertentu. Double-opponent cells pada visual korteks primer memungkinkan untuk memiliki kelompok horizontal yang kompleks dengan peta topografi visual yang menutupinya, ocular dominance dan orientation tuning (Van Hooser & Nelson, 2001).

2.2. Gerakan Mata

Gerakan mata dikendalikan oleh sirkuit yang berjalan di sepanjang otak. Mata adalah mekanisme motorik sederhana yang dikendalikan oleh jalur motorik yang umum pada batang otak untuk semua jenis gerakan mata (Squire, et al., 2008). Terdapat enam jenis gerakan mata, yaitu fixation, saccade, smooth pursuit, vestibulo-ocular reflex (VOR), vergence, dan optokinetic reflex (Leigh & Zee, 2015).

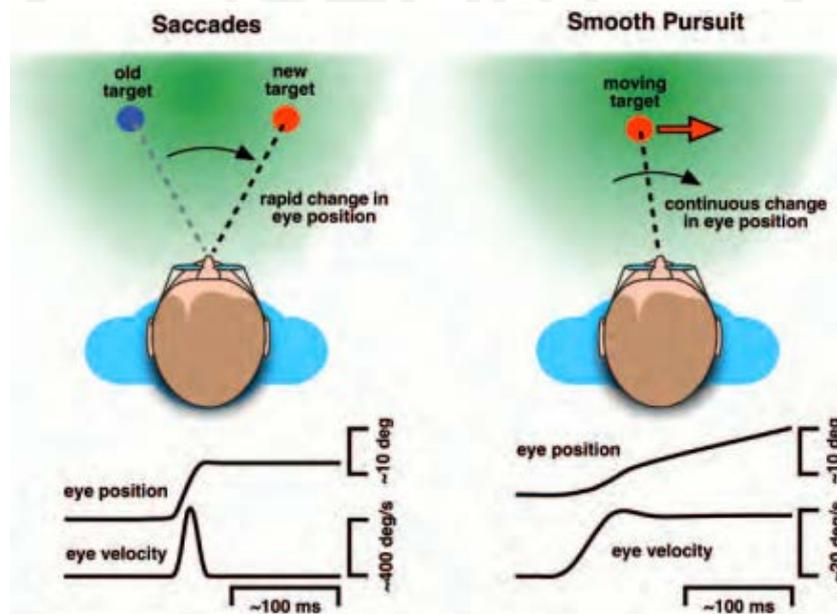
Fixation terjadi ketika mata dalam kondisi diam. Fixation tidak selalu digunakan untuk menjaga mata agar tidak bergerak, namun untuk menjaga kestabilan mata yang berhubungan dengan lingkungan (Squire, et al., 2012). Gerakan mata saccade berarti gerakan cepat atau balistik. Saccade adalah respon dengan mengalihkan pandangan yang dapat memutar dan cepat (Squire, et al.,

2012). *Smooth pursuit* adalah gerakan lambat yang lintasannya ditentukan oleh stimulus yang bergerak. Pengejaran dimulai oleh isyarat visual dengan kebiasaan yang mirip dengan saccade, sehingga hasil kecepatan mata mencapai 50 derajat per detik (Squire, et al., 2008). Vestibulo-ocular reflex (VOR) adalah mekanisme neurologis di mana semicircular canals dari organ vestibular mendeteksi rotasi kepala dan memutar balik mata untuk menstabilkan penglihatan (Squire, et al., 2012). Sistem vestibular membantu mengoptimalkan penglihatan selama terjadinya gerakan kepala. Vergence adalah gerakan di mana kedua mata bergerak dalam arah horizontal yang berlawanan untuk memperoleh objek dekat atau jauh. Saat objek menjauh dari pandangan, mata bergerak bersama sedikit untuk mempertahankan penglihatan binokular. Tujuan dari *vergence* sistem adalah untuk menyatukan atau memisahkan garis pandangan yang diproyeksikan dari kedua mata sehingga bertemu pada target foveal (Squire, et al., 2008). Jenis lain dari gerakan mata adalah optokinetic reflex. Optokinetic reflex sangat penting untuk menjaga visualisasi pada retina secara stabil. Sedangkan saat kepala diam, optokinetic reflex menyebabkan gerakan mata untuk merespon terhadap objek yang bergerak di penglihatan tidak langsung (Cohen, 2011).



Gambar 2. 2 Perbedaan *Fixation*, *Smooth Pursuit*, dan Optokinetic

Beberapa gerakan mata memiliki arti yang sedikit sama, tetapi masing-masing jenis memiliki pengertian yang berbeda. Gerakan mata optokinetic terjadi ketika mata bereaksi untuk mengamati seluruh pemandangan visual selama rotasi diri terus menerus. *Fixation* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan ketika penyimpangan mata yang berlawanan diarahkan menjauh dari titik tetap. Sedangkan *smooth pursuit* terjadi ketika mata dengan mulus melacak objek yang bergerak dengan posisi kepala tetap (Leigh & Zee, 2015).



Gambar 2. 3 Perbedaan antara Saccades dan Smooth Pursuit

2.2.1. Smooth Pursuit

Smooth Pursuit adalah gerakan mata terus-menerus yang digunakan untuk melacak target yang bergerak. Sistem *smooth pursuit* diperlukan untuk menjaga perhatian pada target yang bergerak dan menyesuaikan kecepatan target. Sistem tersebut mempertahankan gambar tepat di fovea meskipun latar belakang juga bergerak (Sharpe, 2014) (Leigh & Zee, 2015). Gerakan mata *smooth pursuit* dihasilkan oleh occipital-parietal-temporal cortex (Kenneth, 2003). Gerakan *smooth pursuit* bagus untuk target bergerak yang dapat diprediksi daripada gerakan target yang tidak dapat diprediksi (Sharpe, 2014) (Enderle, 2010). Tujuan gerakan mata *smooth pursuit* adalah untuk menjaga gambar atau objek di dekat fovea sementara mata

melacak objek yang bergerak pada area penglihatan (Robinson, Gordon, & Gordon, 1986).

Manusia dapat mengejar objek yang bergerak dengan kecepatan $60^\circ/s$ (Schalén, 1980). Benda yang bergerak biasanya dapat diikuti jika kecepatannya kurang dari $50^\circ/s$ (Sharpe, 2014). Untuk menghasilkan akurasi yang bagus pada objek bergerak, kecepatan benda harus kurang dari $30^\circ/s$ (Kenneth, 2003). Menurut penelitian sebelumnya, *smooth pursuit* memperoleh keadaan stabil pada $20\text{-}30^\circ/s$ (Buizza & Schmid, 1986) (Robinson, Gordon, & Gordon, 1986).

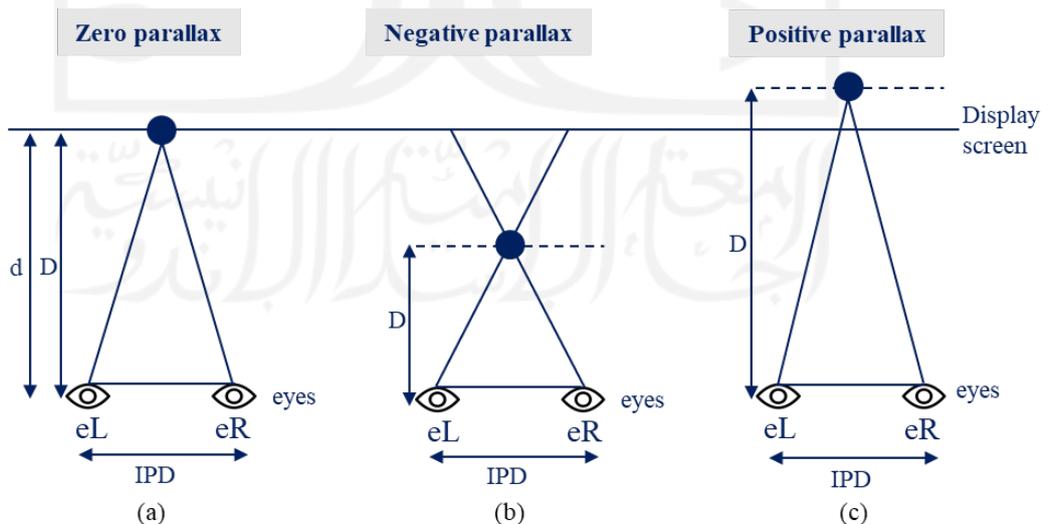
2.3. Layar Stereoskopik

Istilah *Virtual Reality* (VR) diperkenalkan oleh Jaron Lanier (Shen & Shirmohammadi, 2008). Gigante (1993) menggambarkan VR sebagai “The illusion of participation in a synthetic environment rather than external observation of such an environment. VR relies on a 3D, stereoscopic head-tracker displays, hand/body tracking and binaural sound. VR is an immersive, multi-sensory experience” (Gigante, 1993). Definisi lain tentang VR adalah "Virtual reality refers to immersive, interactive, multi-sensory, viewer-centered, 3D computer-generated environments and the combination of technologies required building environments" (Cruz-Neira, 1993). Secara khusus, *immersion* fokus pada jumlah indera yang dirangsang, interaksi, dan kesamaan realitas dari rangsangan yang digunakan untuk mensimulasikan sebuah lingkungan (Cipresso, et al., 2018). Sehingga, fungsi stereoskopik pada mata dapat membantu orang merasakan jarak antara objek dekat dan jauh di area mata (Schwerdtner, 2016).

VR memiliki tiga karakteristik, *Immersion*, *Interactivity* dan *Information intensity* (Shen & Shirmohammadi, 2008). *Immersion* awalnya tergantung pada aspek visual yang diterapkan oleh 3D Computer Graphics (CG), karena pengguna perlu merasa bahwa mereka berada di dunia yang mirip dengan dunia nyata. *Interactivity* diartikan bahwa pengguna dapat mengubah tampilan sendiri, daripada mengandalkan sistem. Sedangkan *Information intensity* merupakan kebutuhan pengguna dari kualitas dan kuantitas informasi yang diberikan oleh VR.

Tampilan stereoskopik menghasilkan efek kedalaman bagi pengguna yang menjadi dua gambar dengan adanya pemisahan. Setiap mata dalam tampilan stereoskopik melihat gambar terpisah dari layar virtual. Untuk mendapatkan tampilan virtual pada tampilan stereoskopik, diperlukan alat bantu seperti kacamata. Tampilan 3D diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan apakah dilihat dengan atau tanpa kacamata: stereoskopik dan stereoskopik otomatis, yang mencakup berbagai teknologi (Huang & Chen, 2018). Tampilan stereoskopik dengan kacamata dibagi menjadi empat kategori, berdasarkan panjang gelombang, berdasarkan waktu bergantian. Basis pada cahaya terpolarisasi dan basis pada spektral. Kemudian orang bisa merasakan kedalaman layar (Schwerdtner, 2016).

Parallax menciptakan *binocular disparity* dalam sistem visual manusia yang memberikan rasa kedalaman stereoskopik 3D, dengan setiap mata menerima gambar yang sama, hal ini terjadi karena pemisahan horizontal gambar pada mata. Di layar disajikan pemisahan horizontal dua gambar. Tampilan stereoskopik memiliki tiga jenis parallax. Parallax nol, benda semu berada di layar, parallax positif menunjukkan benda semu yang terletak di belakang layar, dan parallax negatif menunjukkan letak benda semu di depan layar (Kim, 2005). Ilustrasi parallax ditunjukkan seperti pada Gambar 2. 4 di bawah ini:



Gambar 2. 4 Ilustrasi dari Layar Stereoskopik

Dalam penelitian ini, rumus di bawah ini digunakan untuk menentukan parallax pada tampilan stereoskopik (Kim G. J., 2005).

$$Parallax = \frac{IPD \times (D - d)}{D}$$

Dimana:

- IPD : jarak antar pupil
- D : jarak antara benda maya dengan responden
- d : jarak antara layar TV dengan responden

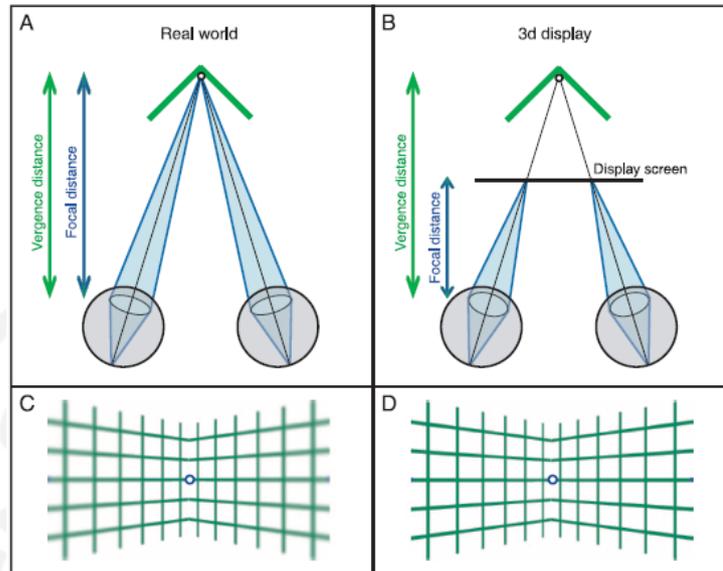
Seperti yang ditunjukkan pada ilustrasi tampilan stereoskopik di atas, kondisi mata yang tumpang tindih dan mata melihat objek dari sudut yang berbeda, yang dapat menyebabkan otak menerima informasi dan mengintegrasikannya, yang dikenal sebagai penglihatan stereo atau persepsi kedalaman, dalam rangka untuk membuat objek secara lengkap dan dapat menghasilkan gambar semu atau gambar 3 dimensi.

2.4. Eye-tracking

Eye-tracking mengikuti arah di mana seseorang melihat (Nielsen & Pernice, 2010). Untuk teknologi baru saat ini, hal tersebut relatif mudah untuk melihat saat orang menatap layar komputer. Perangkat keras *eye-tracking* dapat dipasang ke monitor komputer, sehingga perangkat lunak pelacak mata dapat melacak apa yang tercermin pada perangkat saat pengguna melihatnya. *Eye-tracking* konsentrasi pada mata pengguna dengan isyarat.

Integrasi *eye-tracking* dan VR dapat menghitung pandangan mata responden dalam layar 3D dan melihat ke mana subjek melihat selama percobaan (Clay, König, & Koenig, 2019). Keuntungan dari teknik gabungan antara *eye-tracking* dan VR adalah rangsangan alami, gerakan alami, lingkungan yang terkontrol, dan pengumpulan data yang terkontrol (Clay, König, & Koenig, 2019).

Focus-accommodation-conflict adalah tantangan VR dengan disparity antara vergence dan fokus seperti Gambar 2. 5 di bawah ini:



Gambar 2. 5 Perbedaan real-world dan 3 Dimensi

Di dunia nyata, otak manusia menerima informasi mendalam dari vergence dan dari fokus lensa mata. Sebaliknya, pada lingkungan 3dimensi hanya menerima informasi tentang vergence di VR. Karena adegan virtual hanya disajikan pada satu bidang.

2.5. Penelitian terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan mengenai pengaruh parallax pada tampilan layar stereoskopik dan banyak variabel telah diuji. Berikut ini merupakan beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dan terkait dengan penelitian ini:

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya

| No. | Judul | Penulis | Penemuan |
|-----|--|------------------------------------|---|
| 1. | The effect of parallax on eye fixation parameter in projection-based stereoscopic displays | (Lin & Widyaningrum, 2018) | Pengaruh parallax mempengaruhi <i>fixation duration, time to first fixation, member of fixations</i> , dan akurasi. |
| 2. | Impact of parallax and interpupillary distance on size judgement performance of virtual objects in stereoscopic displays | (Woldegiorgis, Lin, & Liang, 2019) | Parallax berdampak pada persepsi manusia ketika melihat objek berdasarkan ukuran, hal tersebut dapat terlihat terlalu besar atau terlalu kecil. |
| 3. | Distance estimation with mixed real and virtual targets in stereoscopic displays | (Lin, et al., 2015) | Dalam layar 3D, akurasi meningkat ketika target ditempatkan secara vertikal dan dekat dengan posisi pengamat. Jarak antara posisi aktual dan posisi virtual benda dijaga sekecil dan sedekat mungkin dengan pengamat. |
| 4. | Interaction and visual performance in | (Lin & Woldegiorgis, 2015) | Jarak egosentris mempengaruhi akurasi. Akurasi dalam layar 2D mencapai 94% dan dalam layar 3D hanya sekitar 80%. |

| No. | Judul | Penulis | Penemuan |
|-----|--|--|--|
| | stereoscopic displays: A review | | |
| 5. | The Effects of Augmented Reality Interaction Techniques on Egocentric Distance Estimation Accuracy | (Lin, Caesaron, & Woldegiorgis, 2019) | Tingkat kerumitan tugas yang diberikan dan jarak egosentris mempengaruhi akurasi secara signifikan. Pada tingkat kesulitan tugas yang tinggi, akurasi menjadi lebih rendah dibandingkan dengan akurasi sedang dan rendah |
| 6. | Two-Dimensional Analysis of Smooth Pursuit Eye Movements Reveals Quantitative Deficits in Precision and Accuracy | (Mcilreavy, Freeman, & Erichsen, 2019) | Studi ini menemukan bahwa akurasi lebih akurat dalam mengejar objek secara vertikal daripada horizontal. Selain itu, akurasi juga dipengaruhi oleh kecepatan dimana target kecepatan tinggi memiliki akurasi yang lebih rendah dibandingkan target kecepatan rendah. |
| 7. | Comparison of gaze accuracy and precision in real-world and virtual reality | (Pastel, et al., 2021) | Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan akurasi eye-gaze antara layar biasa dan virtual reality pada stimulus statis. Namun, terdapat perbedaan yang signifikan dalam akurasi eye-gaze pada objek bergerak. |

| No. | Judul | Penulis | Penemuan |
|-----|---|---|--|
| 8. | Eye movement measures for predicting eye gaze accuracy and symptoms in 2D and 3D displays | (Lin, Prasetyo, & Widyaningrum, 2019) | Nilai akurasi eye-gaze lebih tinggi bila ditampilkan pada layar 2D dengan tingkat kesulitan yang lebih tinggi sehingga menghasilkan durasi saccade yang lebih tinggi dan number of fixation yang lebih tinggi. |
| 9. | Eye gaze accuracy in the projection-based stereoscopic display as a function of number of fixation, eye movement time, and parallax | (Prasetyo, Widyaningrum, & Lin, 2019) | Nilai akurasi eye-gaze lebih tinggi pada number of fixation yang tinggi, waktu gerakan mata yang rendah, dan parallax yang lebih rendah. |
| 10. | Accuracy of eye position for saccades and smooth pursuit | (Shanide, Ghahghaei, & Vergheese, 2016) | Studi ini menunjukkan selama gerakan mata smooth pursuit, mata tidak melihat ke tengah objek yang bergerak. |
| 11. | Addressing the eye fixation problem in gaze tracking for human computer interface using the vestibulo-ocular reflex | (Pantanowitz, et al., 2020) | Studi ini menunjukkan bahwa gerakan mata smooth pursuit memiliki akurasi dan presisi yang lebih besar daripada gerakan mata saccadic. |

| No. | Judul | Penulis | Penemuan |
|-----|---|-------------------------------|---|
| 12. | Attentive tracking of moving objects in real 3D space | (Rehman, et al., 2015) | Mata manusia dapat menjangkau beberapa objek sekaligus dalam layar 3D yang luas, namun efisiensi dalam mengikuti benda tersebut bergantung pada jarak dan keadaan awal. |
| 13. | Eye tracking in virtual reality | (Clay, König, & Koenig, 2019) | Kombinasi antara VR dan <i>eye-tracking</i> bekerja dengan baik dan mudah sehingga sangat mudah jika dipasangkan dengan <i>eye-gaze</i> manusia. |

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang prosedur atau urutan pelaksanaan penelitian. Proses ini berfungsi sebagai panduan untuk melakukan penelitian. Dengan demikian, dapat dilakukan secara metodis dan terarah untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan.

3.1. Objek dan Subjek Penelitian

Objek pada penelitian ini merupakan akurasi eye-gaze dalam melihat objek bergerak yang di rekam melalui eye-tracker Tobii Pro Nano.

Subjek penelitian ini merupakan sepuluh responden yang belum pernah melakukan eksperimen yang serupa sebelumnya. Responden berusia antara 21 hingga 32 tahun, dengan penyebaran lima orang perempuan dan lima orang laki-laki. Seluruh responden merupakan relawan untuk mengambil bagian dalam penelitian ini. Seluruh responden diwajibkan untuk melalui tes kemampuan mata sebagai syarat dalam mengikuti eksperimen dalam penelitian ini. Tes ketajaman untuk percobaan harus dilalui oleh setiap responden. Ambang batas maksimal parallax untuk semua responden tidak melebihi dari 60cm.

3.2. Desain Eksperimen

Desain eksperimental adalah aspek penting dari penelitian ini. Penelitian ini menggunakan 18 percobaan dengan tiga level lingkungan, dua level kecepatan, dan tiga level arah gerak sasaran. Rancangan eksperimen yang digunakan adalah *within subject-design*, yang mana semua responden akan mendapatkan setiap kondisi percobaan. Guna menghindari adanya *carryover effect* atau efek yang terjadi pada kondisi selanjutnya setelah dilakukan eksperimen pada suatu kondisi, maka urutan eksperimen dilakukan secara random. Dari penjelasan tersebut, desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini akan ditampilkan pada Tabel 3. 1 di bawah ini:

Tabel 3. 1 Desain Eksperimen

| Nomor | Faktor | Level | Keterangan |
|-------|-----------------------|-------|---|
| 1 | Tampilan Layar | 3 | Layar 3 Dimensi (0, 30, and 60 parallax) |
| 2 | Kecepatan benda | 2 | 5°/s, dan 25°/s |
| 3 | Arah gerak sasaran | 3 | Melingkar, horizontal, and vertikal |

3.3.Variabel Penelitian

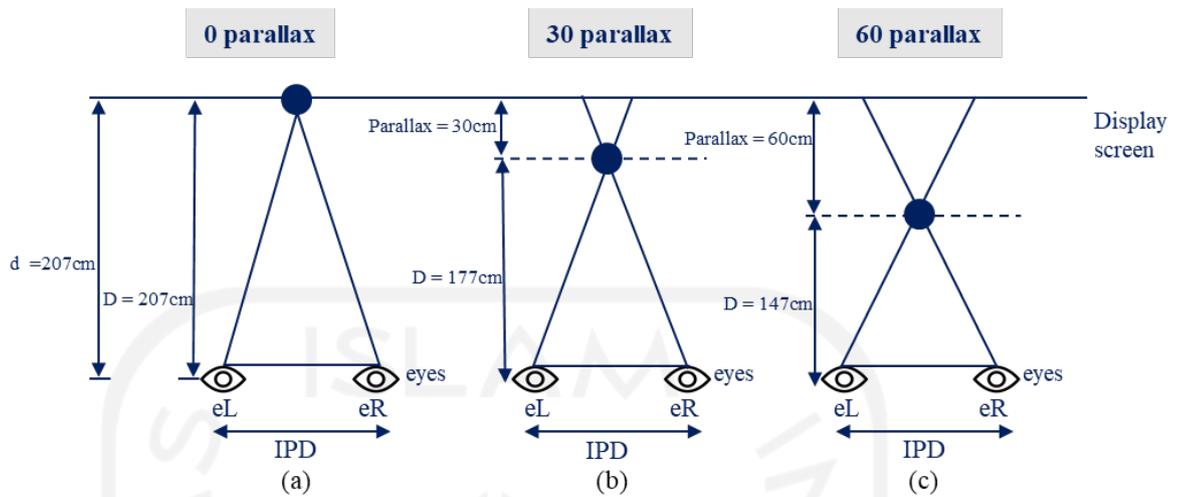
Terdapat dua jenis variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

3.3.1 Variabel Independen

Penelitian ini menggunakan tiga variabel bebas. Variabel bebas tersebut adalah lingkungan, kecepatan benda, dan arah gerak sasaran.

1. Lingkungan

Jarak sasaran objek dari responden ditampilkan dalam tiga level layar 3-dimensi. Pada layar 3-dimensi digunakan tiga jarak yang berbeda, pada 0 parallax (objek berada pada layar), 30 parallax (objek berada 30cm dari layar), dan 60 parallax (objek berada 60cm dari layar). Rumus dalam penentuan parallax diperlukan jarak antara pupil atau disebut dengan *interpupillary distance* (IPD). IPD mengacu pada jarak antara mata kiri dan kanan. IPD dalam penelitian ini menggunakan IPD konstan, yang biasanya diasumsikan 6,5 cm untuk orang dewasa (Woldegiorgis, Lin, & Liang, 2019) (Huang & Chen, 2018).



Gambar 3. 1 Ilustrasi dari level parallax (a) 0 Parallax (b) 30 Parallax (c) 60 Parallax

Parallax diatur untuk membuat bola virtual muncul pada posisi antara mata responden dan layar. Gambar bola dipisahkan secara horizontal menjadi dua gambar dan diproyeksikan ke layar. Agar bola muncul secara virtual pada parallax 0, 30 dan 60, pemisahan yang digunakan berdasarkan persamaan parallax di atas adalah pada Tabel 3. 2

Tabel 3. 2 Jarak benda pada layar

| Pengaturan tampilan layar 3D | Jarak |
|------------------------------|---------|
| Parallax 0 | 0 cm |
| Parallax 30 | -1.1 cm |
| Parallax 60 | -2.7 cm |

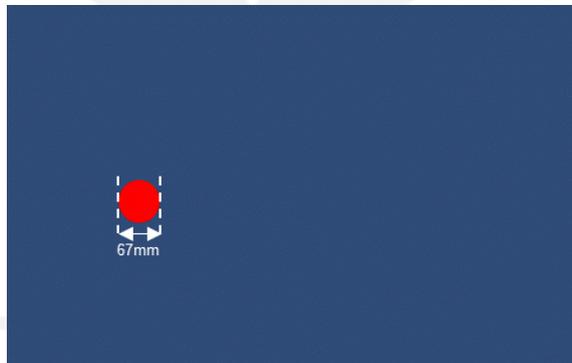
Jarak horizontal untuk dua bayangan yang diproyeksikan di layar adalah 0 cm, -1,1 cm dan -2,7 cm untuk benda secara virtual yang muncul masing-masing 0 cm, 30 cm dan 60 cm di depan layar. Pemisahan horizontal yang lebih besar (parallax) dari dua gambar di layar membawa gambar virtual lebih dekat ke mata responden.

2. Kecepatan benda

Benda yang bergerak biasanya dapat diikuti jika kecepatannya kurang dari $50^{\circ}/s$ (Sharpe, 2014). Namun demikian, untuk mendapatkan akurasi yang tinggi, kecepatannya harus kurang dari $30^{\circ}/s$. Menurut penelitian sebelumnya, *smooth pursuit* memperoleh keadaan stabil pada kecepatan $20-30^{\circ}/s$ (Buizza & Schmid, 1986) (Robinson, Gordon, & Gordon, 1986). Dengan demikian, kecepatan dikategorikan menjadi dua tingkatan yaitu $5^{\circ}/s$ sebagai gerak lambat dan $25^{\circ}/s$ sebagai gerak cepat untuk mengetahui kecepatan mana yang paling mudah untuk diikuti oleh mata manusia.

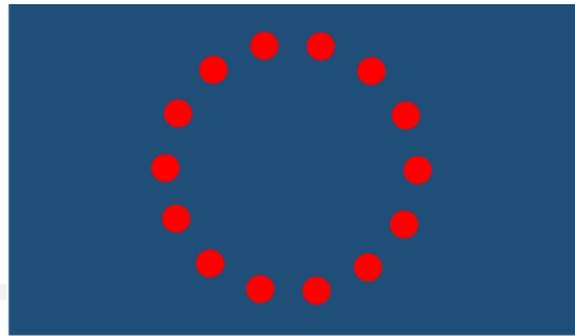
3. Arah gerak sasaran

Objek yang digunakan menggunakan bola berwarna merah dengan diameter 67mm dan digunakan untuk semua kondisi eksperimen. Latar belakang objek menggunakan warna biru tua agar kontras dengan warna objek. Objek yang sama juga digunakan dalam kalibrasi sebelum dilakukan pengambilan data. Visualisasi objek dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 2 di bawah ini.

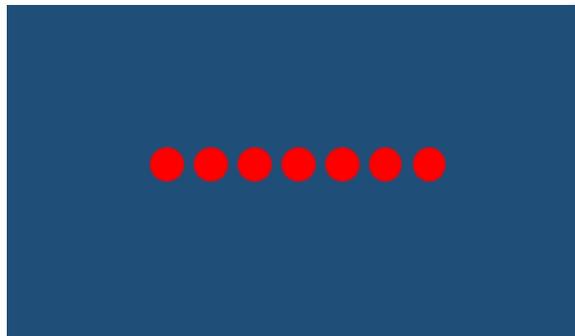


Gambar 3. 2 Ukuran benda pada layar

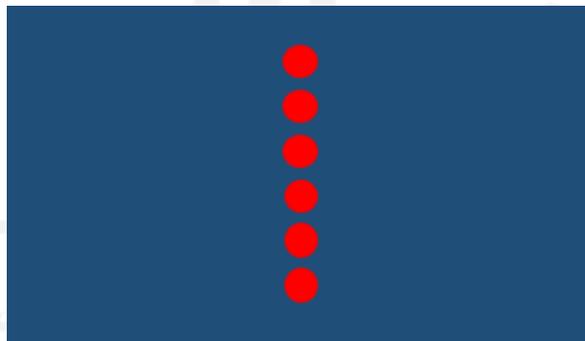
Terdapat tiga jenis arah gerak yaitu melingkar, horizontal, dan vertikal. Gerakan melingkar bergerak berlawanan arah jarum jam, gerakan horizontal bergerak dari sisi kiri ke sisi kanan, dan gerakan vertikal bergerak dari sisi atas layar ke bawah. Visualisasi arah gerak target seperti terlihat pada Gambar 3. 3 di bawah ini.



(a)



(b)



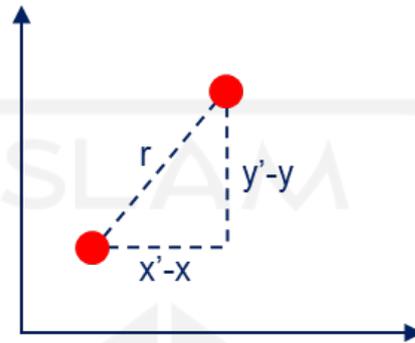
(c)

Gambar 3. 3 (a) gerak melingkar (b) gerak horizontal (c) gerak vertikal

3.3.2 Variabel Dependen

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah akurasi. Akurasi menurut Ooms et al (2015) dapat diukur dengan jarak antara lokasi fiksasi yang direkam dan lokasi sebenarnya dari proyeksi gambar. Sehingga pada penelitian ini pengukuran akurasi menggunakan jarak mata, kemudian jarak tersebut diubah ke dalam *visual angle*.

Jarak mata adalah nilai yang menunjukkan seberapa jauh jarak antara posisi teoritis dan posisi sebenarnya dari *eye-gaze* manusia. Cara menghitung jarak menggunakan Teorema Pythagoras seperti pada Gambar 3.4 dibawah.



Gambar 3. 4 Teorema Pythagoras

Berdasarkan Gambar 3.4, persamaan tersebut digunakan untuk menghitung jarak antara titik pandangan mata teoritis dan sebenarnya. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung akurasi dalam tampilan layar 3 dimensi dengan parallax 0, parallax 30, dan parallax 60.

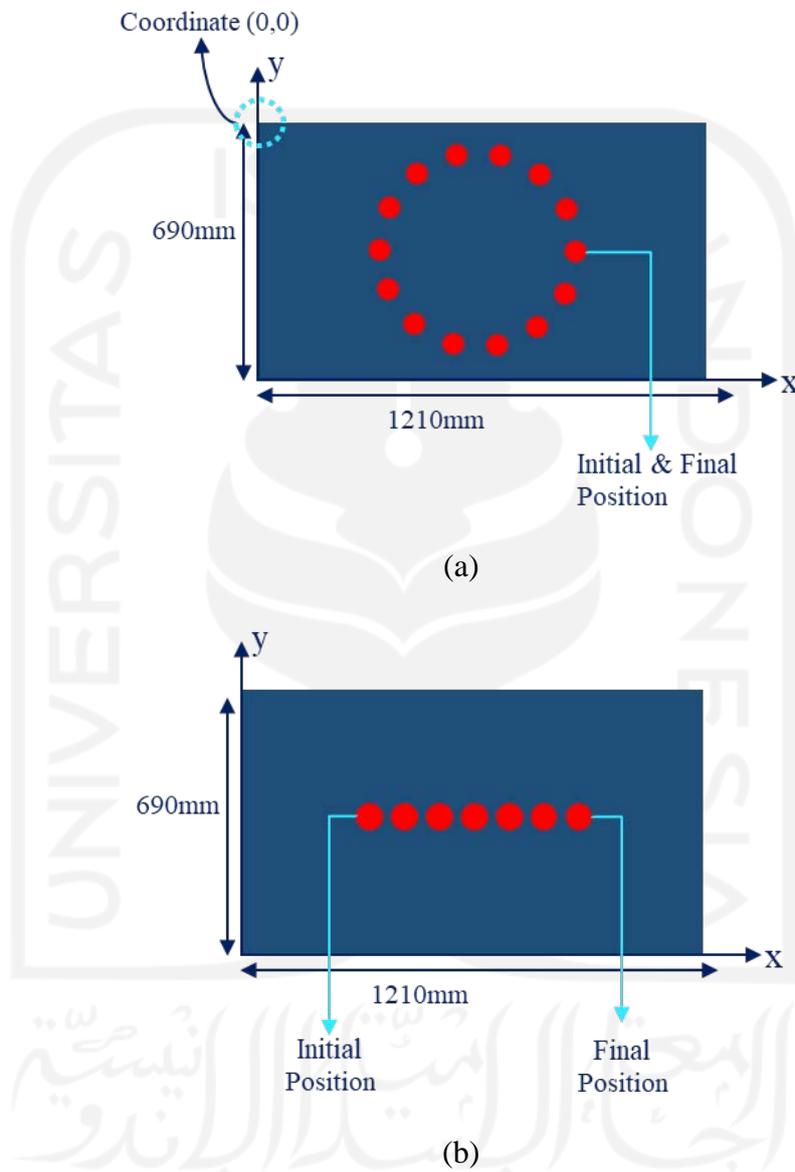
$$r = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}$$

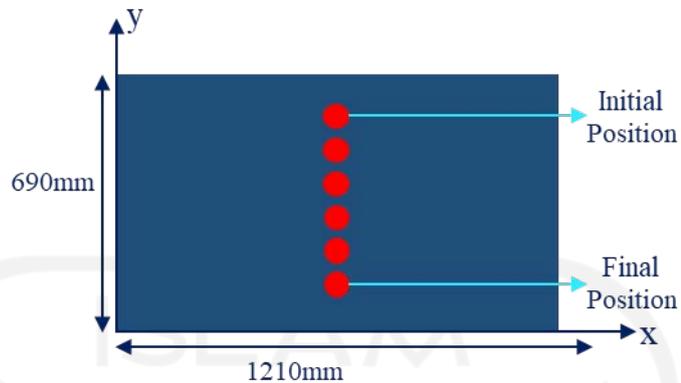
Dimana:

- r = jarak
- x' dan y' = posisi aktual
- x dan y = posisi teoritis

Posisi teoritis dihitung secara manual dengan mengukur objek di layar secara langsung. Parameter pada data teoritis disamakan dengan *eye-tracker* guna memudahkan dalam perhitungan jarak. Dari parameter Tobii *eye-tracker* Pro Nano, koordinat yang lebih rendah di layar akan memiliki nilai Y yang lebih tinggi. Dengan demikian, koordinat (0,0) berada di sudut kiri atas layar. Selain itu, koordinat Z diasumsikan sebagai parallax 30 dan parallax 60 adalah 300mm dan

600mm di depan layar. Posisi teoritis objek terlihat seperti pada Gambar 3. 5 di bawah ini.

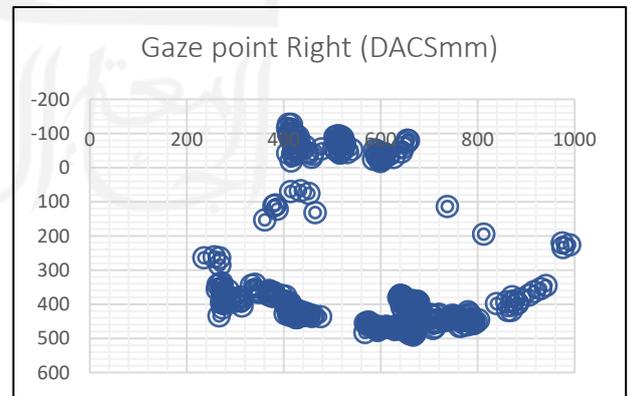
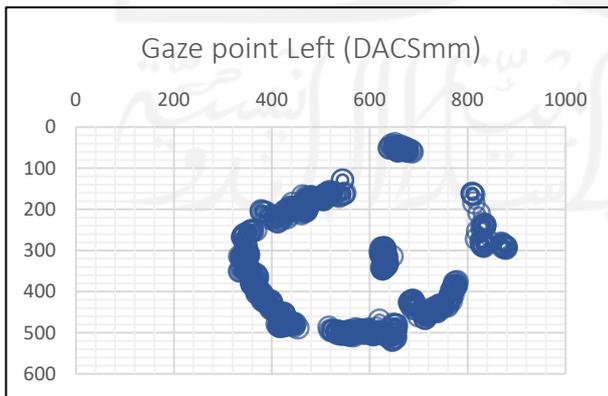




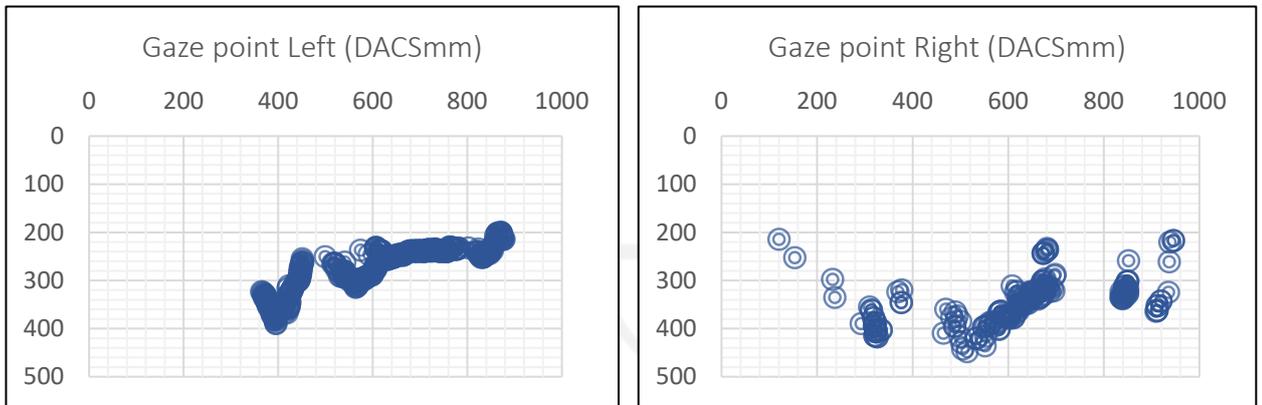
(c)

Gambar 3. 5 Posisi teoritis pada layar (a) melingkar (b) horizontal (c) vertical

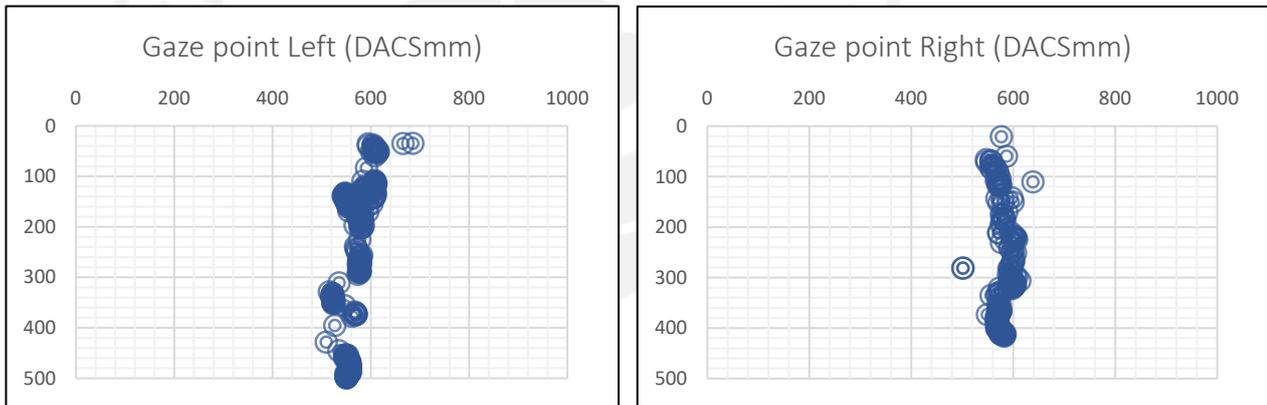
Data aktual diperoleh dari *eye-tracker*. Data yang digunakan adalah data *eye-gaze* mata kiri X, Y (DACSmm); data *eye-gaze* mata kanan X, Y (DACSmm) yang mewakili koordinat x dan y. DACSmm merupakan koordinat sistem yang digunakan untuk *screen-based* sistem guna menunjukkan data *eye-gaze* yang berasal dari *eye-tracker*. Data *eye-gaze* harus dilakukan filtrasi berdasarkan validitas dan klasifikasi data. Sehingga, hanya data fiksasi yang digunakan untuk menghitung akurasi. Representasi pada data aktual yang telah dilakukan filtrasi dapat ditunjukkan pada Gambar 3. 6 dan Gambar 3. 7 di bawah ini.



(a)

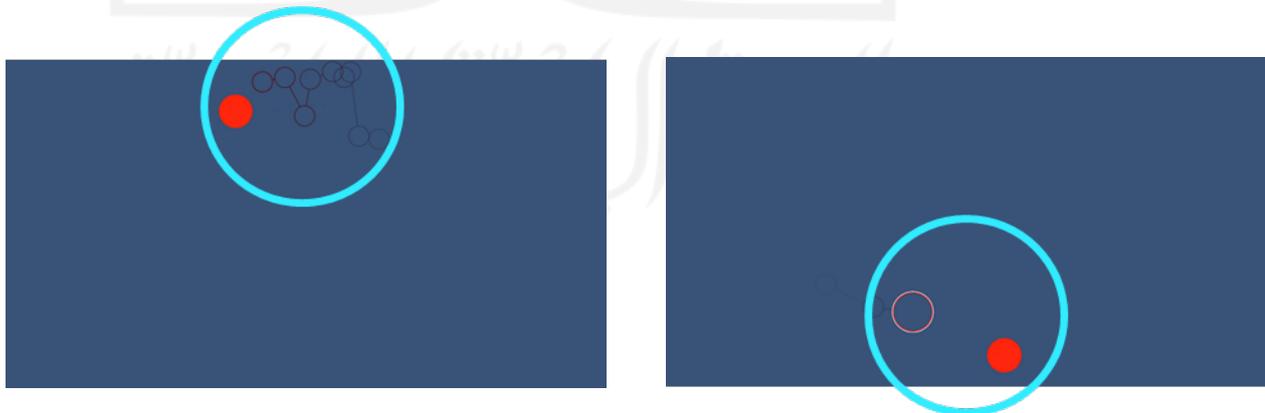


(b)



(c)

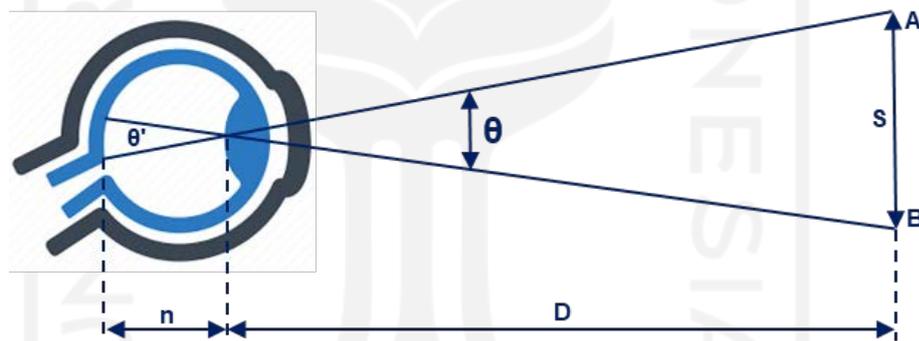
Gambar 3. 6 Visualization of the human gaze on (a) Circular motion (b) Horizontal motion (c) Vertical motion



Gambar 3. 7 Visualisasi jarak antara data teoretis dan data aktual

Gambar 3. 7 merupakan visualisasi dari jarak yang terjadi antara titik berdasarkan *eye-gaze* dan titik objek secara teoritis. Bola berwarna merah pada gambar merupakan objek yang muncul saat melakukan eksperimen, kemudian terdapat lingkaran berwarna abu-abu muda dan abu-abu tua yang merupakan representatif dari *eye-gaze* manusia. Jarak yang digunakan dalam perhitungan merupakan jarak antara titik tengah bola berwarna merah dan titik tengah lingkaran yang berada disekitar bola tersebut.

Setelah jarak antara data teoritis dan data aktual dihitung, selanjutnya dihitung *visual angle*. *Visual angle* didefinisikan sebagai sudut di mana objek yang dilihat mengarah ke mata, dinyatakan dalam satuan derajat busur. Komponen yang digunakan untuk menghitung *visual angle* meliputi ukuran objek pada jarak pandang tertentu (Swearer, 2011). Gambar 3. 8 menunjukkan ilustrasi *visual angle*.



Gambar 3. 8 Ilustrasi *visual angle*

Jarak pandang dari ilustrasi *visual angle* dapat diukur dengan menggunakan jarak vertikal atau horizontal. Persamaan untuk menghitung *visual angle* ditunjukkan pada Persamaan 2 di bawah ini.

$$\theta = 2 \arctan \left(\frac{S}{2D} \right)$$

Dimana:

θ : *visual angle*

S : Ukuran benda

D : Jarak pandang antara mata dengan benda

3.4. Hipotesis

Sebelum melakukan percobaan, hipotesis berikut dibuat berdasarkan penelitian sebelumnya. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki kinerja benda bergerak dalam tampilan stereoskopik. Dalam lingkungan 2D, objek yang bergerak secara vertikal memiliki akurasi yang lebih baik. Selain itu, Akurasi dipengaruhi oleh kecepatan di mana target kecepatan tinggi memiliki akurasi yang lebih rendah daripada target kecepatan rendah (Mcilreavy, Freeman, & Erichsen, 2019). Selain itu, dalam lingkungan 3D yang bersifat parallax yang dapat menyebabkan penilaian jarak jauh (Lin C. J., Woldegiorgis, Caesaron, & Cheng, 2015). Parallax mempengaruhi akurasi fiksasi mata dalam tugas-tugas stereoskopik, akurasi meningkat pada parallax bawah (Lin & Widyaningrum, 2018). Dengan demikian, hipotesis berdasarkan pengukuran *eye-tracker* adalah parallax, kecepatan dan benda yang bergerak memberikan efek akurasi.

3.5. Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan untuk menjalankan eksperimen. Ada Tobii *eye-tracker*, NVIDIA 3D, dan 3D TV display.

3.7.1 Peralatan

Responden dalam penelitian ini mengenakan Kacamata 3D Sony TDG-BT400A yang digunakan untuk melihat benda maya pada tampilan stereoskopik. Kacamata ini dihubungkan dengan NVIDIA IR Emitter, personal computer Asus MD800 Core i7-7700 dan Sony 3D TV Bravia dengan spesifikasi 55in, 1080p, LED, dan rasio 16:9. Lingkungan realitas virtual ditampilkan di TV 3D pada PC Asus. PC Asus diinstal dengan perangkat lunak Unity 3D untuk mengembangkan tugas eksperimental, kemudian untuk menampilkan objek 3D, PC diinstal perangkat lunak NVIDIA. Gambar 3. 9, Gambar 3. 10. Gambar 3. 11 dan Gambar 3. 12 , menunjukkan objek fisik untuk membantu dalam memunculkan gambar stereoskopik.



Gambar 3. 9 Sony TDG-BT400A 3D Glasses

Sumber: (Webuy, 2015)



Gambar 3. 10 IR-Emitter NVIDIA

Sumber: (Hardwidge, 2011)



Gambar 3. 11 Sony 3D TV Bravia

Sumber: (DisplayDB, 2014)



Gambar 3. 12 PC Asus MD800 Core i7-7700

Sumber: (Ruten, 2020)

Aspek kritis dalam penelitian ini adalah bagaimana merekam pandangan mata responden saat mengikuti objek yang bergerak. Perangkat *eye-tracker* diproduksi oleh Tobii dengan nomor seri Pro Nano. *Eye-tracker* terhubung dengan Lenovo Ideapad 320 core i5 untuk merekam dan menampilkan rekaman data. Perekaman data dilakukan dengan software Tobii Pro Lab versi 1.111.20660 dengan kecepatan sampling 60 Hz. Filter fiksasi yang digunakan di Tobii Pro Lab adalah Velocity-Threshold Identification (I-VT) (Salvucci & Goldberg, 2000).



Gambar 3. 13 Tobii Eye-Tracker Pro Nano

Sumber: (Tobiipro, 2021) (Lin & Widyaningrum, 2018)

Gambar 3. 13 menunjukkan Tobii *Eye-Tracker* Pro Nano yang digunakan untuk merekam *eye-gaze* responden. *Sampling rate* yang digunakan dari *eye-tracker* adalah 60Hz atau 60 data pada setiap detik. Posisi *eye-tracker* berada 60cm di depan mata responden. Selama eksperimen, responden menggunakan *chinrest* agar posisi mata tidak berubah selama eksperimen. *Chinrest* yang digunakan adalah Medical Chin rest dari perusahaan Topcon seperti terlihat pada Gambar 3. 14.

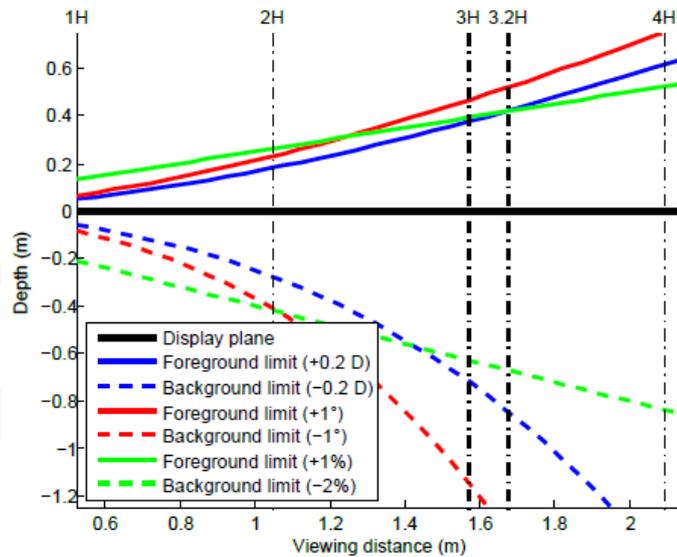


Gambar 3. 14 *Chin rest*

3.7.2 Kondisi Eksperimen

Ruang percobaan dilakukan di ruang 3,73m x 3m yang berada di laboratorium penelitian MA005, Gedung Manajemen Industri di National Taiwan University of Science and Technology. Tirai berwarna hitam menutupi ruang percobaan guna mencegah cahaya dan menciptakan lingkungan 3D dengan kualitas yang baik.

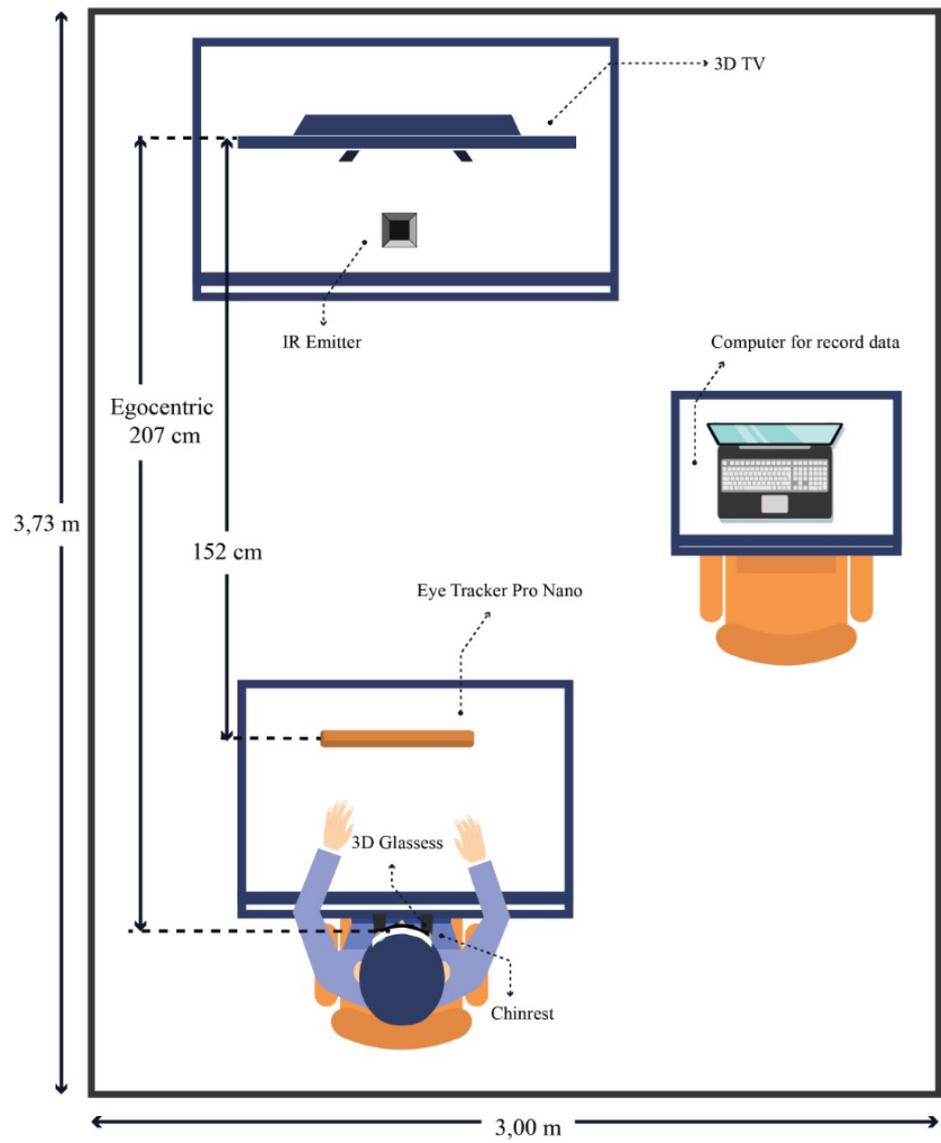
Jarak egocentric diperoleh dari perhitungan jarak pandang zona nyaman adalah $3H$ (Urvoy, Barkowsky, & Callet, 2013) seperti terlihat pada Gambar 3. 15. H merupakan tinggi layar yang digunakan. Perhitungan digunakan untuk TV 3D dengan 55inch. Tampilan layar ditempatkan 207cm dari responden. Selanjutnya, objek virtual ditempatkan maksimal 147cm di depan layar, yang berarti masih berada di bawah jarak pandang zona nyaman.



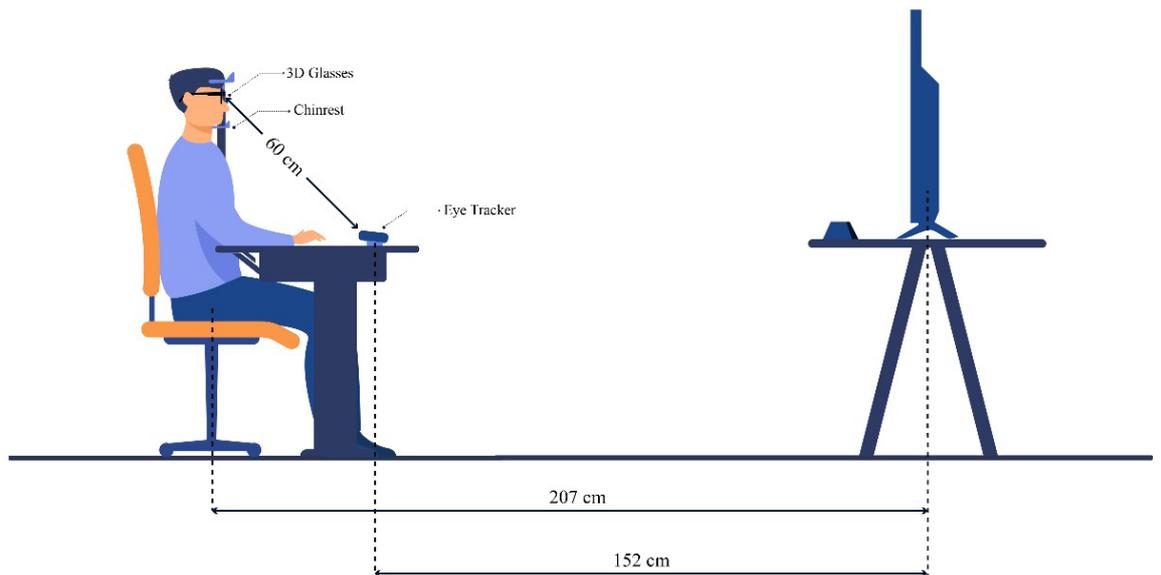
Gambar 3. 15 Jarak nyaman dalam Melihat Layar

Sumber: (Urvoy, Barkowsky, & Callet, 2013).

Eye-tracker terletak 60cm di depan responden. responden menggunakan *chin rest* untuk memastikan posisi mereka tidak bergerak selama eksperimen. Para responden juga dapat menyesuaikan ketinggian tempat duduk mereka guna memberikan kenyamanan selama melakukan eksperimen. Tata letak ruangan dan kondisi percobaan ditunjukkan seperti pada Gambar 3. 16 dan Gambar 3. 17 di bawah ini:



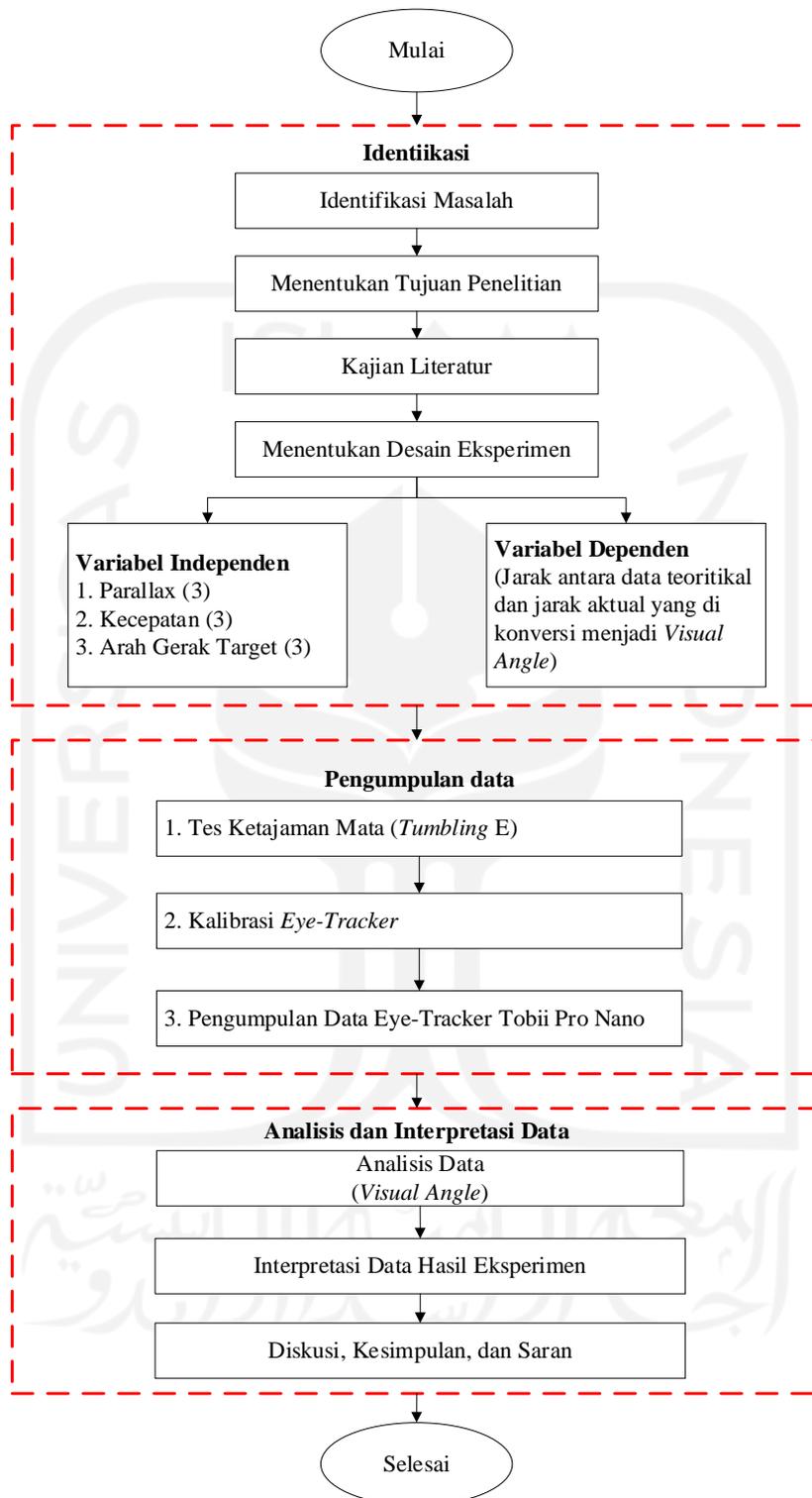
Gambar 3. 16 Layout dari sisi atas



Gambar 3. 17 Layout dari sisi kanan

3.6. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi ke dalam tiga bab: identifikasi, eksperimen & pengumpulan data, dan analisis & interpretasi.



Gambar 3. 18 Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah. Masalah yang diidentifikasi terkait dengan identifikasi objek bergerak pada tampilan layar stereoskopik. Setelah masalah diidentifikasi, dibuat rumusan masalah dan tinjauan pustaka. Tinjauan pustaka dilakukan untuk mendapatkan dasar teori, metode yang digunakan dan penelitian pendukung dari penelitian-penelitian sebelumnya yang memiliki topik serupa. Sumber literature review berasal dari jurnal dan website yang mendukung penelitian ini. Kemudian, eksperimen dirancang sebelum dijalankan untuk

Tahapan selanjutnya adalah pengumpulan data, dan desain eksperimen kemudian dijalankan. Pada tahapan ini responden memasuki ruang percobaan dan mengisi formulir persetujuan. Setelah mengisi formulir persetujuan, responden harus melakukan tes ketajaman menggunakan Freiburg Visual Acuity Test. Freiburg Visual Acuity Test menggunakan metode psikometrik yang dikombinasikan dengan anti-aliasing dan dithering untuk memberikan penilaian ketajaman dan sensitivitas visual secara otomatis (Bach, 1996). Pengujian menggunakan uji tumbling E sebagai objek dengan empat arah (kanan, kiri, atas, dan bawah). Responden harus menyebutkan arah sesuai dengan petunjuk huruf E, jika responden lulus tes, peneliti memberikan instruksi untuk duduk di kursi yang bisa diatur dan memakai kacamata 3D Sony. Jika responden tidak lulus tes, peneliti akan mencari responden lain yang memenuhi kriteria sampai jumlah responden sepuluh. Responden juga mendapatkan instruksi untuk menjaga kepala mereka tetap di atas dagu.

Pada tahap pertama percobaan, responden melakukan kalibrasi untuk memastikan *eye-tracker* Tobii dapat mendeteksi gerakan mata responden. Pengaturan kalibrasi reguler didapat dari bawaan Tobii *eye-tracker* yang terhubung dengan software Tobii Pro Lab. Kalibrasi menggunakan lima titik merah untuk menangkap pandangan mata responden secara teropong. Responden perlu melihat titik-titik setepat mungkin sampai titik-titik menghilang. Eksperimen dapat dilanjutkan jika kualitas kalibrasi baik.

Dalam penelitian ini, responden diinstruksikan untuk mengikuti objek bergerak seakurat mungkin di lingkungan 3 dimensi dengan tiga parallax yang berbeda.

Benda-benda yang bergerak diatur dalam tiga kecepatan yang berbeda dan tiga arah gerak yang berbeda. Terdapat 18 kondisi kombinasi dalam penelitian ini dan responden harus menyelesaikan semua kondisi percobaan secara acak. Dalam setiap percobaan berlangsung 30 detik dan responden akan mendapatkan satu menit istirahat. Total waktu setiap responden, termasuk pengisian formulir persetujuan, instruksi, proses kalibrasi, percobaan, dan istirahat, memakan waktu sekitar 60 menit. Dalam percobaan ini, diperlukan 10 responden.

Analisis akan diidentifikasi dari data yang telah dikumpulkan dan diolah pada tahap sebelumnya. Sedangkan interpretasi bertujuan untuk memperjelas dan memahami data secara lebih rinci dari teori-teori yang telah diperoleh sebelumnya untuk evaluasi. Analisis dan interpretasi data penelitian ini akan memberikan penjelasan yang mendalam. Berdasarkan hasil tersebut, peneliti dapat membuat kesimpulan dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan pandangan mata manusia terhadap objek bergerak dalam tampilan stereoskopik. Ini termasuk mempelajari seberapa baik kinerja tatapan mata ketika objek dari arah gerakan yang berbeda, lingkungan yang berbeda dan kecepatan yang berbeda. Tiga level lingkungan eksperimental (3D dengan 0 parallax, 3D dengan 30 parallax, 3D dengan 60 parallax), dua tingkat kecepatan (5 °/s dan 25 °/s), dan tiga tingkat arah gerak (melingkar, horizontal, vertikal). Dengan demikian, setiap responden memiliki 18 set data yang dikumpulkan dari 10 responden. Bagian ini menjelaskan pengumpulan dan analisis data dari ANOVA ukuran berulang dan analisis variabel independen dan interaksinya.

4.1 Profil Responden

Profil responden berisikan informasi data diri yang dibutuhkan guna menunjang penelitian ini. Profil responden didapatkan dari pengisian formulir persetujuan langsung dari responden sebelum dilakukan pengambilan data. Adapun jumlah responden yang diperoleh sebanyak 10 responden dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Profil Responden

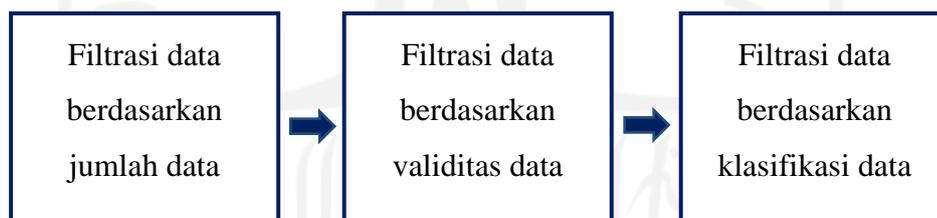
| Responden ke- | Usia (tahun) | Jenis Kelamin | Kondisi Mata |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 22 | Perempuan | Normal |
| 2 | 26 | Laki-laki | Normal |
| 3 | 26 | Laki-laki | Normal |
| 4 | 27 | Laki-laki | Normal |
| 5 | 25 | Perempuan | Normal |
| 6 | 32 | Perempuan | Normal |
| 7 | 23 | Perempuan | Normal |
| 8 | 23 | Laki-laki | Normal |

| Responden ke- | Usia (tahun) | Jenis Kelamin | Kondisi Mata |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 9 | 21 | Laki-laki | Normal |
| 10 | 24 | Perempuan | Normal |

Tabel 4. 1 profil responden diatas berisikan data yang disyaratkan untuk dapat menjadi responden. Keseluruhan responden berjenis kelamin laki-laki dan perempuan dan memiliki rentang usia 21 hingga 32 tahun, dengan rata-rata usia 24,9 tahun dan standar deviasi sebesar 3,14 tahun. Kondisi mata keseluruhan responden seluruhnya telah memenuhi syarat yaitu mata normal. Selain itu, eksperimen dilakukan secara random mengikuti masing-masin skenario eksperimen.

4.2 Pengumpulan Data

Data eksperimen dibagi menjadi dua, data teoritis dan data aktual dari *eye-tracker*. Data yang diperoleh dari *eye-tracker* harus dilakukan filtrasi menggunakan excel sebelum menghitung jarak dan *visual angle*. Terdapat tiga langkah untuk mendapatkan data akhir, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 1



Gambar 4. 1 Filtrasi Data

Untuk menyinkronkan jumlah data dalam suatu kerangka waktu, total data antara data teoritis dan aktual harus memiliki jumlah yang sama. Total data diubah dari detik menjadi kerangka waktu. *Sampling rate* yang digunakan dari *eye-tracker* adalah 60Hz, yang artinya terdapat 60 *frame* data dalam satu detik. Jumlah data pada masing-masing jenis objek ditunjukkan pada Tabel 4. 2 di bawah ini.

Tabel 4. 2 Jumlah data pada setiap stimulus

| Jenis Gerakan | Kecepatan (°/s) | Waktu (detik) | Jumlah data |
|---------------|-----------------|---------------|-------------|
| Melingkar | 5 | 25.3 | 1518 |
| | 25 | 5.4 | 324 |
| Horizontal | 5 | 23.75 | 1425 |
| | 25 | 5.25 | 305 |
| Vertikal | 5 | 23.75 | 1425 |
| | 25 | 5.25 | 315 |

Setelah dilakukan penyaringan data dari jumlah datanya, maka data tersebut akan disaring berdasarkan validitas dan klasifikasi datanya. Data yang disediakan oleh *eye-tracker* memiliki dua jenis validitas data (valid dan tidak valid) dan tiga jenis data klasifikasi (*fixation*, *saccade*, dan tidak terdefinisi). Data yang digunakan adalah data fiksasi yang valid.

4.3 Uji Statistik *Visual Angle*

Repeated-measures ANOVA (rmANOVA) digunakan untuk menganalisis hasil penelitian ini. rmANOVA memiliki asumsi uji Sphericity menggunakan uji Mauchly. Berdasarkan *rule of thumb*, jika signifikansi uji Mauchly untuk Sphericity lebih besar dari 0,05 maka menggunakan asumsi Sphericity. Sebaliknya, jika signifikansinya lebih kecil dari 0,05, maka lihat pada kolom berlabel Greenhouse-Geisser Epsilon dan jika nilainya < 0,75 maka gunakan hasil Greenhouse-Geisser, jika nilainya > 0,75 gunakan hasil Huynh-Feldt (Field, 2013). Uji post hoc dilakukan menggunakan Tukey's HSD dengan $\alpha = 0,05$ ketika hasil rmANOVA menunjukkan pengaruh yang signifikan.

Tabel 4. 3 Ringkasan hasil repeated measures ANOVA untuk *Visual Angle* pada mata kiri

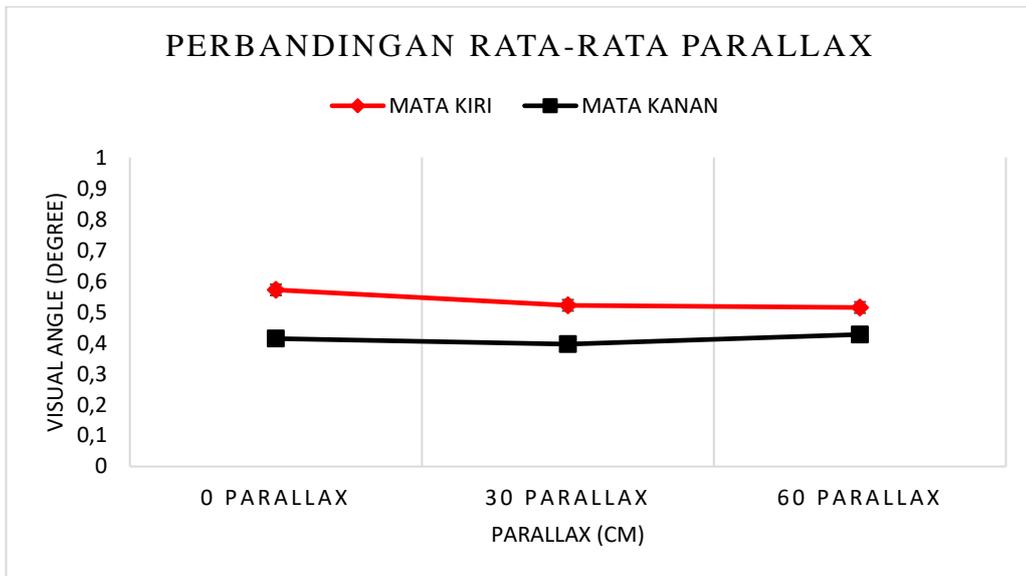
| Source | SS | Df | MS | F | Sig. |
|----------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Parallax | 0.061 | 2, 18 | 0.030 | 1.284 | 0.301 |
| Velocity | 13.768 | 1, 9 | 13.768 | 65.169 | 0.000 |
| Motion | 5.188 | 2, 18 | 2.594 | 31.769 | 0.000 |

| Source | SS | Df | MS | F | Sig. |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Parallax*Velocity | 0.051 | 2, 18 | 0.025 | 1.098 | 0.355 |
| Parallax*Motion | 0.024 | 4, 36 | 0.006 | 0.400 | 0.807 |
| Velocity*Motion | 1.904 | 2,18 | 0.952 | 10.888 | 0.001 |
| Parallax*Velocity*Motion | 0.031 | 2.660 | 0.012 | 0.478 | 0.679 |

Tabel 4. 4 Ringkasan hasil repeated measures ANOVA untuk *Visual Angle* pada mata kanan

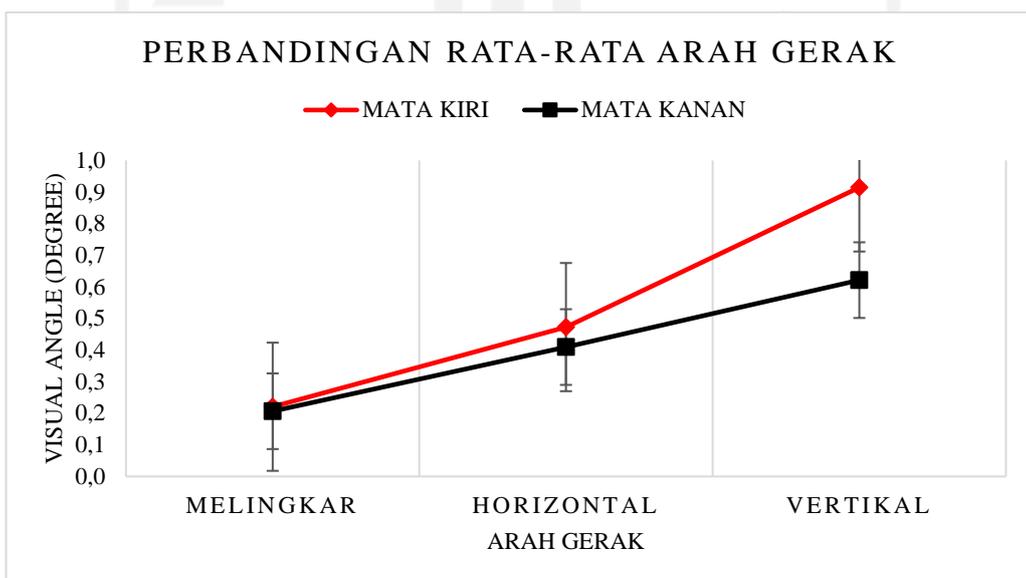
| Source | SS | Df | MS | F | Sig. |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Parallax | 0.008 | 2, 18 | 0.004 | 0.222 | 0.803 |
| Velocity | 9.200 | 1, 9 | 9.200 | 26.612 | 0.001 |
| Motion | 3.587 | 2, 18 | 1.793 | 19.879 | 0.000 |
| Parallax*Velocity | 0.002 | 2, 18 | 0.001 | 0.077 | 9.26 |
| Parallax*Motion | 0.008 | 4, 36 | 0.003 | 0.131 | 0.908 |
| Velocity*Motion | 1.428 | 2, 18 | 0.714 | 8.092 | 0.003 |
| Parallax*Velocity*Motion | 0.002 | 3.459 | 0.001 | 0.042 | 0.993 |

Hasil uji statistik rmANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara gerak melingkar, horizontal, dan vertikal pada mata kiri dengan $F(2;18) = 31.769$; $p < ,000$ seperti terlihat pada Tabel 4. 2. Selain itu pada mata kiri terdapat perbedaan yang signifikan antara kecepatan 5°/s dan 25°/s dengan $F(1;9) = 65.169$; $p < ,000$. Mata kanan juga menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara gerak melingkar, horizontal, dan sirkular dengan $F(2;18) = 19.879$; $p < 0,000$ (seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 3). Mata kanan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kecepatan 5°/s dan 25°/s dengan $F(1;9) = 26.612$; $p < ,001$. Hasil uji Tukey HSD menunjukkan hasil yang signifikan antara gerak melingkar, gerak horizontal, dan gerak vertikal. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa arah vertikal lebih akurat dan didukung oleh hasil uji statistik.



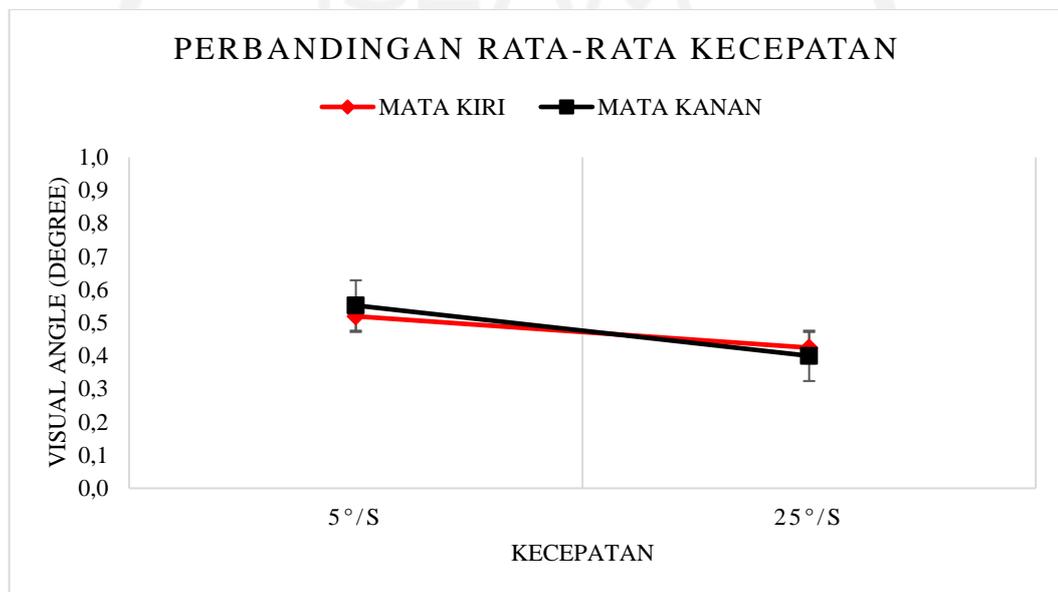
Gambar 4. 2 Perbandingan rata-rata Variabel Parallax

Pada Gambar 4. 2 diatas menunjukkan rata-rata visual angle pada layar 3 dimensi dengan parallax yang berbeda-beda. Dalam layar 3 dimensi dengan penyesuaian parallax 0 (objek pada layar), parallax 30 (objek 30cm di depan layar), dan parallax 60 (objek 60cm di depan layar). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh jarak objek terhadap keakuratan visual angle pada objek yang bergerak.



Gambar 4. 3 Perbandingan rata-rata Variabel Arah Gerak

Gambar 4. 3 menunjukkan rata-rata *visual angle* dalam tiga level arah gerak, melingkar, horizontal, dan vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gerakan vertikal memiliki akurasi yang lebih tinggi, diikuti oleh gerakan horizontal dan melingkar. Hal ini menunjukkan bahwa mata manusia tidak dapat mengikuti gerak melingkar dengan baik.



Gambar 4. 4 Perbandingan rata-rata Variabel Kecepatan

Gambar 4. 4 menunjukkan rata-rata *visual angle* dalam kecepatan yang berbeda (5°/s, dan 25°/s). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan mempengaruhi akurasi *visual angle*. *Visual angle* pada 0,4 derajat untuk mata kanan dan 0,5 derajat untuk mata kiri.

4.4 Uji Statistik Independent Sample T-Test

Uji Statistik Independent sample t-test digunakan untuk membandingkan *visual angle* antara mata kiri dan mata kanan. Uji independent sample t-test diasumsikan dengan Levene's Test for Equality of Variances. Ini adalah asumsi dari uji t sampel independen bahwa kedua sampel memiliki varians yang sama. Rangkuman independent sample t-test ditunjukkan pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Hasil Independent Sample T-Test

| Source | F | t | Df | MD | Sig. |
|--------------|-------|-------|-----------------|--------|-------|
| Visual Angle | 1.445 | 1.916 | 358, 356.175 | 0.7991 | 0.230 |

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *visual angle* mata kanan lebih rendah ($0,50 \pm 0,38^\circ$) dibandingkan dengan mata kiri ($0,58 \pm 0,40^\circ$), perbedaan rata-rata 0,79 (95% Confidence Interval, 0,02 hingga 0,16) derajat, $t(358) = 1.916$, $p = 0,056$. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa mata kanan dan mata kiri tidak memiliki perbedaan yang signifikan.



BAB V

PEMBAHASAN

Penelitian ini dirancang untuk menguji pengaruh arah gerak, layar 3 dimensi dengan jarak yang berbeda dan kecepatan yang berbeda. Hasil dari uji statistik dilaporkan pada Bab 5. Bab ini bertujuan untuk membahas implikasi dan kontribusi dari penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan *within-subject design* dengan tiga level layar 3 dimensi, dua level kecepatan, dan tiga level arah gerak. Selama percobaan, sepuluh subjek berpartisipasi dan diinstruksikan untuk mengikuti gerakan benda bergerak. Objek muncul dengan bola merah dalam gerakan dan kecepatan yang berbeda pada tiap-tiap kondisi.

Hasil dari rmANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada variabel arah gerak dan kecepatan. Untuk melakukan verifikasi hipotesis, digunakan parameter *visual angle* yang telah dihitung dari data *eye-tracker*. Hasil dari *visual angle* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada variabel arah gerak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arah gerak vertikal lebih akurat dengan rata-rata *visual angle* $0,91^{\circ}$ untuk mata kiri dan $0,62^{\circ}$ untuk mata kanan. Pada gerak horizontal dan melingkar berturut-turut adalah $0,4^{\circ}$ dan $0,2^{\circ}$ untuk mata kiri dan kanan. Hasil tersebut mendukung hipotesis bahwa gerakan vertikal memiliki akurasi yang lebih baik daripada gerakan lainnya. Hasil uji tersebut sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pandangan mata manusia memiliki akurasi yang lebih baik saat mengikuti objek bergerak secara vertikal (McIlreavy, Freeman, & Erichsen, 2019). Sedangkan, pada gerak melingkar, mata manusia tidak dapat mengejar objek dengan baik, karena mata sibuk melakukan pengamatan pada seluruh layar sehingga area fokus penglihatan responden terlalu luas. Berbeda dengan gerakan horizontal dan vertikal yang hanya fokus pada beberapa bagian layar, meskipun dalam kecepatan paling rendah. Dari hasil uji statistik, gerak vertikal memiliki akurasi yang paling baik dibandingkan dengan gerak melingkar dan horizontal, hal ini juga dapat disebabkan oleh gravitasi.

Berdasarkan hasil rmANOVA, terdapat perbedaan yang signifikan dari variabel kecepatan. Kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5°/s dan 25°/s yang masih termasuk dalam gerakan mata pengejaran halus atau disebut *smooth pursuit eye movement*. Dalam hal ini, fungsi dari kecepatan lambat adalah untuk mendapatkan akurasi yang tinggi. Namun, sistem pengejaran yang mulus tidak dapat mengatur kecepatan mata, sehingga hasil akurasinya kurang baik (de Xirvy & Lefevre, 2007). Hasil ini sejalan dengan penelitian dari (Buizza & Schmid, 1986; Robinson, Gordon, & Gordon, 1986), yang menyatakan bahwa kecepatan kurang dari 30°/s akan mendapatkan akurasi yang tinggi. Selama percobaan, beberapa responden merasa bosan pada skenario dengan kecepatan rendah, hal ini membuat responden merasa lebih lelah jika dibandingkan dengan skenario kecepatan tinggi. Walaupun responden merasa lelah, mereka tetap dapat mengikuti pergerakan benda yang bergerak karena waktu percobaan yang relatif cepat. Selain itu, kebosanan yang dirasakan responden dapat disebabkan oleh faktor eksternal, seperti usia, budaya, dan kondisi kognitif (Kim, Seo, & Laine, 2018). Dengan demikian, perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar terhadap akurasi meskipun pada uji statistik memiliki perbedaan yang signifikan.

Variabel parallax tidak menunjukkan adanya perbedaan berdasarkan hasil uji statistik rmANOVA. Hasil penelitian ini bertentangan dengan penelitian dari (Lin & Widyaningrum, 2018) bahwa pada tampilan layar stereoskopik, parallax berdampak pada akurasi fiksasi mata. Akurasi tertinggi didapatkan ketika objek diproyeksikan ke layar, yang artinya berada pada parallax 0. Kemungkinan penyebab kondisi ini salah satunya adalah karena penelitian ini menggunakan kacamata 3D yang sudah cukup lama dalam proyeksi gambar 3D, yaitu kemampuan untuk memberikan gambar 3D mengalami penurunan. Kacamata 3D yang digunakan mengalami *blinking* saat digunakan dalam mode 3D. Perbedaan kondisi peralatan menjadi salah satu keterbatasan dalam penelitian ini. Namun selain itu, saat membuat tampilan layar stereoskopis, sebaiknya meletakkan objek sedekat mungkin dengan layar atau pada kondisi mendekati parallax nol untuk menghindari konflik antara akomodasi dan konvergensi (Kim G. J., 2005; Lin & Widyaningrum,

2018). Efek ini juga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penelitian selanjutnya guna dapat mengukur secara tepat posisi sebenarnya dari objek virtual.

Mengenai hasil *visual angle* yang telah diuji, beberapa hasil menunjukkan bahwa rata-rata *visual angle* antara mata kanan dan mata kiri memiliki pola, bahwa mata kiri memiliki *visual angle* yang lebih tinggi. Hasil ini terjadi hampir pada semua variabel, yaitu arah gerak, layar stereoskopik dan juga kecepatan. Oleh karena itu, fenomena tersebut dapat diuji dengan Independent T-Test untuk mengetahui perbedaan antara mata kiri dan mata kanan.

Hasil uji statistik dari perbedaan mata kiri dan mata kanan menyatakan bahwa tidak memiliki perbedaan. Faktor yang mendasari hal tersebut salah satunya sepuluh responden yang mengikuti eksperimen adalah memiliki dominan tangan kanan. Orang yang tidak kidal lebih cenderung menjadi dominan mata kanan, meskipun orang yang tidak kidal mungkin juga dominan mata kiri (Mcmanus, 1999). Hubungan antara mata dominan dan akurasi adalah mata dominan dapat memberikan sedikit lebih banyak input ke korteks visual otak sehingga dapat menyampaikan informasi yang lebih akurat, seperti lokasi virtual objek. Namun, dominasi mata individu bervariasi. Satu orang mungkin memiliki dominasi yang kuat di satu mata dan dominasi yang lebih lemah di mata lainnya. Selain itu, mata kanan dan kiri bergerak berlawanan arah untuk dapat fokus pada letak benda maya yang kemudian bayangan akan dibawa ke fovea. Hal ini diduga sebagai akomodasi dan konvergensi di lokasi munculnya objek virtual. Kemudian, lensa akan mempertahankan fokus pada lokasi virtual objek untuk gambar yang lebih jelas (Lin & Widyaningrum, 2018). Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa arah gerak dan kecepatan dapat menjadi parameter potensial untuk dipertimbangkan dalam merancang tugas yang efektif untuk meningkatkan kegunaan tampilan pada layar stereoskopik khususnya yang berhubungan dengan objek bergerak.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis hubungan antara gerakan mata manusia dengan benda bergerak pada lingkungan 3 dimensi. Berdasarkan data hasil eksperimen menunjukkan bahwa arah gerak dan kecepatan memiliki perbedaan yang signifikan dengan *visual angle*. Berdasarkan tiga arah gerak, gerak vertikal memiliki ketelitian yang paling tinggi karena area fokus mata manusia saat melihat benda bergerak secara vertikal lebih kecil. Kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $5^{\circ}/s$ dan $25^{\circ}/s$ yang masih termasuk dalam gerakan mata *smooth pursuit*. Aktivitas gerakan mata dengan kecepatan rendah dirasa bosan dan lebih melelahkan sehingga akurasi yang dihasilkan kurang baik. Sedangkan, variabel parallax tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Tetapi untuk membuat gambar stereoskopik, lebih baik menempatkan objek sedekat mungkin dengan layar atau dengan parallax 0 untuk menghindari konflik antara akomodasi dan konvergensi. Untuk perbandingan antara mata kiri dan mata kanan tidak memiliki perbedaan karena responden yang berpartisipasi seluruhnya dominan tangan kanan.

Penelitian ini memberikan kontribusi untuk memberikan pedoman penelitian masa depan terkait dengan kinerja mata manusia dalam tampilan stereoskopik. Selanjutnya dengan hasil tambahan mengenai kondisi mata kiri dan kanan dapat dijadikan sebagai titik tolak untuk penelitian lebih lanjut mengenai sistem mata kiri dan kanan berdasarkan ketepatan pandangan mata.

6.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah penggunaan desain penelitian ini dapat diterapkan dalam perspektif yang lebih luas. Minimalkan beberapa kesalahan, dengan mengikuti langkah-langkah penelitian ini sebagai pedoman

penelitian selanjutnya. Kemudian, beberapa bagian yang dapat diperbaiki dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Pengaturan parallax dapat dilakukan penyesuaian sehingga dapat mengetahui pengaruh dari parallax dalam jangkauan yang lebih luas.
- b. Eksperimen untuk objek bergerak dalam tampilan layar stereoskopik mungkin mempertimbangkan besaran kecepatan menjadi lebih besar.
- c. Objek bergerak dapat menggunakan target yang tidak terduga.



DAFTAR PUSTAKA

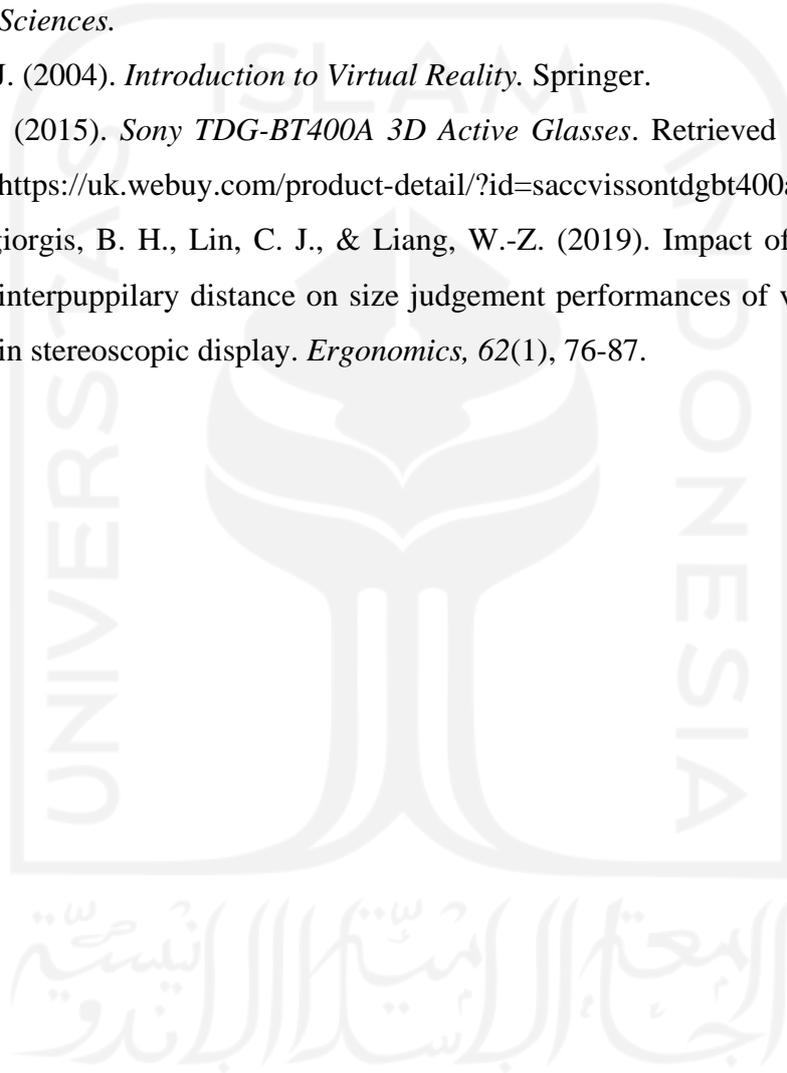
- Bach, M. (1996). The Freiburg Visual Acuity Test-automatic measurement of visual acuity. *Optometry and vision science*, 73(1), 49-53.
- Blignaut, P., Holmqvist, K., Nuström, M., & Dewhurst, R. (2014). Improving the accuracy of video-based eye-tracking in real-time through post-calibration regression. *Current Trends in Eye Tracking Research* (pp. 77-100). Springer.
- Buizza, A., & Schmid, R. (1986). Velocity characteristics of smooth pursuit eye movements to different patterns of target motion. *Experimental Brain Research*, 395-401.
- Cipresso, P., Giglioli, I. A., Raya, M. A., & Riva, G. (2018). The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Frontiers in psychology*, 9.
- Clay, V., König, P., & Koenig, S. U. (2019). Eye Tracking in Virtual Reality. *Journal of Eye Movement Research*, 12.
- Cohen, R. A. (2011). Optokinetic Reflex. In *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. New York: Springer.
- Cruz-Neira, C. (1993). Virtual reality overview. *SIGGRAPH 93 Course Notes 21st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. Orlando.
- de Xirvy, O., & Lefevre, P. (2007). Saccades and pursuit: two outcomes of a single sensorimotor process. *The Journal of Physiology*, 11-23.
- DisplayDB. (2014). *Sony KDL-55W800B Specifications*. Retrieved from <https://www.displaydb.com/tv/sony-kdl-55w800b>
- Enderle, J. (2010). Models of horizontal eye movements, Part I: Early models of saccades and smooth pursuit. *Synthesis Lectures on Quantum Computing*, 1-163.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics using SPSS* (Third ed.). London: Sage.
- Gigante, M. A. (1993). Virtual reality: definition, history, and applications. *Virtual Reality Systems*, 3-14.

- Hardwidge, B. (2011). *Nvidia Talks 3D Vision*. Retrieved from Bit Tech: <https://bit-tech.net/reviews/tech/graphics/nvidia-talks-03d-vision/2/>
- Hoffman, D. M., Girshick, A. R., Akeley, K., & Banks, M. S. (2008). Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of vision*, 1-30.
- Huang, Y.-P., & Chen, C.-H. (2018). 3D Displays, Stereoscopic/Autostereoscopic 3D. *Encyclopedia of Modern Optics (Second Edition)*, 44-50.
- Kenneth, W. W. (2003). Anatomy and physiology of eye movement. In W. W. Kenneth, H. S. Peter, & L. Thompson, *Handbook of pediatric strabismus and amblyopia* (pp. 24-69). USA: Springer.
- Khamis, M., Oechsner, C., Alt, F., & Bulling, A. (2018). VRPursuits: Interaction in virtual reality using smooth pursuit eye movements. *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces*, (pp. 1-8).
- Kim, G. J. (2005). *Designing Virtual Reality System*. New York: Springer.
- Kim, J., Seo, J., & Laine, T. (2018). Detecting boredom from eye gaze and EEG. *Biomedical signal processing and control*, 302-313.
- Kourtis, D., Sebanz, N., & Knoblich, G. (2012). EEG correlates of Fitts's law during preparation for action. *Psychological research*, 76(4), 514-524.
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2015). *The neurology of eye movements*. New York, USA: Oxford University Press.
- Lewis, C. H., & Griffin, M. J. (1997). Human factors consideration in clinical applications of virtual reality. *Virtual reality in neuro-psycho-physiology*, 35-56.
- Lin, C. J., & Woldegiorgis, B. H. (2015). Interaction and visual performance in stereoscopic displays: A review. *Journal of the Society for Information Display*, 23(7), 319-332.
- Lin, C. J., Caesaron, D., & Woldegiorgis, B. H. (2019). The Effects of Augmented Reality Interaction Techniques on Egocentric Distance Estimation Accuracy. *Applied Sciences*, 9(21), 4652.

- Lin, C. J., Prasetyo, Y. T., & Widyaningrum, R. (2019). Eye movement measures for predicting eye gaze accuracy and symptoms in 2D and 3D displays. *Displays* 60, 1-8.
- Lin, C. J., Woldegiorgis, B. H., Caesaron, D., & Cheng, L. Y. (2015). Distance estimation with mixed real and virtual target in stereoscopic display. *Display* 36, 41-48.
- Lin, C., & Widyaningrum, R. (2018). The effect of parallax on eye fixation parameter in projection-based stereoscopic displays. *Applied Ergonomics* 69, 10-16.
- Mcilreavy , L., Freeman, T. C., & Erichsen, J. T. (2019). Two-Dimensional Analysis of Smooth Pursuit Eye Movements Reveals Quantitative Deficits in Precision and Accuracy. *Trans Vision Science and technology*, 8(5).
- Mcmanus, I. (1999). Eye-dominance, writing hand, and throwing hand. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 4(2), 173-192.
- Morimoto, C. H., & Mimica, M. R. (2005). Eye gaze tracking techniques for interactive applications. *Computer vision and image understanding*, 4-24.
- Nielsen, J., & Pernice, K. (2010). *Eyetracking web usability*. New Riders.
- Ooms, K., Dupont, L., Lapon, L., & Popelka, S. (2015). Accuracy and precision of fixation locations recorded with the low-cost Eye Tribe tracker in different experimental setups. *Journal of eye movement research*, 8(1).
- Pantanowitz, A., Kim, K., Chewins, C., Tollman, I. N., & Rubin, D. (2020). Addressing the eye fixation problem in gaze tracking for human computer interface using the vestibulo-ocular reflex. *Informatics in Medicine Unlocked*.
- Pastel, S., Chen, C.-H., Luca, M., Naujoks, M., Petri, K., & Witte, K. (2021). Comparison of gaze accuracy and precision in real-world and virtual reality. *Virtual Reality*, 175-189.
- Prasetyo, Y. T., Widyaningrum, R., & Lin, C. J. (2019). Eye Gaze Accuracy in the Projection-based Stereoscopic Display as a Function of Number of Fixation, Eye Movement Time, and Parallax. *IEEE International Conference on*

- Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 54-58).
IEEE.
- Rehman, A., Kihara, K., Matsumoto, A., & Ohtsuka, S. (2015). Attentive tracking of moving objects in real 3D space. *Vision Research*, 1-10.
- Robinson, D., Gordon, J., & Gordon, S. (1986). A Model of the Smooth Pursuit Eye Movement System. *Biological Cybernetics*, 43-57.
- Ruten. (2020). *ASUS MD800 commercial host i7-7700 8GB 1TB 3 years warranty*. Retrieved from Ruten: <https://www.ruten.com.tw/item/show?21617618326339>
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000). Identifying Fixations and Saccades in Eye-Tracking Protocols. *Eye Tracking Research & Applications Symposium 2000*, 71-78.
- Schalén, L. (1980). Quantification of tracking eye movements in normal subjects. *Acta Otolaryngol*, 90, 404-413.
- Schwerdtner, A. (2016). Autostereoscopic 2d display. *Proceedings of SPIE*, 6055, pp. 1-10. San Jose.
- Shanide, N., Ghahghaei, S., & Verghese, P. (2016). Accuracy of eye position for saccades and smooth pursuit. *Journal of Vision*, 1-12.
- Sharpe, J. (2014). Eye Movement; Smooth Pursuit. In *Encyclopedia of the Neurological Sciences* (Vol. 2, pp. 252-257). Canada: Elsevier.
- Shen, X., & Shirmohammadi, S. (2008). Encyclopedia of Multimedia. In *Virtual and Augmented Reality* (pp. 962-970). Boston: Springer.
- Squire, L., Berg, D., Bloom, F. E., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (2012). *Fundamental Neuroscience* (Fourth Edition ed.). Academic Press.
- Squire, L., Berg, D., Bloom, F., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. (2008). *Fundamental Neuroscience* (Third Edition ed.). London, United Kingdom: Academic Press.
- Swearer, J. (2011). Visual angle. In *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. New York: Springer.
- Tobiipro. (2021). *tobiipronano*. Retrieved from tobiipro: <https://www.tobiipro.com/product-listing/nano/>

- Urvoy, M., Barkowsky, M., & Callet, P. L. (2013). How visual fatigue and discomfort impact 3D-TV quality of experience: a comprehensive review of technological, psychological, and psychological factors. *Annals of Telecommunications - annales des telecommunications*, 68(11-12), 641-655.
- Van Hooser, S., & Nelson, S. (2001). Visual System. In *Encyclopedia of Life Sciences*.
- Vince, J. (2004). *Introduction to Virtual Reality*. Springer.
- Webuy. (2015). *Sony TDG-BT400A 3D Active Glasses*. Retrieved from Webuy: <https://uk.webuy.com/product-detail/?id=saccvissontdgbt400a>
- Woldegiorgis, B. H., Lin, C. J., & Liang, W.-Z. (2019). Impact of parallax and inter-pupillary distance on size judgement performances of virtual objects in stereoscopic display. *Ergonomics*, 62(1), 76-87.



LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran A: Kondisi Eksperimen

Judul : Performansi Akurasi *Visual Angle* terhadap Objek Dinamis pada Tampilan Layar Stereoskopik

Peneliti : Anindya Agripina Hadyanawati (M10901815 & 19916034)

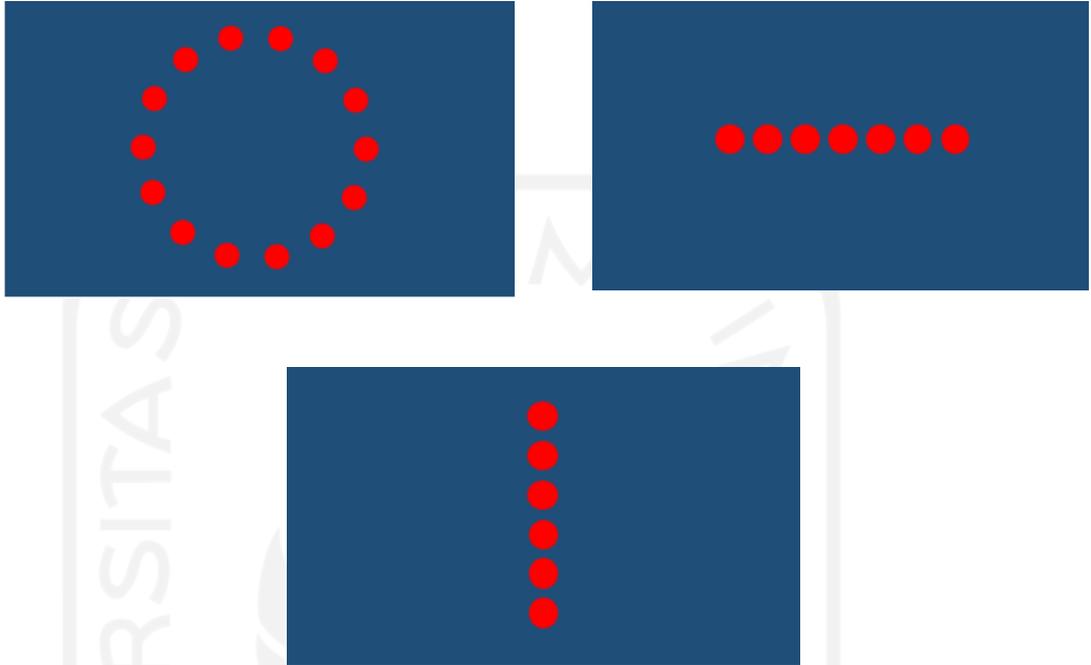
Pembimbing : Prof. Chiuhsiang Joe Lin dan Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.

Tujuan : Investigasi akurasi menggunakan *Visual Angle* pada tatapan mata manusia yang mengikuti objek bergerak pada tampilan stereoskopik. Penelitian ini meneliti bagaimana performansi mata manusia dapat mengikuti objek bergerak secara akurat pada berbagai arah gerak, kecepatan, maupun lingkungan 3 dimensi yang berbeda.

Tugas : Responden harus mengikuti objek bergerak pada lingkungan 3 dimensi.

Prosedur eksperimen

Responden diminta untuk mengikuti pergerakan objek bergerak seakurat mungkin. Kombinasi objek adalah enam kondisi (3 gerakan x 2 kecepatan). Responden akan mengikuti gerakan dalam tiga layar eksperimen berbeda (3D dengan parallax 0, 3D dengan parallax 30, 3D dengan parallax 60). Dengan demikian, responden mengikuti objek sampai mereka menyelesaikan 18 kombinasi eksperimen secara acak. Benda akan bergerak dalam tiga arah, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Peralatan :

Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan seperti dibawah ini:

1. Satu set komputer eksperimen
2. 3D TV
3. Kacamata 3D
4. Tobii *Eye-tracker*
5. Tobii Pro Nano *software*
6. Unity *software* 4.3.4
7. *Chinrest*

Pengaturan :

Responden akan melihat bola merah pada layar 3D TV, kemudian responden mengikuti bola merah tersebut yang bergerak sesuai dengan masing-masing arah gerakannya. Responden diwajibkan menggunakan kacamata 3D sebelum memulai eksperimen. Hal-hal yang harus responden lakukan.

1. Masuk ke ruang eksperimen.
2. Duduk pada kursi yang sudah disiapkan.
3. Meletakkan dagu pada *chinrest*.
4. Melakukan kalibrasi.
5. Mengikuti benda bergerak pada masing-masing kondisi eksperimen.
6. Eksperimen akan berlangsung 60 menit untuk masing-masing responden.



Lampiran B: Formulir Persetujuan

You are being asked to participate in a Thesis research conducted by Anindya Agripina Hadyanawati (M10901815 & 19916034) as a master's student from Industrial Management Department at National Taiwan University of Science and Technology. This research is under the supervision of Professor Chiuhsiang Joe Lin.

Purpose of the Study:

Investigate the performance of following moving objects in particular velocity using the stereoscopic display.

Procedure:

Once you agreed to take this experiment, you will be asked to do the following tasks.

1. Read and sign the consent form.
2. Put your chin on the support device.
3. Do the calibration of eye position using an eye-tracker.
4. See a target displayed in stereoscopic display.
5. Repeat step 4 until all scenarios are completed.

Risk:

There is no foreseeable risk associated in this experiment regarding the stereoscopic environment.

Confidentially:

Your participation in this study is entirely voluntary and this study will require approximately 60 minutes. All information you provide will remain confidential and will not be associated with your name. If for any reason during this study you do not feel comfortable, you may leave the laboratory and your information will be discarded.

When this study is complete you will be provided with the results of the experiment if you request them, and you will be free to ask any questions.

Contacts:

If you have any further questions concerning this study, please get in touch with us through phone or email: Anindya Agripina Hadyanawati at anindyagripina@gmail.com (0986-373474). Please indicate with your signature on the space below that you understand your rights and agree to participate in the experiment.

Signature of Research Participant or Legal Representative:

I have read the above information. I have asked any questions I had regarding the experimental procedure and they have been answered to my satisfaction. By signing below, I am indicating my consent to participate in this study:

Date : ____ / __ / __

Name : _____

Age : _____

Sex : Male Female

Eyes Situation : Normal Corrected to Normal

Signature of participant,

Lampiran C: Ringkasan Data *Visual Angle*

Tabel C.1 Data *Visual Angle* pada Layar 3 Dimensi dengan Parallax 0 (Mata Kiri)

| PARALLAX 0 | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| MATA KIRI | | | | | | |
| Responden | MELINGKAR | | HORIZONTAL | | VERTIKAL | |
| | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S |
| 1 | 0,21358 | 0,20881 | 0,58436 | 0,80114 | 0,74968 | 0,71395 |
| 2 | 0,18925 | 0,21351 | 0,42243 | 0,44770 | 1,34322 | 1,26492 |
| 3 | 0,22730 | 0,23504 | 0,41217 | 0,44591 | 1,25384 | 1,55374 |
| 4 | 0,20576 | 0,36294 | 0,57040 | 0,72623 | 0,93104 | 0,94812 |
| 5 | 0,23126 | 0,21989 | 0,57016 | 0,53241 | 0,97667 | 1,47263 |
| 6 | 0,26547 | 0,21651 | 0,41828 | 0,42967 | 0,93688 | 0,75599 |
| 7 | 0,20268 | 0,21098 | 0,41184 | 0,41121 | 1,12605 | 1,38921 |
| 8 | 0,18631 | 0,16448 | 0,32042 | 0,34639 | 0,56355 | 0,69661 |
| 9 | 0,20714 | 0,32503 | 0,59409 | 0,62385 | 1,17792 | 0,85355 |
| 10 | 0,22301 | 0,24404 | 0,62564 | 0,55349 | 1,49100 | 1,73513 |
| Rerata | 0,21518 | 0,24012 | 0,49298 | 0,53180 | 1,05499 | 1,13839 |

Table C.2 Data *Visual Angle* pada Layar 3 Dimensi dengan Parallax 0 (Mata Kanan)

| PARALLAX 0 | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| MATA KANAN | | | | | | |
| Responden | MELINGKAR | | HORIZONTAL | | VERTIKAL | |
| | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S |
| 1 | 0,20607 | 0,21467 | 0,38666 | 0,39390 | 0,86768 | 0,86478 |
| 2 | 0,19855 | 0,21947 | 0,33506 | 0,32284 | 1,28791 | 1,20974 |
| 3 | 0,22308 | 0,23293 | 0,40268 | 0,41784 | 1,50717 | 1,41061 |
| 4 | 0,18854 | 0,30506 | 0,40074 | 0,30909 | 0,41954 | 0,75635 |
| 5 | 0,22980 | 0,20312 | 0,46433 | 0,43345 | 0,71463 | 1,07713 |
| 6 | 0,25548 | 0,22178 | 0,42396 | 0,44665 | 1,02731 | 0,73427 |
| 7 | 0,20998 | 0,21974 | 0,43179 | 0,48395 | 1,12173 | 1,46145 |
| 8 | 0,20185 | 0,15885 | 0,38980 | 0,37962 | 0,30425 | 0,27626 |
| 9 | 0,18396 | 0,26248 | 0,46630 | 0,66563 | 1,13355 | 0,81276 |
| 10 | 0,15665 | 0,14548 | 0,43498 | 0,27102 | 0,25558 | 0,27102 |
| Rerata | 0,20540 | 0,21836 | 0,41363 | 0,41240 | 0,86394 | 0,88744 |

**Tabel C.3 Data *Visual Angle* pada Layar 3 Dimensi dengan Parallax 30
(Mata Kiri)**

| PARALLAX 30 | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| MATA KIRI | | | | | | |
| Responden | MELINGKAR | | HORIZONTAL | | VERTIKAL | |
| | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S |
| 1 | 0,21259 | 0,24175 | 0,62843 | 0,79895 | 0,71241 | 0,74351 |
| 2 | 0,19110 | 0,19563 | 0,49524 | 0,42408 | 1,31505 | 1,37241 |
| 3 | 0,21366 | 0,23348 | 0,40062 | 0,39204 | 1,31333 | 1,40159 |
| 4 | 0,20001 | 0,21196 | 0,60603 | 0,63423 | 1,08355 | 0,66112 |
| 5 | 0,22893 | 0,20966 | 0,53621 | 0,48193 | 0,36360 | 0,95232 |
| 6 | 0,22367 | 0,17949 | 0,44291 | 0,39648 | 1,16571 | 0,76005 |
| 7 | 0,20520 | 0,19993 | 0,32223 | 0,39466 | 0,70105 | 1,00090 |
| 8 | 0,29262 | 0,20970 | 0,35540 | 0,35174 | 0,55688 | 0,80246 |
| 9 | 0,23440 | 0,24134 | 0,60885 | 0,58371 | 0,95565 | 0,99992 |
| 10 | 0,22050 | 0,21732 | 0,62012 | 0,47141 | 1,68833 | 1,21364 |
| Rerata | 0,22227 | 0,21403 | 0,50160 | 0,49292 | 0,98556 | 0,99079 |

**Table C.4 Data *Visual Angle* pada Layar 3 Dimensi dengan Parallax 30
(Mata Kanan)**

| PARALLAX 30 | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| MATA KANAN | | | | | | |
| Responden | MELINGKAR | | HORIZONTAL | | VERTIKAL | |
| | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S |
| 1 | 0,20811 | 0,23146 | 0,40689 | 0,48615 | 0,89525 | 1,03154 |
| 2 | 0,19827 | 0,19969 | 0,44566 | 0,38920 | 1,02304 | 1,11599 |
| 3 | 0,22684 | 0,24233 | 0,40259 | 0,42605 | 1,67098 | 1,40160 |
| 4 | 0,17423 | 0,20056 | 0,33763 | 0,33533 | 0,47812 | 0,09528 |
| 5 | 0,22105 | 0,23010 | 0,46060 | 0,39350 | 0,64815 | 0,98728 |
| 6 | 0,22037 | 0,17901 | 0,43203 | 0,49321 | 1,33519 | 0,80540 |
| 7 | 0,20994 | 0,20344 | 0,34595 | 0,47115 | 0,84556 | 1,12027 |
| 8 | 0,38368 | 0,19533 | 0,33956 | 0,31433 | 0,65783 | 0,30588 |
| 9 | 0,18392 | 0,22503 | 0,52709 | 0,68302 | 0,88942 | 1,73877 |
| 10 | 0,15896 | 0,15042 | 0,47684 | 0,40798 | 0,27445 | 0,32968 |
| Rerata | 0,21854 | 0,20574 | 0,41748 | 0,43999 | 0,87180 | 0,89317 |

**Tabel C.5 Data *Visual Angle* pada Layar 3 Dimensi dengan Parallax 60
(Mata Kiri)**

| PARALLAX 60 | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| MATA KIRI | | | | | | |
| Responden | MELINGKAR | | HORIZONTAL | | VERTIKAL | |
| | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S |
| 1 | 0,22549 | 0,21840 | 0,49414 | 0,43758 | 0,87423 | 0,80748 |
| 2 | 0,19548 | 0,20082 | 0,43385 | 0,53991 | 1,70165 | 1,54491 |
| 3 | 0,22571 | 0,24283 | 0,40995 | 0,44453 | 1,59115 | 1,90290 |
| 4 | 0,22964 | 0,21468 | 0,41784 | 0,71170 | 0,89202 | 1,33970 |
| 5 | 0,25329 | 0,20088 | 0,50870 | 0,57768 | 0,52060 | 0,55897 |
| 6 | 0,21676 | 0,24955 | 0,44357 | 0,45649 | 0,98078 | 0,72357 |
| 7 | 0,20898 | 0,20275 | 0,37163 | 0,39697 | 0,68641 | 0,96077 |
| 8 | 0,18167 | 0,21854 | 0,45353 | 0,37538 | 0,34533 | 0,46439 |
| 9 | 0,25091 | 0,51004 | 0,50664 | 0,49727 | 1,27026 | 0,77144 |
| 10 | 0,22128 | 0,21946 | 0,44557 | 0,51394 | 1,39516 | 1,58827 |
| Rerata | 0,22092 | 0,24779 | 0,44854 | 0,49514 | 1,02576 | 1,06624 |

**Table C.6 Data *Visual Angle* pada Layar 3 Dimensi dengan Parallax 60
(Mata Kanan)**

| PARALLAX 60 | | | | | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| MATA KANAN | | | | | | |
| Responden | MELINGKAR | | HORIZONTAL | | VERTIKAL | |
| | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S | 5°/S | 25°/S |
| 1 | 0,21735 | 0,19783 | 0,39124 | 0,39716 | 0,96860 | 1,05328 |
| 2 | 0,20690 | 0,21334 | 0,34734 | 0,42153 | 1,14745 | 1,01791 |
| 3 | 0,22539 | 0,24007 | 0,42448 | 0,45759 | 1,71783 | 2,09115 |
| 4 | 0,20408 | 0,19964 | 0,25569 | 0,45727 | 0,41792 | 0,80357 |
| 5 | 0,24509 | 0,19655 | 0,48591 | 0,43521 | 0,58635 | 0,79387 |
| 6 | 0,21835 | 0,24563 | 0,60346 | 0,61118 | 1,22320 | 0,72135 |
| 7 | 0,21048 | 0,21165 | 0,44337 | 0,45951 | 0,79183 | 1,08454 |
| 8 | 0,19608 | 0,20860 | 0,41110 | 0,40733 | 0,47935 | 0,24386 |
| 9 | 0,21951 | 0,32551 | 0,54855 | 0,53382 | 1,05741 | 1,19985 |
| 10 | 0,15238 | 0,14868 | 0,39982 | 0,23407 | 0,27720 | 0,30201 |
| Rerata | 0,20956 | 0,21875 | 0,43110 | 0,44147 | 0,86671 | 0,93114 |

Lampiran D: Hasil Repeated Measures ANOVA

Tabel D.1 Repeated Measures ANOVA pada Mata Kiri

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: MEASURE_1

| Within Subjects Effect | Mauchly's W | Approx. Chi-Square | df | Sig. | Epsilon ^b | | |
|------------------------------|-------------|--------------------|----|------|----------------------|-------------|-------------|
| | | | | | Greenhouse-Geisser | Huynh-Feldt | Lower-bound |
| Parallax | ,725 | 2,573 | 2 | ,276 | ,784 | ,921 | ,500 |
| Velocity | 1,000 | ,000 | 0 | . | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Motion | ,713 | 2,706 | 2 | ,258 | ,777 | ,909 | ,500 |
| Parallax * Velocity | ,610 | 3,949 | 2 | ,139 | ,720 | ,820 | ,500 |
| Parallax * Motion | ,148 | 14,170 | 9 | ,125 | ,613 | ,859 | ,250 |
| Velocity * Motion | ,701 | 2,845 | 2 | ,241 | ,770 | ,898 | ,500 |
| Parallax * Velocity * Motion | ,086 | 18,224 | 9 | ,037 | ,512 | ,665 | ,250 |

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: Parallax + Velocity + Motion + Parallax * Velocity + Parallax * Motion + Velocity * Motion + Parallax * Velocity * Motion

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.



Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MEASURE_1

| Source | | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | Partial Eta Squared |
|---------------------------------|--------------------|-------------------------|--------|-------------|--------|------|---------------------|
| Parallax | Sphericity Assumed | ,061 | 2 | ,030 | 1,284 | ,301 | ,125 |
| | Greenhouse-Geisser | ,061 | 1,569 | ,039 | 1,284 | ,298 | ,125 |
| | Huynh-Feldt | ,061 | 1,842 | ,033 | 1,284 | ,300 | ,125 |
| | Lower-bound | ,061 | 1,000 | ,061 | 1,284 | ,286 | ,125 |
| Error(Parallax) | Sphericity Assumed | ,424 | 18 | ,024 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,424 | 14,117 | ,030 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,424 | 16,575 | ,026 | | | |
| | Lower-bound | ,424 | 9,000 | ,047 | | | |
| Velocity | Sphericity Assumed | 13,768 | 1 | 13,768 | 65,169 | ,000 | ,879 |
| | Greenhouse-Geisser | 13,768 | 1,000 | 13,768 | 65,169 | ,000 | ,879 |
| | Huynh-Feldt | 13,768 | 1,000 | 13,768 | 65,169 | ,000 | ,879 |
| | Lower-bound | 13,768 | 1,000 | 13,768 | 65,169 | ,000 | ,879 |
| Error(Velocity) | Sphericity Assumed | 1,901 | 9 | ,211 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | 1,901 | 9,000 | ,211 | | | |
| | Huynh-Feldt | 1,901 | 9,000 | ,211 | | | |
| | Lower-bound | 1,901 | 9,000 | ,211 | | | |
| Motion | Sphericity Assumed | 5,188 | 2 | 2,594 | 31,769 | ,000 | ,779 |
| | Greenhouse-Geisser | 5,188 | 1,554 | 3,339 | 31,769 | ,000 | ,779 |
| | Huynh-Feldt | 5,188 | 1,818 | 2,853 | 31,769 | ,000 | ,779 |
| | Lower-bound | 5,188 | 1,000 | 5,188 | 31,769 | ,000 | ,779 |
| Error(Motion) | Sphericity Assumed | 1,470 | 18 | ,082 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | 1,470 | 13,986 | ,105 | | | |
| | Huynh-Feldt | 1,470 | 16,366 | ,090 | | | |
| | Lower-bound | 1,470 | 9,000 | ,163 | | | |
| Parallax * Velocity | Sphericity Assumed | ,051 | 2 | ,025 | 1,098 | ,355 | ,109 |
| | Greenhouse-Geisser | ,051 | 1,439 | ,035 | 1,098 | ,341 | ,109 |
| | Huynh-Feldt | ,051 | 1,639 | ,031 | 1,098 | ,347 | ,109 |
| | Lower-bound | ,051 | 1,000 | ,051 | 1,098 | ,322 | ,109 |
| Error(Parallax*Velocity) | Sphericity Assumed | ,414 | 18 | ,023 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,414 | 12,953 | ,032 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,414 | 14,751 | ,028 | | | |
| | Lower-bound | ,414 | 9,000 | ,046 | | | |
| Parallax * Motion | Sphericity Assumed | ,024 | 4 | ,006 | ,400 | ,807 | ,043 |
| | Greenhouse-Geisser | ,024 | 2,450 | ,010 | ,400 | ,715 | ,043 |
| | Huynh-Feldt | ,024 | 3,435 | ,007 | ,400 | ,779 | ,043 |
| | Lower-bound | ,024 | 1,000 | ,024 | ,400 | ,543 | ,043 |
| Error(Parallax*Motion) | Sphericity Assumed | ,529 | 36 | ,015 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,529 | 22,052 | ,024 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,529 | 30,919 | ,017 | | | |
| | Lower-bound | ,529 | 9,000 | ,059 | | | |
| Velocity * Motion | Sphericity Assumed | 1,904 | 2 | ,952 | 10,888 | ,001 | ,547 |
| | Greenhouse-Geisser | 1,904 | 1,539 | 1,237 | 10,888 | ,002 | ,547 |
| | Huynh-Feldt | 1,904 | 1,795 | 1,060 | 10,888 | ,001 | ,547 |
| | Lower-bound | 1,904 | 1,000 | 1,904 | 10,888 | ,009 | ,547 |
| Error(Velocity*Motion) | Sphericity Assumed | 1,574 | 18 | ,087 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | 1,574 | 13,854 | ,114 | | | |
| | Huynh-Feldt | 1,574 | 16,156 | ,097 | | | |
| | Lower-bound | 1,574 | 9,000 | ,175 | | | |
| Parallax * Velocity * Motion | Sphericity Assumed | ,031 | 4 | ,008 | ,478 | ,752 | ,050 |
| | Greenhouse-Geisser | ,031 | 2,049 | ,015 | ,478 | ,632 | ,050 |
| | Huynh-Feldt | ,031 | 2,660 | ,012 | ,478 | ,679 | ,050 |
| | Lower-bound | ,031 | 1,000 | ,031 | ,478 | ,507 | ,050 |
| Error(Parallax*Velocity*Motion) | Sphericity Assumed | ,583 | 36 | ,016 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,583 | 18,443 | ,032 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,583 | 23,944 | ,024 | | | |
| | Lower-bound | ,583 | 9,000 | ,065 | | | |

Tabel D.2 Repeated Measures ANOVA pada Mata Kanan

Mauchly's Test of Sphericity^a

Measure: MEASURE_1

| Within Subjects Effect | Mauchly's W | Approx. Chi-Square | df | Sig. | Epsilon ^b | | |
|------------------------------|-------------|--------------------|----|------|----------------------|-------------|-------------|
| | | | | | Greenhouse-Geisser | Huynh-Feldt | Lower-bound |
| Parallax | ,935 | ,542 | 2 | ,763 | ,939 | 1,000 | ,500 |
| Velocity | 1,000 | ,000 | 0 | . | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Motion | ,685 | 3,031 | 2 | ,220 | ,760 | ,883 | ,500 |
| Parallax * Velocity | ,969 | ,251 | 2 | ,882 | ,970 | 1,000 | ,500 |
| Parallax * Motion | ,042 | 23,596 | 9 | ,006 | ,473 | ,596 | ,250 |
| Velocity * Motion | ,749 | 2,313 | 2 | ,315 | ,799 | ,945 | ,500 |
| Parallax * Velocity * Motion | ,080 | 18,725 | 9 | ,031 | ,615 | ,865 | ,250 |

Tests the null hypothesis that the error covariance matrix of the orthonormalized transformed dependent variables is proportional to an identity matrix.

a. Design: Intercept

Within Subjects Design: Parallax + Velocity + Motion + Parallax * Velocity + Parallax * Motion + Velocity * Motion + Parallax * Velocity * Motion

b. May be used to adjust the degrees of freedom for the averaged tests of significance. Corrected tests are displayed in the Tests of Within-Subjects Effects table.



Tests of Within-Subjects Effects

Measure: MEASURE_1

| Source | | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | Partial Eta Squared |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------|--------|-------------|--------|------|---------------------|
| Parallax | Sphericity Assumed | ,008 | 2 | ,004 | ,222 | ,803 | ,024 |
| | Greenhouse-Geisser | ,008 | 1,877 | ,004 | ,222 | ,790 | ,024 |
| | Huynh-Feldt | ,008 | 2,000 | ,004 | ,222 | ,803 | ,024 |
| | Lower-bound | ,008 | 1,000 | ,008 | ,222 | ,648 | ,024 |
| Error(Parallax) | Sphericity Assumed | ,322 | 18 | ,018 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,322 | 16,894 | ,019 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,322 | 18,000 | ,018 | | | |
| | Lower-bound | ,322 | 9,000 | ,036 | | | |
| Velocity | Sphericity Assumed | 9,200 | 1 | 9,200 | 26,612 | ,001 | ,747 |
| | Greenhouse-Geisser | 9,200 | 1,000 | 9,200 | 26,612 | ,001 | ,747 |
| | Huynh-Feldt | 9,200 | 1,000 | 9,200 | 26,612 | ,001 | ,747 |
| | Lower-bound | 9,200 | 1,000 | 9,200 | 26,612 | ,001 | ,747 |
| Error(Velocity) | Sphericity Assumed | 3,112 | 9 | ,346 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | 3,112 | 9,000 | ,346 | | | |
| | Huynh-Feldt | 3,112 | 9,000 | ,346 | | | |
| | Lower-bound | 3,112 | 9,000 | ,346 | | | |
| Motion | Sphericity Assumed | 3,587 | 2 | 1,793 | 19,879 | ,000 | ,688 |
| | Greenhouse-Geisser | 3,587 | 1,521 | 2,359 | 19,879 | ,000 | ,688 |
| | Huynh-Feldt | 3,587 | 1,766 | 2,032 | 19,879 | ,000 | ,688 |
| | Lower-bound | 3,587 | 1,000 | 3,587 | 19,879 | ,002 | ,688 |
| Error(Motion) | Sphericity Assumed | 1,624 | 18 | ,090 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | 1,624 | 13,685 | ,119 | | | |
| | Huynh-Feldt | 1,624 | 15,890 | ,102 | | | |
| | Lower-bound | 1,624 | 9,000 | ,180 | | | |
| Parallax * Velocity | Sphericity Assumed | ,002 | 2 | ,001 | ,077 | ,926 | ,008 |
| | Greenhouse-Geisser | ,002 | 1,940 | ,001 | ,077 | ,922 | ,008 |
| | Huynh-Feldt | ,002 | 2,000 | ,001 | ,077 | ,926 | ,008 |
| | Lower-bound | ,002 | 1,000 | ,002 | ,077 | ,788 | ,008 |
| Error(Parallax*Velocity) | Sphericity Assumed | ,293 | 18 | ,016 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,293 | 17,461 | ,017 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,293 | 18,000 | ,016 | | | |
| | Lower-bound | ,293 | 9,000 | ,033 | | | |
| Parallax * Motion | Sphericity Assumed | ,008 | 4 | ,002 | ,131 | ,970 | ,014 |
| | Greenhouse-Geisser | ,008 | 1,894 | ,004 | ,131 | ,868 | ,014 |
| | Huynh-Feldt | ,008 | 2,384 | ,003 | ,131 | ,908 | ,014 |
| | Lower-bound | ,008 | 1,000 | ,008 | ,131 | ,725 | ,014 |
| Error(Parallax*Motion) | Sphericity Assumed | ,530 | 36 | ,015 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,530 | 17,044 | ,031 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,530 | 21,452 | ,025 | | | |
| | Lower-bound | ,530 | 9,000 | ,059 | | | |
| Velocity * Motion | Sphericity Assumed | 1,428 | 2 | ,714 | 8,092 | ,003 | ,473 |
| | Greenhouse-Geisser | 1,428 | 1,599 | ,893 | 8,092 | ,006 | ,473 |
| | Huynh-Feldt | 1,428 | 1,890 | ,756 | 8,092 | ,004 | ,473 |
| | Lower-bound | 1,428 | 1,000 | 1,428 | 8,092 | ,019 | ,473 |
| Error(Velocity*Motion) | Sphericity Assumed | 1,589 | 18 | ,088 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | 1,589 | 14,388 | ,110 | | | |
| | Huynh-Feldt | 1,589 | 17,007 | ,093 | | | |
| | Lower-bound | 1,589 | 9,000 | ,177 | | | |
| Parallax * Velocity * Motion | Sphericity Assumed | ,002 | 4 | ,001 | ,042 | ,996 | ,005 |
| | Greenhouse-Geisser | ,002 | 2,462 | ,001 | ,042 | ,977 | ,005 |
| | Huynh-Feldt | ,002 | 3,459 | ,001 | ,042 | ,993 | ,005 |
| | Lower-bound | ,002 | 1,000 | ,002 | ,042 | ,842 | ,005 |
| Error (Parallax*Velocity*Motion) | Sphericity Assumed | ,523 | 36 | ,015 | | | |
| | Greenhouse-Geisser | ,523 | 22,155 | ,024 | | | |
| | Huynh-Feldt | ,523 | 31,131 | ,017 | | | |
| | Lower-bound | ,523 | 9,000 | ,058 | | | |

Lampiran E: Hasil Uji Statistik Independent Sample T-Test

Group Statistics

| | Eyes | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|--------|------------|-----|-------|----------------|-----------------|
| Result | Left_eyes | 180 | ,5881 | ,40969 | ,03054 |
| | Right_eyes | 180 | ,5081 | ,38134 | ,02842 |

Independent Samples Test

| | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | | | | | |
|--------|-----------------------------|---|------|------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|--------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | | Lower | Upper |
| Result | Equal variances assumed | 1,445 | ,230 | 1,916 | 358 | ,056 | ,07991 | ,04172 | -,00213 | ,16196 |
| | Equal variances not assumed | | | 1,916 | 356,175 | ,056 | ,07991 | ,04172 | -,00213 | ,16196 |

Lampiran F: Dokumentasi Pengambilan Data

