

ANALISIS KINERJA BERDASARKAN PERBEDAAN REALITAS DAN TINGKAT KESULITAN TUGAS: STUDI KASUS PADA PERAKITAN REPETITIF

Clara Theresia*, Debora Angela, Yansen Theopilus

Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit No 94, Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40141

(Received: December 10, 2022/ Accepted: April 28, 2023)

Abstrak

Perkembangan virtual reality serta penggunaannya dalam kehidupan tidak dapat dihindarkan. Dalam bidang industri manufaktur masih terdapat perbedaan hasil penelitian mengenai efek dari virtual reality terhadap aspek fisiologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh realitas dan kesulitan task terhadap tingkat kinerja yang diukur melalui time completion, dan task completion serta pengaruhnya terhadap tingkat stress (diukur dengan Galvanic Skin Response) dan tingkat kewaspadaan (diukur dengan Psychomotor Vigilance Task). Penelitian ini melibatkan 28 orang partisipan dengan menggunakan rancangan between subject design yang terbagi menjadi variabel realitas (Virtual Reality, Real World) dan tingkat kesulitan tugas (berat, ringan). Pengolahan data secara statistika deskriptif dan uji pengaruh dengan menggunakan two-way ANOVA dilakukan pada setiap aspek yang diukur. Tidak ditemukan adanya pengaruh signifikan ($p\text{-value} > 0,05$) antara faktor realitas atau faktor kesulitan task terhadap tingkat kinerja, tingkat stress, maupun tingkat kewaspadaan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh virtual reality terhadap aspek kinerja dan fisiologis. Usulan rekomendasi penyesuaian diberikan untuk penggunaan dalam bidang industri dengan mempertimbangkan waktu pelatihan, gerakan yang diperlukan, serta tingkat keterampilan yang dibutuhkan.

Kata kunci: Virtual Reality; Stress; Kewaspadaan, Kinerja; Psychomotor Vigilance Task; Galvanic Skin Responses

Abstract

[Performance Analysis in Virtual Reality Based on Different Levels of Reality and Task Difficulty: Case Study on Repetitive Assembly] Virtual reality has already been used and implemented in many sectors. In the manufacturing field, research on this subject has been done for some time now, but there are still some variations regarding the effect of virtual reality on physiological aspects. This research aims to determine the effect of reality and task difficulty on performance level as measured by time and task completion, stress level by using Galvanic Skin Response and vigilance level (measured by Psychomotor Vigilance Task). There were 28 participants using between subject designs. Descriptive statistics and tests to check the influence of the two independent variables were done using Two-way ANOVA for all aspects considered. This research resulted in no influence ($p\text{-value} > 0,05$) from either reality or task difficulty toward performance, stress level, or alertness. More research should be done to know if there are some influences from virtual reality to human aspects. Some recommendations were made to adjust the virtual environment usage in industrial sectors with some consideration about training period, types of movements, and the skills needed in that particular sector.

Keywords: Virtual Reality; Stress; Alertness; Performance; Psychomotor Vigilance Task; Galvanic Skin Responses

1. Pendahuluan

Interaksi antara manusia dan komputer atau yang disebut *Human Computer Interaction* (HCI) merupakan hal yang tidak dapat dihindari seiring

dengan perkembangan teknologi. Bentuk interaksi tidak hanya melibatkan perangkat komputer saja melainkan fitur teknologi tiga bahkan empat dimensi. Salah satu teknologi yang tengah berkembang pesat yaitu *Virtual Reality* (VR). VR merupakan teknologi yang membantu pengguna berinteraksi dengan lingkungan di dunia maya dalam simulasi komputer. Teknologi pada VR memungkinkan pengguna

*Penulis Korespondensi.

E-mail: claratheresia@unpar.ac.id

merasakan lingkungan virtual secara lebih nyata dengan pemanfaatan tampilan *audiovisual* dengan korespondensi gerakan kepala dan badan yang menyempurnakan pengalaman yang dialami. Pemanfaatan VR sudah banyak dilakukan hingga saat ini meliputi berbagai bidang seperti manufaktur, *entertainment*, edukasi, militer dan kesehatan medis, *digital marketing* dan edukasi (Weech, Kenny & Cowan., 2019).

Penggunaan VR di bidang manufaktur atau sektor industri juga semakin berkembang. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya pemanfaatan VR oleh berbagai perusahaan industri manufaktur. Penggunaan VR khususnya di bidang manufaktur dapat membantu meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya pelatihan pekerja, meminimalisir kesalahan, membantu pelatihan pekerja, dan mengurangi resiko cedera pekerja. Berdasarkan hasil survei Statista (2020) menyebutkan beragam penggunaan *immersive technologies* membawa berbagai keuntungan, dimana sejumlah 75% aplikasi teknologi ini dapat digunakan untuk menyediakan kontrol jarak jauh secara *real-time*, 48% digunakan untuk pelatihan tenaga kerja, mengurangi kesalahan perakitan sejumlah 45%, meningkatkan manajemen rantai pasok sebesar 45%, proses *remote* inspeksi dan perawatan 43%, mencegah kecelakaan kerja 40%, perancangan dan pembuatan prototipe produk 35% dan manajemen persediaan sejumlah 35%. VR dalam bidang manufaktur digunakan untuk pelatihan, desain *assembly*, *virtual prototyping*, hingga *virtual factory*. Pada dasarnya penggunaan VR merupakan alat bantu untuk menggambarkan atau mensimulasikan proses hingga sistem manufaktur (Abidi, Al-Ahmari, Ahmad, Ameen, & Alkhalefah., 2019).

Penggunaan *virtual reality* (VR) masih menjadi topik yang hangat khususnya untuk sektor industri manufaktur. Beberapa penelitian mengatakan bahwa penggunaan VR dapat mengubah industri manufaktur ke arah yang lebih positif dan *profitable* (Mujiber et al., 2004 ;Weech et al., 2019). Namun, penelitian lain masih ragu akan efektifitas dari penggunaan VR terutama pada bidang pelatihan dikarenakan terdapat beberapa batasan dalam teknologi VR yang ada untuk dapat mereplikasi dunia nyata, hal ini yang menyebabkan penggunaan VR untuk pelatihan kemungkinan dapat memberikan dampak terhadap kinerja operator akibat perbedaan yang ada pada VR dengan *real world* (Kozak et al., 2019). Berikut dijelaskan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan VR di berbagai sektor aktivitas yang beragam.

Khademi et al. (2013) membandingkan antara penggunaan *non-immersive* VR dengan *Augmented Reality* (AR). Hasil penelitian didapatkan bahwa terdapat perbedaan signifikan berdasarkan hasil uji pada data hasil kinerja untuk dalam hal *pick and place task*. Hal ini disebabkan karena pada penggunaan *non-immersive VR* dengan *set up* yang digunakan, arah gerakan yang dilakukan dan yang terbaca pada layar monitor tidak seakurat ketika menggunakan AR dimana subjek langsung melihat pada visualisasi proyeksi pada meja, sehingga pada penggunaan *non-*

immersive VR seringkali perlu dilakukan perbaikan posisi tangan yang menyebabkan hasil kinerja yang kurang baik dibandingkan dengan penggunaan AR. Selain itu, adanya *hand-eye coordination* yang tidak berkesinambungan dalam penggunaan *non-immersive* VR juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi hasil penelitian ini.

Penelitian lain yang berkaitan yaitu Frederiksen et al. (2019), membandingkan antara penggunaan *immersive virtual reality* dengan *conventional virtual reality* pada simulasi pelatihan *laparoscopic surgery* memberikan hasil bahwa pada penggunaan *immersive VR* *cognitive load* meningkat sebesar 66% sedangkan pada penggunaan *conventional VR* meningkatkan *cognitive load* sebesar 58%. Selain itu, hasil kinerja dari penggunaan *immersive* VR secara signifikan memberikan hasil yang lebih buruk dibandingkan dengan *conventional VR* pada hampir seluruh *metrics* yang digunakan pada simulasi.

Penelitian lainnya di bidang kesehatan yaitu pengujian perbandingan pada tangan palsu atau *prosthetic testing* antara *Virtual Reality* dan *Real World* (Joyner, Cooke & Benz, 2021). Pengujian ini bertujuan untuk menguji dan membandingkan kinerja penggunaan tangan palsu antara VR dan dunia nyata dengan sejumlah indikator uji seperti penyelesaian tugas, jumlah tugas yang selesai dan waktu penyelesaian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja yang dihasilkan oleh para partisipan sangat bergantung terhadap kemiripan antara desain dunia virtual dengan dunia nyata. Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini, desain pada dunia nyata akan dibuat semirip mungkin dengan desain yang dibuat pada dunia virtual. Pengujian kinerja antara VR dengan AR dan RW sudah banyak dilakukan di beberapa penelitian sebelumnya khususnya di bidang medis atau kesehatan, namun pengujian khusus terkait sektor industri manufaktur belum banyak dilakukan pada penelitian. Hal ini menjadi hal yang menarik untuk dikaji misalnya bagaimana perbandingan kinerja pada aktivitas perakitan dan inspeksi sederhana pada objek di sektor manufaktur.

Penggunaan indikator pengukuran fisiologi tubuh manusia mulai banyak dilibatkan dalam penelitian dengan VR. Salah satunya penelitian dari Kalantari, Rounds, Kan, Tripathi & Cruz-Garza (2021) yang membandingkan reaksi fisiologis responden ketika melakukan aktivitas pada lingkungan virtual dan lingkungan nyata. Tes fisiologis yang dilakukan meliputi pengujian konduktansi kulit dengan *galvanic skin response* (GSR), pengukuran gelombang otak dengan *electroencephalography* (EEG), denyut jantung dengan *electrocardiogram* (ECG), dan pengukuran gelombang elektrik dari kornea mata dengan *electrooculography* (EOG). Namun, dalam lingkungan virtual didapatkan hasil bahwa responden menjawab soal secara lebih cepat bila dibandingkan dengan lingkungan nyata.

Hendrika, Theresia & Yogasara (2021) juga melakukan penelitian untuk mengidentifikasi apakah jenis kelamin dan pengalaman bermain VR mempengaruhi potensi seseorang dapat terkena gejala *cybersickness* (efek negatif seperti mual, pusing dan

Tabel 1. Rancangan Desain Eksperimen

2 x 2	Virtual Reality (B1)	Real World (B2)
Tugas ringan (A1)	A1B1p1..p7*	A1B2p8..p14*
Tugas berat (A2)	A2B1p15..p21*	A1B2p22..p28*

*Keterangan p1-p28: Partisipan ke-1 hingga 28

muntah saat menggunakan VR). Penelitian dilakukan dengan mengukur gejala yang ada menggunakan indikator fisiologis yaitu *galvanic skin response* dan instrumen subjektif dengan *simulator sickness questionnaire*. Temuan pada penelitian ini yaitu gejala *cybersickness* muncul pada waktu 15-20 menit setelah berinteraksi dengan penggunaan VR.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan *assessment* terhadap respon fisiologis yang diberikan ketika berada dalam dunia *virtual* untuk aspek seperti tingkat *stress* (Hendrika et al., 2021; Kalantari et al., 2021). Pengukuran aspek fisiologis dengan mengukur tingkat konduktansi kulit dengan menggunakan GSR. Pengukuran terhadap tingkat *stress* yang dirasakan ketika menggunakan VR dengan menggunakan GSR dan membandingkannya dengan RW masih jarang ditemukan. Data yang didapatkan dengan menggunakan GSR merupakan data yang *subject dependent* dan data yang didapatkan dalam GSR hanya mengukur peningkatan intensitas emosi dan hal ini juga dapat dipengaruhi oleh gerakan fisik yang memberikan *stress* terhadap tubuh. Dalam mengukur tingkat *stress* untuk mendukung data yang didapatkan dengan menggunakan GSR, maka dilakukan pengambilan data subjektif dengan menggunakan kuesioner NASA-TLX untuk membandingkan hasil yang didapatkan melalui alat sensor GSR dengan *perceived mental workload*.

Menurut Unnikrishnan et al. (2021), masih sedikit penelitian tentang *virtual reality* untuk pelatihan dalam bidang industri yang menggunakan *biosensors* seperti konduktansi kulit, denyut jantung, sinyal otak, *eye tracking*, dan suhu. Sejak tahun 2018 hingga 2021 ketika jurnal tersebut ditulis, riset mengenai penggunaan *virtual reality* yang menggunakan data *biosensors* hanya sebanyak 18% (N=14) dari 78 publikasi yang digunakan sebagai representasi menggunakan data *biosensors* dan dalam bidang manufaktur hanya terdapat 2 riset terpublikasi yang menggunakan data *biosensors*.

Psychomotor Vigilance Task sudah banyak digunakan di dalam penelitian terkait efek kafein dan *sleep deprivation* maupun *sleep loss* terhadap tingkat kewaspadaan (*alertness*) pada seseorang (Khitrov et al., 2018; Lamond, Dawson & Roach 2005; Siswanto et al., 2017). Selain itu juga, PVT juga pernah digunakan dalam menguji kewaspadaan dalam konteks mengemudi dengan menggunakan simulator kereta api. Tingkat kewaspadaan seseorang akan cenderung menurun jika dibarengi dengan kuantitas tidur yang menurun dan peningkatan skor kantuk (Theresia, Iridiastasi & Pratama, 2021). Penelitian lainnya terkait tingkat *stress* dan tingkat kewaspadaan juga dilakukan oleh Qi & Gao (2020), terdapat peningkatan kewaspadaan serta *intensive attention* ketika partisipan berada dalam keadaan *acute stress*. Penelitian yang

meneliti tingkat kewaspadaan pada *virtual reality* masih jarang dilakukan. Tingkat kewaspadaan yang diukur menggunakan *Psychomotor Vigilance Task* (PVT), dikarenakan belum terdapat riset yang mengukur pengaruh *virtual reality* terhadap tingkat kewaspadaan dengan menggunakan PVT.

Sistem kerja merupakan suatu sistem yang terdiri dari manusia, material, mesin, metode, dan lingkungan. Hal-hal tersebut akan berinteraksi antara satu dengan yang lainnya yang dapat mempengaruhi kinerja dari sistem kerja tersebut (Husein et al., 2009). Pekerjaan repetitif merupakan suatu pekerjaan yang dilakukan berulang kali. Dalam hal ini, sistem kerja untuk pekerjaan repetitif meliputi manusia, lingkungan kerja, alat yang digunakan dalam melakukan pekerjaan. Langkah pengerjaan tugas, dan objek yang dikerjakan.

Penggunaan *virtual reality* dapat memberikan banyak *benefit* dalam dunia industri yang mungkin tidak dapat didapatkan pada dunia nyata. Walaupun teknologi *virtual reality* dewasa ini dapat menyerupai dunia nyata dengan cukup baik, terdapat beberapa perbedaan dan batasan yang terjadi di dalam penggunaan *virtual reality* dan dari beberapa penelitian yang didapatkan, penggunaan *virtual reality* mempengaruhi aspek fisiologis manusia. Hal ini menjadi suatu hal yang perlu untuk diteliti apakah penggunaan *virtual reality* mempengaruhi fisiologis manusia secara signifikan dan dapat mempengaruhi kinerja yang dihasilkan berdasarkan interaksi yang terjadi dalam lingkungan virtual dengan membandingkan sistem kerja dalam lingkungan virtual dengan sistem kerja yang dibuat serupa pada dunia nyata.

Melihat perkembangan penggunaan teknologi *virtual reality* yang semakin pesat dan kemungkinan penggunaan teknologi *virtual reality* ke depannya akan semakin luas bahkan untuk sektor-sektor yang mungkin tidak terpikirkan sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian mengenai efek *virtual reality* terhadap manusia menjadi hal yang memiliki *urgency* untuk diteliti melihat manusia merupakan subjek utama yang menggunakan *virtual reality*.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Eksperimen

Variabel independen pada penelitian kali ini adalah tugas ringan (A1), tugas berat (A2), *virtual reality* (B1) dan *real world* (B2), dan untuk variabel dependen yang digunakan pada penelitian kali ini meliputi tingkat kinerja, PVT, dan GSR, dan data GSR akan didukung dengan skor yang didapatkan berdasarkan NASA-TLX. Rancangan desain eksperimen digambarkan pada **Tabel 1**. Penelitian dilakukan dengan menggunakan partisipan dewasa awal dengan rentang umur 18 – 25 tahun, mempertimbangkan UU No.13 Tahun 2003 tentang



Gambar 1. Objek Senter (Kiri Nyata-Kanan Virtual)



Gambar 2. Desain Lingkungan Virtual



Gambar 3. Desain Lingkungan Kerja Nyata

ketenagakerjaan, pembuatan *environment* dilakukan dengan menggunakan *software* Unity, tugas perakitan dan pemindahan senter yang dilakukan diperuntukkan untuk *single user*, tugas perakitan dan pemindahan dibuat untuk tugas repetitif dalam industri manufaktur, partisipan yang melakukan penelitian merupakan individu yang cukup paham terhadap teknologi, karakteristik pekerjaan atau tugas yang dilakukan merupakan pekerjaan *repetitive*.

Terdapat beberapa asumsi dalam penelitian ini yaitu, tidak ada perbedaan yang signifikan antara pria dan wanita yang dapat mempengaruhi kinerja, hal-hal pada dunia nyata yang tidak dapat dibuat di dalam dunia *virtual* akan diabaikan atau diasumsikan sama, kondisi responden dalam keadaan normal yang dapat mempengaruhi performansi dalam penggunaan teknologi *virtual reality*, dan responden dianggap tidak mengalami *cybersickness* selama melakukan aktivitas menggunakan *headmounted display* untuk *virtual reality*.

Pada penelitian yang dilakukan kali ini, partisipan akan diberikan 2 jenis tugas yaitu tugas ringan dan tugas berat. Tugas ringan dan tugas berat dikategorikan berdasarkan dengan waktu dan *effort* yang diberikan untuk menyelesaikan masing-masing tugas. Pada tugas ringan diberikan waktu 10 menit sedangkan pada tugas berat diberikan waktu 5 menit untuk merakit 20 buah senter. Setiap partisipan pada penelitian ini akan mengisi *consent form* atau telah menyetujui untuk mengikuti rangkaian eksperimen yang dibutuhkan. Partisipan yang setuju akan mendapatkan insentif berupa *voucher* belanja setelah mereka menyelesaikan rangkaian aktivitas yang dilakukan pada penelitian ini. Didapatkan secara total 28 partisipan dengan 7 untuk setiap *treatment* sesuai dengan jumlah sampel minimum yang dibutuhkan

dengan rentang usia 18 hingga 24 tahun dan merupakan kalangan pelajar atau mahasiswa.

2.1.1 Objek Pengukuran

Aktivitas yang akan dilakukan oleh responden yaitu perakitan senter yang terdiri dari beberapa komponen seperti: tutup bawah senter, badan senter, baterai, *light bulb*, kepada atas senter, kaca, dan tutup atas senter. **Gambar 1** merupakan gambar senter yang digunakan.

2.1.2 Partisipan

Desain lingkungan pada *virtual environment* dan lingkungan nyata dibuat menyerupai satu sama lain. Pengukuran subjektif dengan memastikan objek tampilan pada lingkungan virtual dan asli sama. Perancangan lingkungan virtual dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Unity untuk perancangan lingkungan dan interaksi dan Blender yang digunakan untuk melakukan perancangan pada objek perakitan yang digunakan yaitu senter. Setiap partisipan diberikan waktu penyesuaian untuk menggunakan VR selama 5-10 menit. Hal ini dilakukan agar partisipan terbiasa dengan penggunaan *controller* dan tampilan pada lingkungan VR. **Gambar 2** merupakan desain lingkungan pada lingkungan virtual. **Gambar 3** merupakan rancangan lingkungan kerja pada dunia nyata.

2.2 Prosedur Penelitian

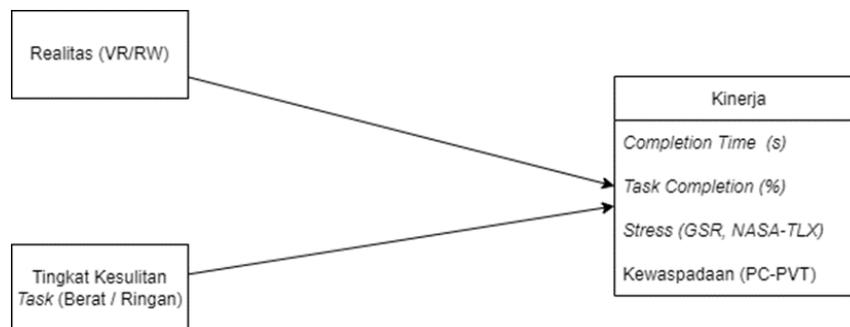
Pilot study dilakukan guna mengevaluasi rancangan tahapan penelitian yang dilakukan sudah berjalan sesuai dengan prosedur penelitian. *Pilot study* dilakukan dengan mengambil 2 sampel data untuk setiap jenis *treatment*. Digunakan *power charts* dan *d Cohen's Table* untuk menghitung kebutuhan *sample size*. Dalam perhitungan kebutuhan *sample size* data

Tabel 2. Nilai *Mean* dan Standar Deviasi *Completion Time Pilot Study*

Realitas/Task	Berat	Ringan	Grand Total
RW	18,033	21,877	19,955
<i>Mean SD</i>	1,952	2,600	2,907
VR	18,801	30,781	24,791
<i>Mean SD</i>	5,011	5,587	8,162
Grand Total	18,417	26,329	22,373
Grand SD	3,137	6,252	6,233

Tabel 3. Operasionalisasi Variabel

Variabel	Jenis Variabel	Indikator	Definisi
Variabel bebas	Tingkat kesulitan Realitas	Tugas berat dan ringan <i>Virtual reality (VR)</i> dan <i>real world (RW)</i>	Tingkat kesulitan dalam menyelesaikan tugas Realitas yang digunakan
Variabel terikat	Tingkat Kewaspadaan <i>Stress</i>	<i>Mean Response Time (MRT)</i> Konduktansi Kulit (GSR)	Rata-rata waktu reaksi pada stimulus PVT Konduktansi kulit yang meningkat selaras dengan <i>stress</i>



Gambar 4. Model Konseptual

dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan tingkat kesulitan *task* yang diberikan yaitu *task* berat dan *task* ringan dengan menggunakan data nilai rata-rata dari *completion time* (s). **Tabel 2** menunjukkan nilai *mean* (rata-rata) dan standar deviasi (SD) dari setiap *treatment* untuk data *time completion* (s).

Perhitungan *sample size* dilakukan dengan menggunakan rumus Cohen's d. Pada persamaan (1) dibawah ini merupakan rumus untuk mencari nilai *effect size* d.

$$d = \frac{|m_A - m_B|}{\sigma} \quad (1)$$

Pada penelitian ini nilai standar deviasi yang didapatkan antara kelompok *task* tidak sama, sehingga digunakan nilai *pooled standard deviation* untuk menghitung nilai *effect size* d. Persamaan (2) di bawah ini merupakan rumus untuk mencari *pooled standar deviation*.

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}{2}} \quad (2)$$

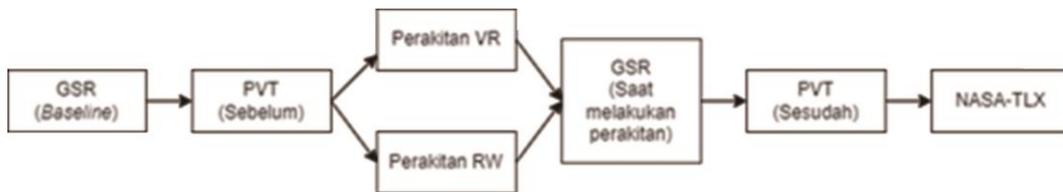
Perhitungan *sample size* dilakukan dengan menggunakan tabel penentuan *sample size* Cohen's d dengan menggunakan nilai *effect size* (d), *power* sebesar 0,8 dan nilai signifikansi *two-tailed alpha* 0,05. Didapatkan nilai *pooled standar deviasi* sebesar 4,946 dengan nilai Cohen's d 1,599. Dilakukan ekstrapolasi untuk mendapatkan nilai *sample size* yang dibutuhkan

adalah 7 partisipan untuk setiap *treatment*. Terdapat 4 *treatment*, maka dibutuhkan jumlah partisipan minimal yang dibutuhkan adalah sebanyak 28 orang partisipan.

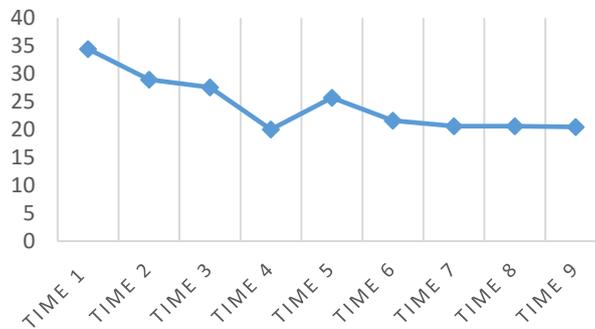
Penentuan waktu yang diberikan didasarkan pada percobaan yang dilakukan dengan menghitung rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk merakit satu buah senter sehingga didapatkan nilai perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk merakit 20 buah senter. Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan dan juga berdasarkan data *pilot study* yang dilakukan, didapatkan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk merakit satu buah senter memiliki rata-rata 22,37 detik. Sehingga didapatkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan *task* merakit 20 buah senter berada dalam kisaran rata-rata waktu 7,457 menit. Dapat dikatakan waktu yang dibutuhkan berkisar dari 7 hingga 8 menit untuk dapat menyelesaikan *task* merakit 20 buah senter. Diberikan kelonggaran untuk *task* ringan sehingga ditetapkan waktu sebesar 10 menit dan diberikan tekanan untuk *task* berat sehingga ditetapkan waktu yang diberikan untuk *task* berat dalam menyelesaikan *task* sebesar 5 menit.

2.3 Pengumpulan Data

Berdasarkan desain eksperimen yang telah dibentuk, dikarenakan tidak ada perubahan desain setelah melakukan *pilot study*, maka ditentukan operasionalisasi variabel yang dapat dilihat pada **Tabel 3** dengan model konseptual yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Variabel independen pada penelitian kali ini adalah tugas ringan (A1), tugas berat (A2), *virtual*



Gambar 5. Tahapan Pengambilan Data



Gambar 6. Contoh Grafik *Learning Curve*



Gambar 7. Partisipan Melakukan *Task* pada VR



Gambar 8. Partisipan dengan Sensor GSR pada saat Melakukan *Task*

reality (B1) dan *real world* (B2), dan untuk variabel dependen yang digunakan pada penelitian kali ini meliputi tingkat kinerja, PVT, dan GSR. Tugas ringan dan tugas berat dikategorikan berdasarkan dengan waktu yang diberikan untuk menyelesaikan masing-masing *task*. Pada *task* ringan diberikan waktu 10 menit sedangkan pada *task* berat diberikan waktu 5 menit untuk *assembly* 20 buah senter.

Pada **Gambar 5** dapat dilihat alur pengambilan data. Partisipan akan melakukan pengukuran nilai GSR pada saat istirahat selama 5 menit, dan PC-PVT sebelum melakukan perakitan selama 5 menit sebelum berlatih dan melakukan perakitan dengan dipasangkan sensor GSR saat sedang melakukan *task*. Setelah itu setiap partisipan akan melakukan PC-PVT lagi selama 5 menit, kemudian mengisi kuesioner NASA-TLX pada *form* yang diberikan. Setiap partisipan akan mendapatkan waktu berlatih sebelum melakukan perakitan. Tidak ada batasan waktu dalam berlatih. Partisipan akan berlatih hingga waktu yang dibutuhkan

untuk merakit 1 buah senter pada lingkungan virtual atau nyata sudah mendekati konstan. **Gambar 6** merupakan contoh grafik *learning curve* partisipan dalam penelitian ini.

Setiap partisipan akan mendapatkan waktu berlatih sebelum melakukan perakitan. Tidak ada batasan waktu dalam berlatih. Partisipan akan berlatih hingga waktu yang dibutuhkan untuk merakit 1 buah senter pada lingkungan virtual atau nyata sudah mendekati konstan. Pada **Gambar 6** merupakan contoh grafik *learning curve*. **Gambar 7** merupakan gambar partisipan saat sedang melakukan *task* pada lingkungan virtual. **Gambar 8** merupakan gambar sensor GSR dengan *handphone* yang dipasangkan pada partisipan pada saat melakukan kegiatan eksperimen.

2.4 Hasil dan Pembahasan

2.4.1 Statistika Deskriptif

Perhitungan secara statistika deskriptif dilakukan untuk melakukan membantu menganalisa

Tabel 4. Pengolahan Statistika Deskriptif Pertama

	<i>Task Completion</i>		<i>Time Completion</i>		<i>Delta GSR</i>	
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
A1B1	100	0	19,03	1,62	0,539	3,095
A2B1	69,29	16,18	22,24	5,88	3,393	4,918
A1B2	100	0	17,96	1,65	2,011	4,02
A2B2	83,57	9,45	17,97	2,11	0,734	3,907

Tabel 5. Pengolahan Statistika Deskriptif Kedua

	<i>Delta PC-PVT</i>		<i>WWL NASA-TLX</i>	
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
A1B1	-11,03	21,19	55,37	24,28
A2B1	-10,16	26,09	61,02	10,04
A1B2	-6,09	33,4	51,52	15,5
A2B2	-16,83	21,1	64,52	11,19

Tabel 6. Kategori WWL NASA-TLX

<i>Workload</i>	<i>WWL Value</i>	<i>Workload</i>	<i>WWL Value</i>
<i>Low</i>	0-9	<i>High</i>	50-79
<i>Medium</i>	10-29	<i>Very high</i>	80-100
<i>Somewhat high</i>	30-49		

Tabel 7. WWL NASA-TLX

	<i>RW-Ringan</i>	<i>RW-Berat</i>	<i>VR-Ringan</i>	<i>VR-Berat</i>
P1	27,33	64	49,44	69
P2	67,333	64,67	86,67	65
P3	72	82	61,33	74,8
P4	52	75	50,4	48
P5	56,67	62,67	80,33	49,33
P6	41,33	50,67	13,53	56,67
P7	44	52,67	46	64,33
Rata-rata	51,52	64,53	55,39	61,02

Tabel 8. Hasil *Homogeneity Test*

<i>Data</i>	<i>p-value</i>	<i>Kesimpulan</i>
Rata-rata <i>completion time</i>	0,38	Data homogen
Selisih rata-rata MRT PC-PVT	0,886	Data homogen
Selisih rata-rata GSR	0,737	Data homogen
WWL NASA-TLX	0,336	Data homogen

data yang didapatkan. Pengolahan statistika deskriptif dilakukan untuk seluruh aspek pada variabel dependen untuk setiap *treatment* dan dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**. Pengolahan data secara statistika deskriptif dilakukan untuk melihat nilai *mean* dan standar deviasi pada data. Data GSR yang digunakan pada data diatas adalah selisih yang didapatkan dari data rata-rata GSR *baseline* dengan GSR *actual* atau GSR ketika melakukan aktivitas perakitan. Hal yang sama juga dilakukan untuk hasil PC-PVT dimana data yang digunakan dalam pengolahan statistika deskriptif merupakan data selisih antara nilai *average mean reaction time* yang didapatkan sebelum dan sesudah melakukan aktivitas perakitan. **Tabel 6** merupakan nilai WWL dengan kategori tingkat *workload* yang dirasakan berdasarkan nilai WWL yang didapatkan dari hasil perhitungan. Perhitungan untuk nilai WWL dapat dilihat pada persamaan (3) dan persamaan (4) dibawah ini. WWL dari setiap partisipan untuk setiap *treatment* dapat dilihat pada **Tabel 7**.

$$Bobot\ Skor\ A = Skor\ A * \sum\ tally\ A \quad (3)$$

$$Weighted\ Workload = \frac{\sum\ Bobot\ skor\ 6\ kategori}{15} \quad (4)$$

2.4.2 Uji Pengaruh

Dilakukan uji asumsi klasik berupa uji normalitas data dan uji homogenitas data. Uji normalitas data dilakukan untuk mengecek apakah distribusi data yang didapatkan mengikuti distribusi normal. Uji normalitas akan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Minitab. Metode yang digunakan dalam melakukan uji normalitas pada penelitian kali ini adalah metode Ryan-Joiner pada Minitab dengan menggunakan nilai *alpha* 0,05. Hal ini dikarenakan jumlah data yang didapatkan < 50. Hasil dari uji yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa semua data berdistribusi normal dengan *p-value* < 0.05.

Uji berikutnya yang dilakukan adalah uji homogenitas. Uji homogenitas merupakan uji yang dilakukan untuk mengecek apakah data antara *group treatment* homogen. Uji ini dilakukan untuk mendukung asumsi pengolahan data *two-way ANOVA* yang akan dilakukan. Uji homogenitas dengan menggunakan *Levene's Test* dengan *alpha* 0,05. Hasil uji homogenitas dapat dilihat pada **Tabel 8**. Didapatkan bahwa asumsi normalitas dan asumsi homogenitas terpenuhi, sehingga uji dengan menggunakan *two-way ANOVA* dapat dilakukan. *Two-way ANOVA* digunakan

Tabel 9. Hasil Uji *Two-way ANOVA*

<i>p-value</i>	<i>Mean GSR</i>	<i>Mean PVT</i>	<i>Mean Completion Time</i>	<i>WWL</i>
Tingkat Kesulitan	0,622	0,773	0,446	0,142
Realitas	0,798	0,194	0,175	0,978
Interaksi	0,215	0,362	0,621	0,555

dikarenakan terdapat 2 faktor dan terdapat 2 *level* untuk setiap faktornya, serta ingin diketahui apakah ada interaksi antara kedua faktor tersebut dalam hal ini adalah realitas dan *task*. Hasil uji dengan menggunakan *two-way ANOVA* dapat dilihat pada **Tabel 9**. Variabel tingkat kesulitan, realitas serta interaksi keduanya tidak berpengaruh terhadap hasil nilai rata-rata GSR, PVT, waktu penyelesaian dan skor WWL serta tidak terdapat interaksi antara kedua variabel tersebut (*p-value* >0.05).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Pengaruh

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan kedua faktor realitas dan faktor *task* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja yang dilihat dari *average time completion*, tingkat *stress* yang dilihat berdasarkan nilai perubahan GSR dan WWL yang didapatkan dari NASA-TLX, dan tingkat kewaspadaan yang dilihat berdasarkan *mean reaction time* PC-PVT. Baik faktor realitas maupun *task* tidak mempengaruhi tingkat *stress*. Hal ini dapat dipengaruhi oleh tidak adanya insentif yang kuat untuk dapat mempengaruhi *stress* akut. GSR merupakan tes yang sangat bergantung terhadap subjek, sehingga pengolahan data dilakukan dengan melihat perbedaan yang terjadi pada setiap individu sehingga menggunakan nilai selisih. Hasil ini juga didukung oleh hasil NASA-TLX yang tidak memberikan perbedaan antar *treatment*, walaupun secara statistika deskriptif terlihat ada perbedaan dengan partisipan yang mendapatkan *task* berat memiliki hasil *perceived stress* berdasarkan nilai WWL NASA-TLX lebih tinggi dibandingkan dengan partisipan yang diberikan *task* berat.

Secara statistika deskriptif dapat terlihat bahwa terdapat penurunan pada MRT dan lebih banyak terjadi *minor lapse* hampir terjadi pada setiap *treatment*. Efek mungkin akan terlihat dengan durasi waktu aktivitas yang lebih lama. Selain itu, perbedaan waktu yang terjadi sebelum dan sesudah melakukan aktivitas tidak terlalu berbeda dan antar *treatment* perbedaan waktu yang terjadi untuk tingkat kewaspadaan tidak jauh berbeda antara satu dengan yang lainnya.

Melihat hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Liu, van Liere, Nieuwenhuizen, & Martens (2009), menyimpulkan bahwa perbedaan gerakan yang terjadi pada dunia virtual mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam mengarahkan terhadap suatu target yang menjadi hal yang diteliti dalam penelitian yang dilakukan oleh Liu et al. sehingga gerakan menjadi tidak efisien. Tetapi, penelitian yang dilakukan oleh Liu et al. (2009) mengatakan bahwa partisipan lebih berkembang pada dunia virtual karena fase perbaikan yang dibutuhkan dan dilakukan lebih lama dibandingkan dengan dunia nyata. Hal ini serupa dengan penelitian dimana peserta lebih memakan

waktu latihan pada *virtual reality* lebih lama dibandingkan dengan *real world*.

Dengan berbagai penelitian yang telah dilakukan untuk membandingkan antara *virtual reality* dengan *real world* masih terdapat perbedaan hasil penelitian yang didapatkan. Kemiripan dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan terdapat pada kemudahan penggunaan VR untuk melakukan replikasi dan repetisi dapat memberikan keuntungan kedepannya untuk melakukan pelatihan dengan *cost* yang lebih rendah. Selain itu, masih terdapat batasan perbedaan mengenai interaksi dan *control* dalam penggunaan VR dimana partisipan akan perlu membiasakan diri dengan *control* pada VR.

3.2 Tingkat Stress dengan Kewaspadaan

Nilai rata-rata untuk selisih antara GSR *baseline* dengan GSR ketika sedang melakukan aktivitas menunjukkan bahwa pada perlakuan realitas virtual dengan *task* berat, nilai rata-rata kenaikan GSR berada di nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya dengan nilai 3,393 μS . Hal ini juga didukung, dengan skor WWL untuk realitas virtual dengan *task* berat memiliki nilai WWL yang lebih tinggi. Tetapi, untuk skor selisih GSR realitas nyata dengan *task* ringan memiliki nilai kenaikan secara GSR tertinggi kedua setelah realitas virtual dengan *task* berat dengan nilai 2,011 μS .

Ditemukan bahwa tingkat kewaspadaan dengan menggunakan PC-PVT didapatkan hasil bahwa selisih antara *mean reaction time* (MRT) sebelum dengan MRT sesudah didapatkan bahwa partisipan dengan *treatment* realitas nyata dan *task* berat memiliki penurunan *reaction time* sehingga membutuhkan *reaction time* yang lebih lama dengan rata-rata sebesar 16,833 s. Secara keseluruhan untuk seluruh *treatment* dihasilkan *reaction time* yang lebih lama setelah melakukan *task* pada seluruh jenis *treatment*. Hal ini juga didukung dengan nilai *minor lapse* yang lebih tinggi setelah melakukan aktivitas dibandingkan dengan sebelum melakukan aktivitas. Penurunan atensi ini didukung juga dengan *repetitive task* yang dilakukan yang menurunkan *task engagement*. Berdasarkan data yang didapatkan, dapat terlihat bahwa secara tidak langsung tingkat *stress* yang lebih tinggi mendorong terjadinya penurunan pada tingkat kewaspadaan.

3.3 Time dan Task Completion

Dalam lingkungan VR dengan lingkungan RW terdapat batasan masing-masing dimana dalam VR partisipan mengalami kesulitan dalam pengambilan barang dengan fitur *grabbable* yang diberikan pada Unity. Hal ini dipengaruhi oleh persepsi partisipan pada dunia virtual yang berbeda dengan realitas nyata, tetapi pemasangan untuk *part* objek lebih mudah dengan fitur *snapshot* pada Unity sehingga partisipan hanya perlu

mendekatkan objek satu sama lain pada lokasi yang tepat maka benda akan menempel secara otomatis atau tertarik secara otomatis pada jarak tertentu. Pada dunia nyata, untuk mereplika hal ini, partisipan yang melakukan perakitan pada dunia nyata mendapatkan batasan untuk tidak melakukan gerakan tertentu yang tidak ada pada dunia virtual seperti gerakan memutar, sehingga beberapa *part* yang seharusnya terdapat gerakan berputar untuk dipasangkan antar *part* dihilangkan dan dilakukan pemasangan secara *snapzone* yang lebih membutuhkan tenaga untuk memasangkan antar *part*. Kesulitan dan *benefit* dari antar realitas membuat data waktu yang dihasilkan memungkinkan data yang dihasilkan menjadi terlihat tidak memiliki pengaruh dalam uji statistik yang dilakukan.

3.4 Kinerja dengan Stress

Ditemukan bahwa skor WWL NASA-TLX yang dihasilkan secara perhitungan rata-rata partisipan memiliki tingkat *stress* yang lebih tinggi ketika diberikan *task* berat. Dengan melihat data *task completion* dimana partisipan dengan *task* ringan memiliki waktu yang jauh lebih luang untuk dapat menyelesaikan *task* dibandingkan dengan partisipan yang diberikan *task* berat. Partisipan dengan *task* ringan baik pada *virtual reality* ataupun *real world* dapat menyelesaikan *task* untuk merakit 20 senter dalam waktu yang diberikan yaitu 10 menit. Partisipan dengan *task* berat tidak ada yang dapat menyelesaikan *task* secara tepat waktu dalam waktu yang ditentukan yaitu 5 menit. Partisipan dengan realitas nyata pada *task* berat memiliki rata-rata *task completion* 83,571%, sedangkan partisipan dengan realitas virtual untuk *task* berat memiliki rata-rata *task completion* 69,286%. Secara realitas, partisipan lebih mudah untuk mengejar *task completion* pada realitas nyata dibandingkan pada realitas virtual. Hal ini didukung dengan rata-rata waktu siklus perakitan untuk realitas nyata lebih cepat dibandingkan dengan realitas virtual. Dimana, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk merakit 1 buah senter pada realitas nyata untuk *task* berat adalah 17,989 detik, dan untuk *task* ringan membutuhkan waktu sebanyak 17,963 detik. Sedangkan, pada realitas virtual dengan *task* berat membutuhkan waktu sebesar 22,244 detik dan untuk *task* ringan membutuhkan waktu sebanyak 19,032 detik. Dapat terlihat bahwa persentase *task completion* untuk *task* berat pada RW lebih stabil dibandingkan dengan perlakuan pada VR

3.5 Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian kali ini, perancangan lingkungan virtual dilakukan dengan keterbatasan kemampuan peneliti dalam merancang lingkungan virtual. Beberapa aspek dalam dunia nyata seperti gerakan untuk memutar ketika memasangkan beberapa *part* objek tidak dapat direplikasi dalam lingkungan virtual. Sehingga, dilakukan akomodasi pada realitas nyata untuk tidak melakukan gerakan memutar untuk menyamakan gerakan dengan dunia virtual. Animasi yang dilakukan pada tangan masih menggunakan *physics* untuk menahan benda agar tidak menembus tangan, sehingga pengambilan objek dalam dunia

virtual akan terlihat seperti melayang dan tidak berada di dalam tangan. Hal ini dapat mempengaruhi persepsi partisipan yang belum terbiasa dengan lingkungan virtual yang dibuat dan pengambilan objek menjadi cukup sulit bagi beberapa partisipan akibat persepsi ini. Lingkungan virtual masih belum dapat 100% memiliki gerakan-gerakan tertentu dalam dunia nyata. *Immersive virtual reality* akan memberikan kesan nyata secara visual, tetapi dalam interaksi dengan *controller* yang digunakan masih terdapat perbedaan dan memerlukan penyesuaian persepsi.

3.6 Usulan Rekomendasi

Dapat disimpulkan bahwa *virtual reality* tidak memiliki pengaruh signifikan yang dapat mempengaruhi kinerja untuk *repetitive task* dan dapat menjadi *beneficial* dalam beberapa hal. Jenis pekerjaan dapat menjadi aspek yang berpengaruh dalam efektivitas penggunaan *virtual environment*. Penggunaan *virtual reality* lebih baik dibuat secara *immersive* dimana *immersive virtual reality* dikarenakan visualisasi yang ada dalam *immersive virtual reality* dapat tampak lebih nyata. Penggunaan *virtual reality* juga lebih direkomendasikan untuk *task* yang membutuhkan penggunaan *skill* kognitif yang lebih tinggi. Pada pekerjaan repetitif atau perakitan, *virtual reality* dapat memberikan bantuan pembelajaran awal sebelum melakukan perakitan di dunia nyata.

Dikarenakan kompleksitas lingkungan dalam *virtual environment* yang mempengaruhi pemahaman untuk interaksi dan *control virtual* serta melakukan pekerjaan atau *task* dalam lingkungan virtual. *Virtual environment* dapat menjadi media pelatihan yang lebih baik dan *cost effective* untuk hal-hal yang membutuhkan penggunaan aspek kognitif yang lebih tinggi. Perlu diperhatikan juga mengenai waktu pelatihan. Waktu pelatihan yang ditujukan untuk mengenal lingkungan virtual akan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan lingkungan nyata. Tetapi, kemudahan untuk replikasi atau pengulangan dalam *virtual environment* dibandingkan dengan melakukan *set-up* ulang pada dunia nyata dapat menjadi lebih *time efficient* dibandingkan dengan dunia nyata untuk pelatihan yang membutuhkan waktu *set-up* pelatihan yang lama. Pada pekerjaan yang *repetitive*, direkomendasikan untuk menunjukkan *key movements* yang akan menjadi penting ketika perakitan di dunia nyata atau urutan perakitan yang seharusnya dilakukan. Dengan memberikan *key movements* sebagai pembelajaran untuk diingat dapat menjadi *beneficial* bagi penggunaan VR untuk pelatihan.

VR direkomendasikan untuk digunakan saat pelatihan jika biaya pengulangan untuk pelatihan yang mahal atau pada dunia nyata cukup sulit dan kompleks untuk menyusun sistem pelatihan. Perlu dipertimbangkan juga aspek-aspek dalam lingkungan virtual dan apakah interaksi yang ada di dalam pelatihan dalam *virtual environment* dapat dengan mudah memicu *cybersickness* dan mempertimbangkan waktu istirahat dengan melepas *head-mounted display*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hendrika et al., (2021) disarankan pemakaian *virtual reality* hanya

berdurasi sekitar 15-20 menit untuk menghindari efek dari *cybersickness*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan, tidak ditemukan bukti yang cukup pada penelitian ini untuk dapat mengatakan bahwa terdapat pengaruh antara faktor realitas ataupun faktor *task* terhadap tingkat kinerja yang dilihat dari *time completion*, *task completion*, tingkat kewaspadaan, dan tingkat *stress*. Sehingga bisa disimpulkan bahwa belum terdapat perbedaan hasil kinerja (waktu dan penyelesaian tugas) pada aktivitas perakitan senter secara repetitif sehingga memunculkan gap penelitian yang masih menarik untuk dikaji lebih lanjut. Hal ini bisa terjadi mungkin karena kompleksitas pemberian tugas perakitan senter masih tergolong sederhana dan praktisi sehingga diantara kedua lingkungan yang berbeda belum menunjukkan hasil yang berbeda pula.

Pada aspek tingkat *stress* yang diukur secara objektif dengan menggunakan GSR dan secara subjektif dengan menggunakan NASA-TLX. Hasil pengolahan secara statistika deskriptif menunjukkan bahwa hasil WWL NASA-TLX yang didapatkan, pada *task* berat menunjukkan hasil nilai WWL yang lebih tinggi dibandingkan dengan *task* ringan. Hasil penelitian mengenai pengaruh faktor realitas dan faktor *task* terhadap tingkat kewaspadaan tidak terdapat pengaruh antara faktor realitas dan faktor *task* terhadap tingkat kewaspadaan, tetapi terlihat ada penurunan kualitas MRT dan lebih banyak terjadi *minor lapse*. Hal ini dapat diteliti lebih lanjut dan memungkinkan untuk memberikan pengaruh dengan durasi waktu aktivitas perakitan atau pekerjaan repetitif yang lebih lama.

5. Daftar Pustaka

- Abidi, M. H., Al-Ahmari, A., Ahmad, A., Ameen, W., & Alkhalefah, H. (2019). Assessment of virtual reality-based manufacturing assembly training system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3743-3759.
- Frederiksen, J. G., Sorensen, S.M.D., Konge, L., Svendsen, M.B.S., Jorgensen, M.N., Bjerrum, F., & Andersen, S.A.W. (2019). Cognitive load and performance in immersive virtual reality simulation training of laparoscopic surgery: a randomized trial. *Surgical Endoscopy*, 34(3), 1244-1252.
- Hendrika, A., Theresia, C., & Yogasara, T. (2021). Cybersickness Testing Of Gender And Experience Factors Using Virtual Reality. *International Journal of Engineering Technology and Natural Sciences*, 2(2), 63-69.
- Husein, T., Kholil, M., dan Sarsono, A. (2009). Perancangan sistem kerja ergonomis untuk mengurangi tingkat kelelahan. *Industrial and Systems Engineering Assessment Journal (INASEA)-Discontinued*, 10, 45-58
- Joyner, J.S., Cooke, M.V., & Benz, H.L., (2021). Comparison of Dexterous Task Performance in Virtual Reality and Real-World Environments. *Journal Frontiers in Virtual Reality*, 2, 599274, 1-18.
- Kalantari, S., Rounds, J.D., Kan, J., Tripathi, V., Cruz-Garza, J.G., (2021). Comparing Physiological Responses During Cognitive Tests in Virtual Environments vs In Identical Real-world Environments. *Scientific Reports*, 11(1), 10227.
- Khademi, M., Hondori, H.M., Dodakian, L. Cramer, S., & Lopes, C.V. (2013). Comparing “pick and place” Task in Spatial Augmented Reality versus Non-immersive Virtual Reality for Rehabilitation. In *35th Annual International Conference of the IEEE EMBS* (pp. 4613-4616), Osaka, Japan.
- Khitrov, M. Y., Laxminarayan, S., Thorsley, D., Ramakrishnan, S., Rajaraman, S., Wesensten, N. J., & Reifman, J. (2014). PC-PVT: A platform for psychomotor vigilance task testing, analysis, and prediction. *Behavior Research Methods*, 46(1), 140-147.
- Kozak, J. J., Hancock, P. A., Arthur, E. J., & Chrysler, S. T. (1993). Transfer of training from virtual reality. *Ergonomics*, 36(7), 777-784.
- Lamond, N., Dawson, D., & Roach, G. (2005): Fatigue assessment in the field: Validation of a hand-held electronic psychomotor vigilance task, *Aviation Space Environment Med*, 76(5), 486-489.
- Liu, L., van Liere, R., Nieuwenhuizen, C., & Martens, J. B. (2009). Comparing aimed movements in the real world and in virtual reality. In *2009 IEEE Virtual Reality Conference* (pp. 219-222). IEEE.
- Meshkati, N., Hancock, P. a., Rahimi, M., & Dawes, S. M. (1995). Techniques in mental workload assessment. *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology*, 749-782.
- Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of materials processing technology*, 155, 1834-1838.
- Qi, M., & Gao, H. (2020). Acute psychological stress promotes general alertness and attentional control processes: An ERP study. *Psychophysiology*, 57(4), e13521.
- Siswanto, D., Yogasara, T., Sutjitro., V.L., Levin. (2017). Studi Perbandingan Psychomotor Vigilance Task (PVT) dan Flicker Sebagai Alat Uji Tingkat Kewaspadaan. Research Report Engineering Science. Diakses melalui <https://repository.unpar.ac.id/> [2022, 15 Februari]
- Statista. (2020). Leading applications of immersive technologies in the manufacturing sector in the next two years according to XR/AR/VR/MR. Diakses melalui <https://www.statista.com/statistics/1185073/applications-immersive-technologies-xr-ar-vr-mr-manufacturing/#statisticContainer> [28 Desember 2021]
- Theresia, C., Iridiastadi, H., & Pratama, G. B., (2021). Effects of Sleep Deprivation on Vigilance, Attention, and Performance During Simulated Train Driving. *International Journal Industrial*

- Engineering & Management Systems*, 20 (1), 27-34.
- Unnikrishnan, R., Konstantinos, K & Francesco, C., (2021): A systematic review of immersive virtual reality for industrial skills training, *Behaviour & Information Technology*, 40 (12), 1234-1236.
- Weech, S., Kenny, S., & Barnett-Cowan, M. (2019). Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review. *Front. Psychol*, 10, 158.