

## INTISARI

Penggunaan *virtual reality* yang meningkat secara signifikan dan terus menerus juga telah memunculkan kekhawatiran tentang *cybersickness* yang dialami oleh pengguna. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab *cybersickness*, yaitu kondisi tidak nyaman yang dialami pengguna saat berada dalam lingkungan *virtual*. Faktor penyebab terjadinya *cybersickness* mencakup postur tubuh, konten yang digunakan, serta pengalaman menggunakan VR. Kombinasi antar faktor tersebut dari penelitian sebelumnya menunjukkan adanya hasil yang berbeda antara keadaan postur pengguna yang bersifat aktif dan pasif dengan konten yang bersifat dinamis dan statis, perbedaan hasil juga terjadi pada pengalaman pengguna, gamers menunjukkan *cybersickness* yang terbentuk lebih kecil dibanding dengan non gamer, penelitian lain menunjukkan gamers dan non gamer tidak ada perbedaan. Kombinasi antar faktor tersebut dari penelitian sebelumnya menunjukkan adanya hasil yang berbeda antara keadaan postur pengguna yang bersifat aktif dan pasif dengan konten yang bersifat dinamis dan statis, perbedaan hasil juga terjadi pada pengalaman pengguna, gamers menunjukkan *cybersickness* yang terbentuk lebih kecil dibanding dengan non gamer, penelitian lain menunjukkan gamers dan non gamer tidak ada perbedaan. Penelitian ini menggunakan 40 orang partisipan untuk pengukuran 1 dan ke 2 serta 60 partisipan untuk pengukuran ke 3. Waktu pelaksanaan eksperimen selama 60 menit dengan 15 menit pengguna menggunakan VR. Eksperimen 1 menguji kombinasi postur (aktif/pasif) dan konten (dinamis/statis) dengan menggunakan stimulus beat saber untuk postur aktif konten dinamis, di mana partisipan bergerak aktif memotong balok yang ada di lingkungan virtual, stimulus epic roller coaster digunakan pada kondisi postur pasif dengan konten dinamis di mana partisipan duduk mengikuti simulasi yang ditawarkan pada VR. Pada kondisi postur aktif konten statis menggunakan stimulus pandangan, di mana partisipan berjalan pada treadmill dengan melihat pemandangan, kondisi dengan postur pasif konten statis, stimulus yang digunakan adalah pemandangan dengan partisipan dalam keadaan duduk. Eksperimen ke 2 memfokuskan pada pengalaman pengguna (gamer vs nongamer) dengan kondisi paling tinggi *cybersickness* yang terbentuk dari hasil eksperimen ke 1 Eksperimen ke 3 fokus (adaptasi vs non adaptasi) pada pengurangan gejala *cybersickness* yang terbentuk dengan kondisi paling tinggi dari eksperimen ke 1. Pengukuran nausea, oculomotor serta disorientasi menggunakan Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), untuk melihat waktu terbentuknya *cybersickness* dengan menggunakan Fast Motion Sickness scale (FMS). Pengukuran fisiologi menggunakan parameter Heart Rate Variability (HRV) dan juga Electroencephalography (EEG). Penelitian ini menggunakan HRV dan EEG dikarenakan kombinasi antara EEG dengan HRV dapat mendeteksi *cybersickness* dengan akurasi 76,6%. Hasil penelitian menunjukkan faktor-faktor yang memengaruhi *cybersickness* melalui tiga tahap pengukuran. Pertama, interaksi signifikan antara postur dan konten ditemukan pada SSQ (Nausea, Oculomotor, Disorientation, Total Score;  $p < 0.001$ ), FMS ( $p < 0.001$ ), HRV (RMSSD, pNN50, LF, HF;  $p < 0.05$ ), serta EEG (delta, beta  $p < 0.001$ ; alpha  $p = 0.012$ ; gamma  $p = 0.036$ ). Kedua, interaksi fase (pre-post) dan kelompok (gamers vs nongamers) memengaruhi SSQ ( $p < 0.05$ ), FMS ( $p < 0.001$ ), HRV (RMSSD  $p = 0.010$ ; pNN50  $p = 0.050$ ; LF, HF  $p < 0.05$ ), dan EEG (delta  $p = 0.002$ ; theta  $p = 0.045$ ; alpha  $p = 0.041$ ). Ketiga, interaksi kelompok (adaptasi vs non-adaptasi)  $\times$  hari (1-5) memengaruhi SSQ ( $p < 0.001$ ), FMS ( $p < 0.001$ ), HRV (RMSSD, pNN50, LF, HF  $p < 0.05$ ), dan EEG (delta, beta, gamma  $p < 0.005$ ; theta  $p = 0.003$ ; alpha  $p = 0.006$ ). Temuan hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya interaksi antara postur dan konten dengan *cybersickness* yang terbentuk paling besar pada kondisi postur pasif dengan konten dinamis. Pengalaman dari pengguna juga mempengaruhi *cybersickness* yang terjadi di mana pengguna yang memiliki pengalaman bermain game menunjukkan *cybersickness* yang terbentuk lebih rendah dibandingkan dengan tidak memiliki pengalaman. *Cybersickness* yang terbentuk dapat di mitigasi salah satunya dengan melakukan adaptasi, di mana adaptasi terbukti dapat menurunkan gejala *cybersickness* yang terbentuk. Secara teoretis, hasil ini memerlukan pemahaman dalam bidang ergonomi kognitif dan human factors dengan menekankan peran interaksi faktor internal dan eksternal dalam membentuk respons terhadap VR. Secara praktis, penelitian ini berkontribusi pada desain sistem VR yang lebih aman dan nyaman, mendorong pengembangan strategi personalisasi paparan bagi pengguna pemula, serta memberikan dasar bagi industri untuk mengimplementasikan mekanisme mitigasi dan fase adaptasi dalam aplikasi berbasis VR, baik di bidang hiburan, pendidikan, pelatihan, maupun kesehatan.

**Kata Kunci:** *Cybersickness*, Virtual Reality, Pengukuran Subjektif, Pengukuran Objektif

## ABSTRACT

The increasing and continuous use of virtual reality (VR) has raised concerns about cybersickness experienced by users. Numerous studies have sought to identify the factors contributing to cybersickness, a state of discomfort occurring in virtual environments, including body posture, content characteristics, and prior VR experience. Previous findings have been inconsistent: some studies show differences between active versus passive posture combined with dynamic versus static content, while others reveal variations based on user experience, with gamers often reporting lower levels of cybersickness than nongamers, although certain studies find no significant differences between the two groups.

This research involved 40 participants for the first and second experiments and 60 participants for the third. Each experimental session lasted 60 minutes, including 15 minutes of VR exposure. Experiment 1 examined the interaction between posture (active/passive) and content (dynamic/static). Active–dynamic conditions were represented by *Beat Saber*, where participants actively cut blocks in a virtual environment; passive–dynamic conditions were represented by *Epic Roller Coasters*, where participants remained seated while following roller coaster simulations; active–static conditions involved walking on a treadmill while viewing static scenery; and passive–static conditions involved seated participants viewing the same scenery. Experiment 2 focused on user experience (gamers vs. nongamers) under the condition that induced the highest cybersickness in Experiment 1, while Experiment 3 investigated adaptation (adaptive vs. non-adaptive groups) as a strategy for reducing cybersickness under the same high-risk condition.

Cybersickness symptoms such as nausea, oculomotor disturbances, and disorientation were measured using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), while the Fast Motion Sickness Scale (FMS) was employed to assess the temporal onset of symptoms. Physiological responses were measured through Heart Rate Variability (HRV) and Electroencephalography (EEG), with the combined use of EEG and HRV shown to detect cybersickness with 76.6% accuracy.

The findings revealed three key results. First, a significant interaction between posture and content was observed across SSQ (Nausea, Oculomotor, Disorientation, Total Score;  $p < 0.001$ ), FMS ( $p < 0.001$ ), HRV (RMSSD, pNN50, LF, HF;  $p < 0.05$ ), and EEG (delta, beta  $p < 0.001$ ; alpha  $p = 0.012$ ; gamma  $p = 0.036$ ). Second, a phase (pre–post)  $\times$  group (gamers vs. nongamers) interaction significantly influenced SSQ ( $p < 0.05$ ), FMS ( $p < 0.001$ ), HRV (RMSSD  $p = 0.010$ ; pNN50  $p = 0.050$ ; LF, HF  $p < 0.05$ ), and EEG (delta  $p = 0.002$ ; theta  $p = 0.045$ ; alpha  $p = 0.041$ ). Third, an adaptation (adaptive vs. non-adaptive)  $\times$  day (1–5) interaction was found to significantly affect SSQ ( $p < 0.001$ ), FMS ( $p < 0.001$ ), HRV (RMSSD, pNN50, LF, HF  $p < 0.05$ ), and EEG (delta, beta, gamma  $p < 0.005$ ; theta  $p = 0.003$ ; alpha  $p = 0.006$ ).

Overall, the results demonstrate that passive posture combined with dynamic content produces the highest levels of cybersickness, while gaming experience reduces symptom severity. Furthermore, repeated VR exposure facilitates adaptation, which significantly mitigates cybersickness. Theoretically, these findings advance the field of cognitive ergonomics and human factors by emphasizing the role of internal and external factors in shaping user responses to VR. Practically, this research contributes to the design of safer and more comfortable VR systems, supports the development of personalized exposure strategies for novice users, and provides a foundation for implementing mitigation and adaptation mechanisms across VR applications in entertainment, education, training, and healthcare

**Keywords:** Cybersickness, Virtual Reality, Subjective Measurement, Objective Measurement