

## DAMPAK PENGGUNAAN *HEAD-MOUNTED DISPLAYS* TERHADAP POSTUR DAN AKTIVITAS OTOT: SEBUAH TINJAUAN PUSTAKA

Dewa Ngurah Mahaswara Putera<sup>1</sup>, Ardiyanto Ardiyanto<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada  
e-mail:<sup>2\*</sup>ardiyanto@mail.ugm.ac.id

### ABSTRACT

*The use of Head-Mounted Displays (HMDs) has rapidly expanded across various sectors, including entertainment, education, healthcare, and training. HMDs provide real-world simulations that enhance learning processes, surgical simulations, and doctor training, and are effective for industrial training. However, the use of these devices can negatively impact posture and muscle activity, posing a risk of increased muscle strain and injury to the musculoskeletal system. This study aims to evaluate the effects of HMD use on posture and muscle activity by analyzing articles published between January 2019 until September 2024. Through the PRISMA method, 15 final articles from Scopus database were analyzed, including aspects of HMDs, physical characteristics, experimental characteristics, and impact of use on posture and muscle activity. The results indicate that the use of non-ergonomically designed HMDs can increase muscle strain in the neck, back, and eyes, as well as affect body posture. Several factors influencing this impact include headset weight, visual effects, field of view, and user body movement. The analysis showed that lighter and ergonomically designed headsets can reduce the risk of musculoskeletal injuries and improve user comfort. Visual effects and field of view of HMDs also play a key role in reducing muscle strain, especially through visual feedback and postural interaction with an optimal field of view. Ergonomic adjustments, such as user body movement, can help alleviate discomfort and reduce injury risk. This study's findings provide recommendations for developers to consider ergonomic factors in HMDs design in VR or AR to create safe and comfortable user experiences.*

**Keywords:** augmented reality, head-mounted displays, muscle activity, postures, virtual reality.

### INTISARI

Penggunaan teknologi Head-Mounted Displays (HMDs) telah berkembang pesat di berbagai sektor, termasuk hiburan, pendidikan, kesehatan, dan pelatihan. HMDs menyediakan simulasi dunia nyata yang memperkaya proses belajar, simulasi bedah dan pelatihan dokter, efektif untuk pelatihan industri. Namun, penggunaan perangkat ini dapat berdampak negatif pada postur tubuh dan aktivitas otot, yang berisiko meningkatkan ketegangan otot serta cedera pada sistem otot dan tulang. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan HMDs terhadap postur dan aktivitas otot dengan menganalisis artikel-artikel yang diterbitkan dari bulan Januari 2019 hingga bulan September 2024. Melalui metode PRISMA, 15 artikel final dari database Scopus dianalisis meliputi aspek jenis HMDs, karakteristik fisik, karakteristik eksperimen, serta dampak penggunaan terhadap postur dan aktivitas otot. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan HMDs dengan desain yang tidak ergonomis dapat meningkatkan ketegangan otot pada leher, punggung, dan mata, serta mempengaruhi postur tubuh. Beberapa faktor yang mempengaruhi dampak ini termasuk berat headset, efek visual, sudut pandang, dan gerakan tubuh pengguna. Hasil analisis menunjukkan bahwa headset yang lebih ringan dan dirancang ergonomis dapat mengurangi risiko cedera muskuloskeletal, serta meningkatkan kenyamanan pengguna. Aspek efek visual dan sudut pandang HMDs juga berperan penting dalam mengurangi ketegangan otot, terutama melalui umpan balik visual dan interaksi postural dengan sudut pandang yang baik. Penyesuaian ergonomis, seperti gerakan tubuh pengguna, dapat membantu mengurangi ketidaknyamanan dan risiko cedera. Hasil studi ini memberikan rekomendasi bagi pengembang untuk memperhatikan faktor ergonomis dalam desain HMDs dan lingkungan VR maupun AR untuk menciptakan pengalaman pengguna yang aman dan nyaman.

**Kata Kunci:** aktivitas otot, augmented reality, head-mounted displays, postur, virtual reality.

### 1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi *Head-Mounted Displays* (HMDs) telah berkembang pesat di berbagai bidang, termasuk hiburan, pendidikan, medis, dan pelatihan. HMDs memberikan pengalaman imersif yang mendalam, memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan lingkungan virtual dan augmented secara langsung (Asadzadeh *et al.*, 2024). Pada bidang pendidikan, HMDs menyediakan simulasi situasi dunia nyata yang sulit diakses, memperkaya proses belajar dan meningkatkan pemahaman terkait materi. Pada bidang medis HMDs digunakan untuk simulasi bedah dan pelatihan dokter, serta meningkatkan keterampilan tanpa adanya risiko. Selain itu, pada bidang pelatihan, HMDs efektif digunakan untuk pelatihan industri dan menyediakan simulasi situasi berbahaya atau situasi yang kompleks.

Kesadaran akan potensi risiko kesehatan fisik semakin diperlukan seiring dengan bertambahnya penggunaan HMDs di berbagai bidang. Pengguna disarankan untuk memahami bahwa penggunaan perangkat ini dalam jangka waktu panjang dapat berdampak pada kenyamanan. Oleh karena itu, sangat penting untuk menerapkan praktik penggunaan yang aman dan nyaman. HMDs memang memberikan berbagai manfaat dalam meningkatkan keterlibatan pengguna, tetapi kekhawatiran terkait dampak kesehatan fisik, terutama pada postur tubuh dan aktivitas otot semakin meningkat. Saat menggunakan HMDs, posisi kepala yang stabil diperlukan untuk menjaga tampilan visual yang optimal. Hal ini dapat memaksa pengguna untuk secara tidak sadar memodifikasi postur mereka, yang berpotensi menyebabkan posisi kepala ke depan (menunduk) dan memberikan beban tambahan pada otot leher, bahu, dan punggung atas (Trinidad-Fernández *et al.*, 2023). Kondisi ini berisiko meningkatkan nyeri pada sistem otot dan tulang, terutama jika perangkat digunakan dalam durasi yang lama tanpa istirahat yang cukup. Selain itu, posisi tubuh yang tidak ergonomis saat menggunakan HMDs dapat mempengaruhi aktivitas otot, sehingga menyebabkan ketegangan yang tidak merata atau beban berlebih pada otot-otot tertentu (Chaplin *et al.*, 2023).

Penelitian mengenai dampak penggunaan HMDs terhadap kesehatan fisik, terutama postur dan aktivitas otot, telah menunjukkan hasil yang beragam. Beberapa studi melaporkan adanya perubahan postur dan peningkatan ketegangan otot akibat penggunaan HMDs, sedangkan penelitian lain menunjukkan bahwa faktor ergonomi perangkat, desain antarmuka, dan posisi penggunaan yang tepat dapat mengurangi risiko ini (Kačerová *et al.*, 2022). Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana HMDs mempengaruhi postur tubuh dan aktivitas otot secara keseluruhan, serta bagaimana intervensi ergonomis dapat membantu mengurangi risiko cedera *muskuloskeletal*.

Peninjauan literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan dan menganalisis temuan dari berbagai studi yang telah dilakukan terkait dampak penggunaan HMDs terhadap postur dan aktivitas otot. Dengan memahami dinamika interaksi antara pengguna dan perangkat HMDs, diharapkan dapat diperoleh wawasan mengenai langkah-langkah preventif untuk mengurangi risiko cedera fisik serta rekomendasi ergonomis yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Strategi Pencarian, Kriteria Inklusi, dan Kelayakan

Studi tinjauan pustaka ini dilakukan dengan mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* atau PRISMA. Metode PRISMA memiliki empat tahapan yang harus dilakukan (Mohamed *et al.*, 2020). Tahap pertama, *Identification*, yaitu proses mengidentifikasi dan mencari artikel pada *database* dengan menggunakan kata kunci tertentu. Artikel yang dikaji diperoleh melalui penelusuran di *database* Scopus. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi: *augmented reality*, *head-mounted displays*, *muscle activity*, *postures*, *virtual reality*, dan *electromyography*. Tahap kedua, *Screening*, yaitu melakukan penyaringan pada *database* dengan menyisihkan artikel yang serupa. Penyusunan artikel ini hanya menggunakan 1 *database* sehingga artikel duplikat diabaikan. Tahap ketiga, *Eligibility*, yaitu menguji kelayakan terhadap artikel yang potensial dan diperiksa untuk memastikan bahwa artikel telah memenuhi kriteria inklusi dan sejalan dengan tujuan penelitian saat ini. Kriteria inklusi untuk artikel yang dipilih adalah artikel yang diterbitkan antara bulan Januari 2019 hingga bulan September 2024, terbit dalam Bahasa Inggris, berfokus pada bidang *engineering* serta bukan berupa laporan atau artikel surat kabar. Penelitian yang dilakukan harus melibatkan partisipasi manusia sebagai subjek penelitian serta mengevaluasi penggunaan *head-mounted displays* terhadap postur dan aktivitas otot. Sedangkan, dalam pengujian kelayakan artikel yang memenuhi kriteria kelayakan merupakan artikel yang tersedia secara *full text*, seperti metodologi penelitian yang kuat, hasil penelitian yang konsisten, dan hasil penelitian memengaruhi dampak pada postur dan juga aktivitas otot dari pengguna *head-mounted displays*. Tahap keempat, *Included*, yaitu tahap terakhir dari PRISMA flow diagram dengan memasukkan artikel yang akan dikaji setelah memenuhi persyaratan analisis.

### 2.2 Analisis Literatur

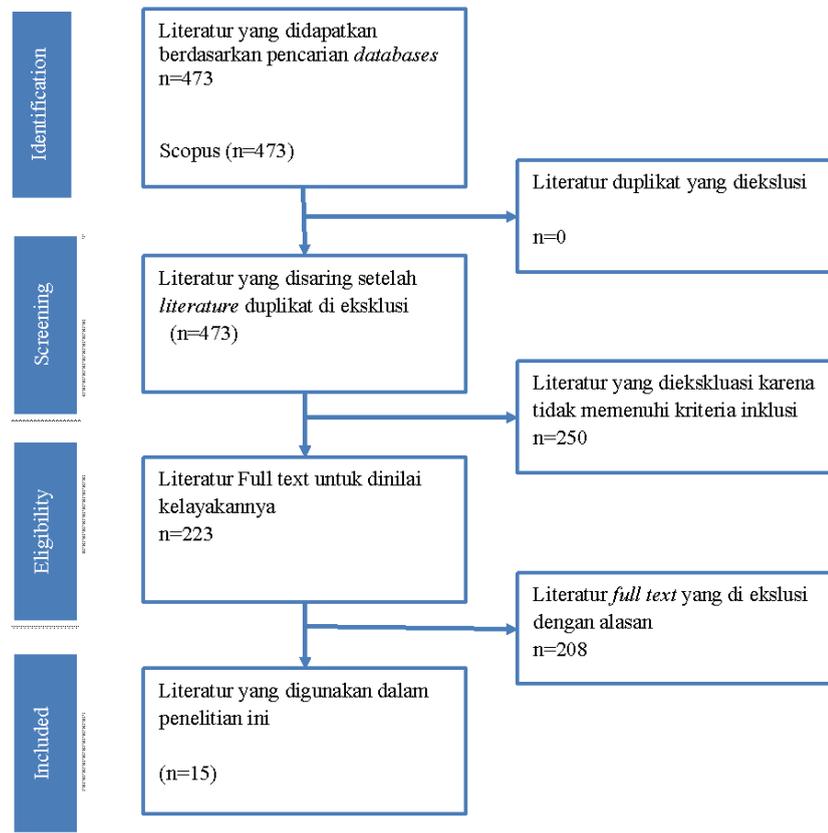
Artikel yang telah melewati tahapan penyaringan berdasarkan kriteria inklusi serta uji kelayakan akan dianalisis lebih lanjut. Analisis ini mencakup 4 aspek utama, yaitu: 1) jenis *head-mounted displays* yang digunakan, 2) karakteristik fisik *head-mounted displays*, 3) karakteristik eksperimen yang dilakukan, 4) dampak penggunaan *head-mounted displays* tersebut terhadap postur dan aktivitas otot pengguna.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Tinjauan Pustaka

Berdasarkan hasil pencarian, ditemukan 473 artikel pada *database* Scopus dan tidak terdapat artikel duplikat. Selanjutnya, dilakukan penyaringan (*screening*) terhadap 473 literatur. Dari hasil penyaringan, 250 artikel tidak

memenuhi kriteria inklusi karena jangka waktu penerbitan tidak berada antara bulan Januari 2019 hingga bulan September 2024, bahasa yang digunakan bukan Bahasa Inggris, subjek penelitian bukan manusia, bukan merupakan bidang *engineering* serta bukan berupa laporan atau artikel surat kabar. Evaluasi kelayakan menghasilkan 223 artikel, di mana 208 artikel tidak memenuhi kriteria kelayakan karena *full text* yang tersedia seperti metodologi penelitian yang lemah, hasil penelitian yang tidak konsisten, dan hasil penelitian tidak memengaruhi dampak pada postur dan juga aktivitas otot dari pengguna *head-mounted displays*. Oleh karena itu, artikel final yang akan dianalisis berjumlah 15. Diagram alir PRISMA dari tinjauan pustaka yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram alir PRISMA dari tinjauan Pustaka

Seluruh artikel yang dianalisis dalam studi ini mencakup berbagai penelitian terkait penggunaan *Head-Mounted Displays* (HMDs) dan dampaknya terhadap postur serta aktivitas otot pengguna. Topik dari artikel yang dianalisis meliputi perubahan postur tubuh, peningkatan ketegangan otot, risiko *musculoskeletal* akibat penggunaan berkepanjangan, serta pentingnya faktor ergonomi dalam penggunaan HMDs. Studi-studi ini menekankan pentingnya memahami interaksi antara teknologi HMDs dan kesehatan fisik pengguna, terutama terkait postur kepala ke depan (*fleksi*) dan beban otot pada leher, bahu, punggung atas, tangan, lengan, pergelangan kaki, lutut, pinggul, dan tulang belakang. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Daftar Artikel Final yang Dianalisis

No	Penulis	Jenis HMDs	Karakteristik fisik HMDs	Karakteristik Eksperimen	Dampak terhadap Postur dan Aktivitas Otot
1	Tashiro <i>et al.</i> (2024)	Oculus Quest 2	Berat sekitar 503 gram, dilengkapi lensa beresolusi tinggi 1832 x 1920 piksel. Refresh rate antara 72 hingga 90 Hz.	Eksperimen melibatkan 2 kelompok usia, generasi muda dan tua. Dengan tiga kondisi: kontrol (berdiri tanpa HMDs), VR 30° dengan kecepatan 3°/detik, dan VR 60°	Hasil studi menunjukkan bahwa sudut pandang pengguna VR berdampak pada postur penggunaannya. Kelompok anak muda dengan sudut penggunaan VR 60° memiliki adaptasi postur yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok

				dengan kecepatan 6°/detik.	orang tua dengan sudut VR 30° maupun dengan sudut VR 60°.
2	Jeong et al. (2024)	a)HMDs VR Device: VR BOSS Xtrek b)Smartphone LM-G710N	VR BOSS Xtrek memiliki berat 408g  Ukuran smartphone hingga 195 mm × 88 mm, dengan berat 162g.	Eksperimen ini menganalisis efek gambar VR terhadap stabilitas tubuh yang dievaluasi dengan pengukuran jalur ayunan menggunakan BTrackS <i>balance plate</i> , selain itu berbagai kondisi optik juga diuji, termasuk COCD-2D (jarak pusat optik lebih dekat), DOCD (jarak pusat optik normal), dan kondisi yang menginduksi <i>hyperopia</i> .	Penelitian menunjukkan bahwa efek visual pada VR berpengaruh terhadap postur dan ketegangan otot. Ditemukan kondisi DOCD-2D, yang menginduksi ketidaknyamanan dan <i>hyperopia</i> , meningkatkan rentang ayunan anterior-posterior yang memengaruhi postur dari stabilitas tubuh.
3	Astrologo et al. (2024)	3M Speedglas 9100xx Welding Helmet Headband Assembly.	Massa HMDs komersial berkisar antara 50–200 g untuk kacamata pintar dan 600 g untuk <i>headset</i> VR imersif.	Eksperimen melibatkan partisipan yang diarahkan untuk melakukan berbagai gerakan ( <i>flexion/extension</i> )( <i>rotasi dan pencarian</i> ) saat mengenakan <i>headset</i> . Ketika melakukan Gerakan partisipan diberikan massa yang bervariasi yaitu tanpa beban, 200g, 500g,750g untuk menentukan dampak berat <i>headset</i> terhadap sendi leher.	Peningkatan massa <i>headset</i> menunjukkan dampak terhadap torques sendi di <i>occiput-first cervical vertebrae</i> (OC1) dan <i>vertebrae</i> (C7). Aktivitas otot, khususnya dari otot <i>splenius</i> dan <i>trapezius</i> , bervariasi berdasarkan jenis gerakan. Aktivitas otot lebih tinggi pada gerakan rotasi dibandingkan dengan gerakan <i>flexion/extension</i> dan pencarian.
4	Shan et al. (2024)	HTC Vive.	Berat sekitar 555 gram, dilengkapi <i>Framerate</i> 90Hz, resolusi 2160x1200 piksel	Eksperimen ini menggunakan jaringan konvolusional waktu untuk pengenalan postur manusia, dengan tiga jenis data sebagai input: informasi gambar historis, informasi gambar saat ini, dan asosiasi antar gambar.	Dampak terhadap postur dan aktivitas otot menunjukkan bahwa metode pengenalan postur dinamis berbasis <i>deep learning</i> dapat membantu memperbaiki postur tubuh pengguna. Dengan pengenalan postur yang lebih akurat, pengguna dapat menghindari kebiasaan postur buruk yang berisiko menyebabkan masalah otot, seperti ketegangan atau kelelahan otot.
5	Reynaert et al. (2023)	Valve Index	Berat 810g dan memiliki resolusi tinggi, refresh rate hingga 144 Hz	Eksperimen dirancang dengan membandingkan empat kondisi gerakan tangan (1HR, 1HL, 2HT, 2HO) dalam tugas menunjuk secara berurutan. Dievaluasi dengan skala Borg CR-10. Penelitian ini berfokus pada pengaruh sinkronisitas tangan terhadap persepsi kelelahan lengan dalam interaksi VR.	Hasil menunjukkan bahwa penggunaan satu tangan lebih efisien untuk tugas sederhana, sementara tugas komposit lebih baik dengan dua tangan. Gerakan vertikal dan diagonal lebih melelahkan dibandingkan gerakan horizontal, yang dapat menyebabkan postur buruk dan kelelahan otot.

6	Kempter <i>et al.</i> (2023)	Oculus Rift	Berat 470 gram	Eksperimen mengarahkan partisipan untuk melakukan simulasi berkendara. Pengaturan eksperimen mencakup serangkaian posisi kepala yang bervariasi, di mana subjek diminta untuk mempertahankan posisi tertentu selama peristiwa pengereman otomatis.	Peserta dengan kepala yang diputar menunjukkan sudut rata-rata 63° dan <i>displacement</i> maksimum kepala mencapai 27.5 mm. Aktivitas otot yang terlibat, terutama SCM (sternocleidomastoid) dan TRP (trapezius), meningkat secara signifikan pada posisi kepala yang diputar.
7	Iqbal <i>et al.</i> (2021)	HTC Vive	Berat sekitar 555 gram, dilengkapi <i>Framerate</i> 90Hz, resolusi 2160x1200 piksel,	Eksperimen bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas teknik interaksi selama sesi VR dengan metodenya yaitu dengan membandingkan dua teknik interaksi: metode <i>default</i> dan kombinasi <i>ProxyHand</i> dan <i>StickHand</i> . Tugas yang diberikan meliputi tugas translasi, tugas rotasi, dan tugas hibrida	Hasil menemukan penggunaan metode <i>ProxyHand</i> dan <i>StickHand</i> memungkinkan pengguna menjaga posisi lengan yang lebih rileks, sehingga mengurangi ketegangan pada otot lengan dan bahu. Selain itu, mode <i>default</i> mengurangi kebutuhan untuk mengingat kontrol, yang memungkinkan pengguna lebih fokus pada tugas tanpa harus mengubah postur mereka secara drastis.
8	Ito <i>et al.</i> (2021)	Oculus Rift CV1	Berat 468 gram, resolusi 1080 x 1200 piksel (640 x 480 piksel per mata), <i>frame rate</i> hingga 90 fps	Eksperimen ini dilakukan dengan cara mereka harus menembak 20 target dengan posisi acak. untuk meneliti pengaruh berat dan keseimbangan HMDs terhadap beban fisik. Penelitian ini menguji 7 kondisi berbeda dengan variasi penempatan beban timah di depan, belakang, atau kedua sisi HMDs dengan beban 100g 200g dan netral	Hasil pengukuran menunjukkan bahwa berat HMDs memengaruhi kelelahan pengguna, ketidaknyamanan pada otot leher, dan peningkatan kelelahan keseimbangan seiring bertambahnya berat HMDs. ditemukan penempatan beban di belakang lebih bermanfaat bagi pengguna dengan massa otot rendah.
9	Kwon <i>et al.</i> (2021)	HTC Vive	Berat sekitar 555 gram, dilengkapi <i>Framerate</i> 90Hz, resolusi 2160x1200 piksel,	Pada eksperimen ini partisipan melakukan manipulasi objek nyata (kubus, silinder, bola) dan objek virtual, dengan pemodelan gerakan berdasarkan aktivasi <i>mioelektrik</i> dari otot tangan dan lengan bawah.	Hasil menunjukkan adaptasi postur tangan dan lengan selama manipulasi, di mana postur yang tepat berperan penting dalam efisiensi gerakan. Selain itu, pola penggunaan otot berbeda antara objek nyata dan virtual, aktivasi otot tangan menunjukkan akurasi lebih tinggi dibandingkan lengan bawah.
10	Kim <i>et al.</i> (2021)	Smart Glass	Berat prototipe 30g. Dengan total Face Width (FTW) 143.9 mm	Prosedur eksperimen dilakukan dalam 10 putaran, di mana berat kacamata ditambah 10% setiap putaran. Peserta diarahkan untuk mengidentifikasi tekanan di area hidung, telinga, dan kepala setelah	Hasil penelitian menunjukkan peningkatan berat kacamata pintar berpengaruh negatif terhadap kenyamanan pemakai dan dapat memengaruhi postur serta otot, terutama di area leher. Peningkatan tekanan pada bagian wajah, khususnya di jembatan hidung, menyebabkan ketidaknyamanan dan

				memakai kacamata selama 5 menit.	berpotensi mengubah posisi pemakai saat menggunakan kacamata, yang bisa mengarah pada postur yang tidak ideal.
11	Choe <i>et al.</i> (2021)	Samsung Gear VR (SM-R322), dan smartphone Samsung Galaxy S7 (SM-G930K).	Total berat HMDs adalah 470 gram (smartphone: 152 g, headset: 318 g). Resolusi 2560 x 1440 piksel.	Pada eksperimen ini partisipan diarahkan untuk melakukan dua metode pemilihan yaitu melalui tatapan dan pemilihan manual. Terdiri dari empat kondisi berdasarkan ukuran target (besar dan kecil)	Hasil menunjukkan pada metode pemilihan manual, otot tangan dan jari lebih banyak digunakan, sementara pada pemilihan pandangan, otot leher dan mata lebih aktif.
12	Muhla <i>et al.</i> (2020)	HTC Vive	Berat sekitar 555 gram, dilengkapi <i>Framerate</i> 90Hz, resolusi 2160x1200 piksel,	Pada eksperimen ini peserta melakukan dua kondisi tes <i>Timed Up and Go</i> yaitu TUG tanpa VR dan TUG dengan VR. Pada tes TUG, peserta diminta duduk, bangun, berjalan 3 meter, berputar, lalu kembali duduk, dengan waktu dan jumlah langkah yang diukur pada lima fase spesifik: <i>Get Up, Go, Turn Around, Return, dan Sit Down</i> .	Penggunaan VR dalam penelitian menunjukkan dampak terhadap postur dan aktivasi otot peserta selama TUG test. Dalam lingkungan VR, peserta cenderung mengadopsi postur yang lebih hati-hati untuk menjaga keseimbangan. Aktivasi otot juga bervariasi di setiap fase TUG. Kecemasan terhadap jatuh yang dirasakan dalam VR dapat meningkatkan ketegangan otot, memengaruhi strategi gerakan dan postur.
13	Van der Veen <i>et al.</i> (2020)	Oculus Rift	Berat 470 gram	Eksperimen ini mengintersepsi target virtual yang diluncurkan dalam permainan <i>dodgeball</i> virtual. Dua perspektif avatar yang dibandingkan yaitu perspektif pertama dan perspektif ketiga Kinematika sendi dan sudut ekursi dari pergelangan kaki, lutut, pinggul, tulang belakang lumbar, siku, dan bahu diukur selama eksperimen.	Hasil yang didapat bahwa perspektif pertama meningkatkan aktivasi otot di berbagai bagian tubuh (pergelangan kaki, lutut, pinggul, tulang belakang, dan bahu), yang penting untuk pengembangan kekuatan dan <i>fleksibilitas</i> , mendukung rehabilitasi ortopedi. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan HMDs dalam rehabilitasi dapat menjadi strategi yang efektif untuk meningkatkan postur dan aktivitas otot.
14	Penumudi <i>et al.</i> (2020)	Oculus Rift VR	Berat 470 gram	Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan dua tugas interaksi dalam lingkungan realitas virtual: tugas <i>pointing omni-directional</i> dan tugas <i>painting</i> di lima lokasi target vertikal yang berbeda.	Penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan target vertikal dalam interaksi VR secara signifikan memengaruhi postur dan aktivasi otot. Ketika target diletakkan lebih tinggi (15° di atas ketinggian mata), terjadi peningkatan <i>fleksi</i> leher dan bahu, sedangkan saat target lebih rendah (30° di bawah ketinggian mata), <i>fleksi</i> leher meningkat dan aktivasi otot <i>trapezius</i> serta deltoid anterior menurun, tetapi aktivasi otot <i>splenius</i> meningkat. Ketidaknyamanan subjektif di

					leher dan bahu juga lebih tinggi saat target berada di posisi tinggi.
15	Yan <i>et al.</i> (2019)	a) <i>Headset A</i> (MINISO), b) <i>Headset B</i> (MINISO) c) <i>Headset C</i> (XIAOMI)	a) <i>Headset A</i> (MINISO) dan <i>Headset B</i> : Dimensi W185 × D145 × H105 mm. Berat 110 g b) <i>Headset C</i> (XIAOMI) : Dimensi W200 × D295 × H156 mm. Berat 230 g.	Eksperimen ini melibatkan pengujian tiga jenis <i>headset</i> VR dengan empat kondisi berat tambahan (100 g, 300 g, 500 g, 700 g). Tujuh wilayah di kepala diidentifikasi: jembatan hidung, tulang pipi, alis, dahi, tulang temporal, atas kepala, dan belakang kepala.	Penelitian ini menunjukkan bahwa berat <i>headset</i> VR berpengaruh terhadap ketidaknyamanan postur secara subjektif pengguna. Dengan bertambahnya berat, tingkat ketidaknyamanan meningkat, ketidaknyamanan tertinggi terletak di tulang pipi dan belakang kepala.

Terdapat sejumlah 15 artikel final yang dianalisis dengan berbagai temuannya. Tabel di atas berisi penjelasan terkait beberapa faktor dari penggunaan HMDs yang berdampak pada postur dan aktivitas otot. Menurut Tashiro *et al.* (2024) dan Penumudi *et al.* (2020) Sudut pandang dan penempatan objek yang digunakan saat berinteraksi dengan lingkungan virtual sangat mempengaruhi postur tubuh, dimana semakin lebar pandangan ketika menggunakan HMDs maka akan menciptakan sudut yang makin besar, sudut yang besar ini akan berdampak pada postur kepala dari penggunaannya. Ditemukan juga oleh Astrologo *et al.* (2024), Ito *et al.* (2021), dan Yan *et al.* (2019) bahwa berat dari *headset* itu sendiri memainkan peran penting bagi otot leher dan bahu, *headset* yang lebih berat akan meningkatkan ketegangan pada kedua otot tersebut. Adapun faktor lain yang juga sangat berdampak pada postur dan aktivitas otot yaitu kenyamanan visual, menurut Jeong *et al.* (2024) dan Kwon *et al.* (2021) jarak pusat optik dan juga *framerate* yang tidak sesuai dari HMDs itu akan menyebabkan ketidaknyamanan visual dimana akan berdampak pada stabilitas tubuh pengguna. Oleh karena itu, pengguna akan cenderung mengubah posturnya yang berakibat pada cedera *muskuloskeletal*.

Pada tabel di atas ditemukan pula bahwa pengenalan postur tubuh dari pengguna HMDs tidak kalah penting dalam memberikan dampak terhadap postur dan aktivitas otot. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Shan *et al.* (2024) yaitu menganalisis tiga buah data dari penggunaannya dalam proses pengenalan postur dan menemukan bahwa pengenalan postur yang lebih tepat dengan menggunakan metode *deep learning*, dapat menghindari kebiasaan postur yang buruk yang dapat menyebabkan ketegangan atau kelelahan otot. Selain 4 faktor yang telah disebutkan, terdapat 1 faktor lagi yang menjadi tolak ukur dalam penggunaan HMDs yang akan berdampak pada postur dan aktivitas otot pengguna yaitu gerakan tubuh. Berbagai penelitian telah mengeksplorasi terkait gerakan tubuh pada pengguna, seperti penelitian Reynaert *et al.* (2023) yang menemukan bahwa jenis gerakan tangan memiliki pengaruh langsung terhadap persepsi kelelahan otot, begitu juga dengan penelitian dari Kempter *et al.* (2023) yang membahas terkait pentingnya posisi kepala dalam interaksi VR, dimana semakin banyak gerakan janggal yang dilakukan kepala maka tingkat dari ketegangan otot leher akan semakin besar. Penjelasan lebih rinci pada tabel di atas akan dijelaskan lebih mendalam pada bagian pembahasan.

### 3.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil tinjauan pustaka di atas, diketahui bahwa penggunaan HMDs berdampak terhadap postur tubuh dan aktivitas otot. Penelitian-penelitian yang ada menunjukkan bahwa penggunaan HMDs menyebabkan ketegangan pada otot leher, punggung, bahu, punggung atas, tangan, lengan, pergelangan kaki, lutut, pinggul, dan tulang belakang. Tashiro *et al.* (2024) menguji efek penggunaan HMDs pada dua kelompok usia, yaitu muda dan tua, dengan membandingkan sudut pandang 30° dan 60°, serta kecepatan pergerakan 3°/detik dan 6°/detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok muda lebih mudah beradaptasi dengan sudut pandang yang lebih lebar (60°), sementara kelompok tua mengalami kesulitan dalam menjaga keseimbangan postur tubuh pada kedua sudut tersebut. Peningkatan sudut pandang ini memberikan tantangan tambahan bagi kemampuan tubuh, terutama bagi pengguna yang lebih tua, yang pada akhirnya dapat meningkatkan ketegangan otot dan ketidaknyamanan fisik. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Penumudi *et al.* (2020) mengungkapkan bahwa penempatan target dalam interaksi VR mempengaruhi postur dan aktivasi otot pengguna. Dalam studi ini, peserta diminta untuk berinteraksi dengan objek virtual pada berbagai ketinggian. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika target diletakkan 15° di atas ketinggian mata, terjadi peningkatan *fleksi* pada leher dan bahu. Sebaliknya, saat target lebih rendah, yaitu 30° di bawah ketinggian mata, meskipun *fleksi* leher meningkat, aktivasi otot *trapezius* dan deltoid anterior justru menurun, sementara aktivasi otot *splenius* meningkat. Temuan ini menunjukkan bahwa posisi target yang ekstrim dapat menyebabkan ketidaknyamanan,

terutama pada leher dan bahu, sehingga berpotensi meningkatkan risiko gangguan muskuloskeletal.

Selain sudut pandang dan penempatan objek, berat *headset* juga menjadi faktor dalam mempengaruhi kenyamanan pengguna. Menurut Astrologo *et al.* (2024), peningkatan *massa headset* secara umum mempengaruhi *torque* pada sendi di area leher. Seiring bertambahnya berat *headset*, otot-otot seperti *splenius* dan *trapezius* harus bekerja lebih keras untuk menstabilkan kepala, yang menyebabkan peningkatan aktivitas otot. Temuan ini menunjukkan bahwa *headset* yang lebih berat tidak hanya mempengaruhi kenyamanan, tetapi juga meningkatkan risiko cedera muskuloskeletal akibat beban tambahan pada otot leher. Ito *et al.* (2021) juga meneliti pengaruh berat *headset* VR terhadap keseimbangan dan kenyamanan pengguna. Dalam eksperimen, partisipan menembak 20 target dengan variasi berat *headset* ditambah beban timah (100g dan 200g) di bagian depan, belakang, atau kedua sisi. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan berat *headset* meningkatkan kelelahan, ketidaknyamanan leher, dan kelelahan keseimbangan. Penempatan beban di belakang *headset* lebih menguntungkan bagi pengguna dengan massa otot rendah, menekankan pentingnya desain *headset* yang memperhatikan distribusi berat. Penelitian Kim *et al.* (2021) juga menemukan bahwa peningkatan berat pada kacamata pintar berdampak negatif pada kenyamanan, menyebabkan tekanan pada wajah dan mempengaruhi postur, yang berisiko menimbulkan cedera *musculoskeletal*. Dalam penelitian Yan *et al.* (2019), tiga jenis *headset* VR diuji dengan penambahan beban 100g, 300g, 500g, dan 700g pada tujuh area kepala. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin berat *headset*, semakin tinggi tingkat ketidaknyamanan yang dirasakan. Ketidaknyamanan tertinggi terjadi di area tulang pipi dan belakang kepala, sedangkan *headset* berbasis sabuk memberikan kenyamanan yang lebih baik. Sementara itu, Muhla *et al.* (2020) mengamati bagaimana penggunaan VR dalam tes *Timed Up and Go* (TUG) mempengaruhi postur dan aktivasi otot selama pengujian mobilitas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peserta yang menggunakan VR dalam tes tersebut cenderung mengadopsi postur yang lebih hati-hati karena bobot yang dihasilkan oleh VR di kepala untuk menjaga keseimbangan tubuh, yang mengarah pada peningkatan ketegangan otot. Ketidaknyamanan yang dirasakan dalam lingkungan VR, termasuk kekhawatiran terhadap potensi jatuh, berkontribusi pada perubahan strategi gerakan dan postur tubuh yang akhirnya meningkatkan ketegangan otot. Pengaruh berat pada perangkat seperti *Head-Mounted Displays* (HMDs) terhadap postur tubuh dan kenyamanan pengguna menjadi salah satu aspek penting dalam desain perangkat VR dan *wearable* lainnya. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa peningkatan massa *headset* berhubungan dengan perubahan pola aktivitas otot dan peningkatan *torque* pada sendi leher, terutama pada gerakan rotasi.

Kenyamanan visual juga menjadi salah satu faktor dalam mempengaruhi postur pengguna ketika menggunakan HMDs. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Jeong *et al.* (2024) dan Kwon *et al.* (2021) berbagai aspek pengaruh visual dari perangkat *Head-Mounted Displays* (HMDs) terhadap postur tubuh dan ketidaknyamanan pengguna diungkapkan dengan cara yang berbeda namun saling melengkapi. Jeong *et al.* (2024) menguji efek kondisi optik pada HMDs VR BOSS Xtrek dengan menggunakan berbagai variasi, termasuk jarak pusat optik yang lebih dekat (COCD-2D) dan kondisi yang menginduksi hipermetropia (DOCD). Penelitian ini menunjukkan bahwa ketidaknyamanan visual yang disebabkan oleh kondisi optik yang tidak sesuai, seperti *hyperopia*, dapat meningkatkan rentang ayunan tubuh anterior-posterior, yang dapat mempengaruhi stabilitas tubuh pengguna. Ketegangan otot dan gejala ketidaknyamanan visual, seperti simulator *sickness* dan sakit kepala, turut berperan dalam mempengaruhi postur tubuh dan keseimbangan, yang menunjukkan pentingnya penyesuaian desain optik pada HMDs untuk meminimalkan dampak tersebut. Kwon *et al.* (2021) juga meneliti aspek postural dalam penggunaan HMDs, meskipun dengan fokus yang lebih terarah pada pengaruh *frame rate* dan desain lingkungan virtual. Penelitian ini menilai bahwa penggunaan HMDs seperti HTC Vive, yang memiliki resolusi tinggi dan *framerate* 90Hz, mempengaruhi adaptasi postur tangan dan lengan saat manipulasi objek virtual, dengan aktivasi otot yang lebih akurat ketika berinteraksi dengan objek nyata dibandingkan objek virtual. Temuan ini menunjukkan bahwa visualisasi dalam VR mempengaruhi pola gerakan tubuh dan kebutuhan akan postur yang tepat, yang memiliki dampak pada efisiensi gerakan dan kelelahan otot. Oleh karena itu, penting untuk merancang *headset* yang ergonomis, dengan memperhatikan tidak hanya berat tetapi juga kenyamanan visual. Desain yang memperhatikan kedua faktor tersebut dapat membantu meningkatkan pengalaman pengguna sekaligus mengurangi risiko negatif terhadap postur dan kesehatan otot, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih aman dan nyaman bagi pengguna teknologi.

Penelitian oleh Shan *et al.* (2024) mengungkapkan bahwa pengenalan postur tubuh pengguna juga tidak kalah penting dalam memberikan dampak terhadap postur dan aktivitas otot. Dalam eksperimen ini, jaringan konvolusional waktu digunakan untuk menganalisis data dari tiga sumber: informasi gambar historis, gambar saat ini, dan asosiasi antar gambar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode berbasis *deep learning* dapat meningkatkan akurasi pengenalan postur tubuh, yang berdampak positif pada pengelolaan postur dan aktivitas otot. Dengan pengenalan postur yang lebih tepat, pengguna dapat menghindari kebiasaan postur yang buruk yang dapat menyebabkan ketegangan atau kelelahan otot.

Penggunaan *head-mounted displays* (HMDs) dalam pengalaman *virtual reality* (VR) mempengaruhi gerakan tubuh dan postur pengguna, yang berdampak pada kenyamanan serta risiko kelelahan otot. Penelitian oleh Reynaert *et al.* (2023) menunjukkan bahwa jenis gerakan tangan memiliki pengaruh langsung terhadap persepsi kelelahan otot. Gerakan vertikal dan diagonal terbukti lebih melelahkan dibandingkan gerakan horizontal, yang dapat menyebabkan postur buruk. Akibatnya, pengguna mungkin kesulitan mempertahankan postur optimal saat melakukan gerakan berat, yang meningkatkan risiko cedera muskuloskeletal. Desain yang memungkinkan gerakan lebih ringan dapat membantu menciptakan interaksi yang lebih nyaman dan efisien. Iqbal *et al.* (2021) juga mengungkapkan dampak jenis gerakan terhadap kelelahan otot. Mereka menemukan bahwa metode interaksi yang memungkinkan pengguna menjaga lengan dalam posisi yang lebih rileks, seperti penggunaan teknik *ProxyHand* dan *StickHand*, mengurangi ketegangan otot di lengan dan bahu. Hal ini penting karena interaksi yang terlalu banyak mengandalkan gerakan mengangkat lengan atau melakukan gerakan berat dapat meningkatkan ketegangan fisik, yang akhirnya mengganggu kenyamanan pengguna selama sesi VR. Kempter *et al.* (2023) membahas pentingnya posisi kepala dalam interaksi VR. Dalam eksperimen simulasi berkendara, peserta yang harus mempertahankan posisi kepala tertentu mengalami peningkatan aktivitas otot di leher, khususnya pada otot *sternokleidomastoid* (SCM) dan *trapezius* (TRP). Peningkatan aktivitas ini menunjukkan risiko ketegangan otot yang lebih tinggi saat kepala diputar atau berada dalam posisi yang kurang nyaman. Hal ini menegaskan perlunya teknik interaksi yang tidak hanya memfasilitasi gerakan tangan yang lebih santai, tetapi juga mempertimbangkan posisi kepala agar pengguna tetap nyaman dan terhindar dari cedera leher. Choe *et al.* (2021) meneliti bagaimana metode interaksi dalam *virtual reality* (VR) mempengaruhi berbagai kelompok otot. Penggunaan metode interaksi manual, seperti pemilihan dengan tangan, cenderung lebih banyak mengaktifkan otot tangan dan jari, sedangkan metode pemilihan melalui tatapan meningkatkan aktivitas otot leher dan mata. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan metode interaksi yang tepat harus memperhitungkan beban otot yang terlibat untuk menghindari kelelahan yang berlebihan pada bagian tubuh tertentu selama penggunaan VR. Sementara itu, van der Veen *et al.* (2020) mengemukakan bahwa perspektif pertama dalam interaksi VR meningkatkan aktivasi otot dan ekskursi sendi, yang bermanfaat bagi rehabilitasi ortopedi. Perspektif ini membuat pengguna lebih terlibat secara fisik, yang dapat membantu meningkatkan kekuatan dan *fleksibilitas*. Oleh karena itu, desain interaksi VR yang memperhitungkan penggunaan perspektif yang mendorong keterlibatan fisik aktif dapat memaksimalkan manfaat dalam hal rehabilitasi, sekaligus mengurangi risiko kelelahan dan cedera.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari tinjauan literatur sistematis ini, penggunaan *Head-Mounted Displays* (HMDs) dalam teknologi *virtual reality* maupun *augmented reality* menunjukkan dampak yang berpengaruh terhadap postur dan aktivitas otot pengguna. Sudut pandang dan penempatan objek yang digunakan saat berinteraksi dengan lingkungan virtual sangat mempengaruhi postur tubuh. Sudut yang lebih lebar dapat menambah tantangan bagi pengguna, terutama bagi kelompok usia yang lebih tua, yang mungkin kesulitan menjaga keseimbangan postur. Selain itu, berat *headset* memainkan peran penting *headset* yang lebih berat meningkatkan ketegangan otot leher dan bahu, sehingga desain yang lebih ringan dan ergonomis sangat dianjurkan. Efek visual juga tidak kalah penting, di mana kondisi optik yang tidak tepat dapat menyebabkan ketidaknyamanan visual yang berdampak pada stabilitas postur. Selain itu, pengenalan postur yang lebih baik melalui teknologi analisis gerakan dapat membantu pengguna menghindari kebiasaan postur yang buruk. Gerakan tubuh, terutama jenis gerakan yang dilakukan, seperti gerakan vertikal dan diagonal, berpengaruh pada kelelahan otot, sehingga metode interaksi yang mengurangi beban otot sangat penting. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan kenyamanan dan mengurangi risiko cedera muskuloskeletal, direkomendasikan desain *headset* yang lebih ringan, penempatan objek virtual pada sudut dan ketinggian yang ergonomis, serta pengembangan teknologi yang mendukung pengenalan postur secara *real-time*. Langkah-langkah ini akan meningkatkan pengalaman pengguna dan mengurangi dampak negatif dari penggunaan HMDs dalam jangka panjang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asadzadeh, A., Salahzadeh, Z., Samad-Soltani, T., & Rezaei-Hachesu, P. (2024). An affordable and immersive virtual reality-based exercise therapy in forward head posture. *PLoS ONE*, 19(3 March). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297863>
- Astrologo, A. N., Nano, S., Klemm, E. M., Shefelbine, S. J., & Dennerlein, J. T. (2024). Determining the effects of AR/VR HMD design parameters (mass and inertia) on cervical spine joint torques. *Applied Ergonomics*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104183>
- Chaplin, E., Karatzios, C., & Benaim, C. (2023). Clinical Applications of Virtual Reality in Musculoskeletal Rehabilitation: A Scoping Review. In *Healthcare (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 24). Multidisciplinary

- Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/healthcare11243178>
- Choe, M., Park, J., & Kim, H. K. (2021). Effect of target size, location, and input method on interaction in immersive virtual reality. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/app11219846>
- Iqbal, H., Latif, S., Yan, Y., Yu, C., & Shi, Y. (2021). Reducing Arm Fatigue in Virtual Reality by Introducing 3D-Spatial Offset. *IEEE Access*, 9, 64085–64104. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3075769>
- Ito, K., Tada, M., Ujike, H., & Hyodo, K. (2021). Effects of the weight and balance of head-mounted displays on physical load. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11156802>
- Jeong, G. S., Kang, H. G., & Kim, S. Y. (2024). Dependence of Body Stability on Optical Conditions during VR Viewing. *Electronics (Switzerland)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/electronics13101812>
- Kačerová, I., Kubr, J., Hořejší, P., & Kleinová, J. (2022). Ergonomic Design of a Workplace Using Virtual Reality and a Motion Capture Suit. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042150>
- Kempter, F., Lantella, L., Stutzig, N., Fehr, J., & Siebert, T. (2023). Role of Rotated Head Postures on Volunteer Kinematics and Muscle Activity in Braking Scenarios Performed on a Driving Simulator. *Annals of Biomedical Engineering*, 51(4), 771–782. <https://doi.org/10.1007/s10439-022-03087-9>
- Kim, Y. M., Bahn, S., & Yun, M. H. (2021). Wearing comfort and perceived heaviness of smart glasses. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 31(5), 484–495. <https://doi.org/10.1002/hfm.20895>
- Kwon, Y., Dwivedi, A., McDaid, A. J., & Liarokapis, M. (2021). Electromyography-Based Decoding of Dexterous, In-Hand Manipulation of Objects: Comparing Task Execution in Real World and Virtual Reality. *IEEE Access*, 9, 37297–37310. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3062364>
- Mohamed, R., Ghazali, M., & Samsudin, M. A. (2020). A Systematic Review on Mathematical Language Learning Using PRISMA in Scopus Database. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(8), 1–12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8300>
- Muhla, F., Clanché, F., Duclos, K., Meyer, P., Maïaux, S., Colnat-Coulbois, S., & Gauchard, G. C. (2020). Impact of using immersive virtual reality over time and steps in the Timed up and Go test in elderly people. *PLoS ONE*, 15(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229594>
- Penumudi, S. A., Kuppam, V. A., Kim, J. H., & Hwang, J. (2020). The effects of target location on musculoskeletal load, task performance, and subjective discomfort during virtual reality interactions. *Applied Ergonomics*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103010>
- Reynaert, V., Rekik, Y., Berthaut, F., & Grisoni, L. (2023). The effect of hands synchronicity on users perceived arms Fatigue in Virtual reality environment. *International Journal of Human Computer Studies*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103092>
- Shan, Z., Li, Z., & Song, W. (2024). Research on Human Posture Recognition Method Based on Deep Learning. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 24(2). <https://doi.org/10.1142/S0219519424400104>
- Tashiro, T., Maeda, N., Abekura, T., Mizuta, R., Terao, Y., Arima, S., Onoue, S., & Urabe, Y. (2024). Adaptation of Postural Sway in a Standing Position during Tilted Video Viewing Using Virtual Reality: A Comparison between Younger and Older Adults. *Sensors*, 24(9). <https://doi.org/10.3390/s24092718>
- Trinidad-Fernández, M., Bossavit, B., Salgado-Fernández, J., Abbate-Chica, S., Fernández-Leiva, A. J., & Cuesta-Vargas, A. I. (2023). Head-Mounted Display for Clinical Evaluation of Neck Movement Validation with Meta Quest 2. *Sensors*, 23(6). <https://doi.org/10.3390/s23063077>
- van der Veen, S. M., Stamenkovic, A., Applegate, M. E., Leitkam, S. T., France, C. R., & Thomas, J. S. (2020). Effects of avatar perspective on joint excursions used to play virtual dodgeball: Within-subject comparative study. *JMIR Serious Games*, 8(3). <https://doi.org/10.2196/18888>
- Yan, Y., Chen, K., Xie, Y., Song, Y., & Liu, Y. (2019). The effects of weight on comfort of virtual reality devices. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 777, 239–248. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94706-8\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94706-8_27)