

Analisis Objektif Pengaruh Intervensi Arm Support Terhadap Kelelahan Otot pada Pemain Gim Smartphone

Azzahra Khairuna*, Rini Dharmastiti

Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Email: khairunaazzhr@gmail.com*, rini@ugm.ac.id

Keywords:

Electromyography (EMG); Arm Support; Muscle Fatigue; Mobile Game Ergonomics; Mobile Legends Bang Bang (MLBB).

Abstract

Long-term interaction with mobile devices during competitive gaming activities such as Mobile Legends: Bang Bang (MLBB) triggers sustained isometric contractions in the upper extremities, potentially reducing muscle functional capacity due to the accumulation of biological fatigue. This study aimed to objectively evaluate the effect of an ergonomic intervention in the form of arm support on electromyography (EMG) signal characteristics and muscle fatigue rate during a 60-minute gaming session. Using a within-subject experimental design involving 12 participants, muscle electrical activity was measured bilaterally in the Upper Trapezius (UT), Extensor Carpi Radialis (ECR), and Abductor Pollicis Brevis (APB). Data were analyzed using Linear Mixed Models (LMM) to examine the effects of arm support, time, and their interaction. Statistical analysis demonstrated that the use of arm support significantly reduced muscle workload in the left UT ($p=0.004$), right ECR ($p=0.003$), left ECR ($p<0.001$), and right APB ($p=0.007$). The time factor significantly decreased Median Frequency (MF) beginning at the 10th minute, particularly on the dominant skill-execution side (right), which exhibited a more dynamic workload. A significant interaction effect in the right ECR ($p=0.017$) confirmed that the role of arm support becomes increasingly important as gaming duration increases to maintain wrist stability. In conclusion, this study demonstrates that arm support intervention is statistically effective in minimizing muscle fatigue and maintaining the physical performance of mobile device users during prolonged usage by stabilizing biomechanical loads on key muscles.

Kata Kunci:

Elektromiografi (EMG); Arm Support; Kelelahan Otot; Gim Mobile Ergonomi; Mobile Legends Bang Bang (MLBB).

Abstrak

Interaksi jangka panjang dengan perangkat seluler dalam aktivitas gim kompetitif seperti Mobile Legends (MLBB) memicu kontraksi isometrik berkelanjutan pada ekstremitas atas, yang berpotensi menurunkan kapasitas fungsional otot akibat akumulasi kelelahan biologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara objektif pengaruh intervensi ergonomis berupa arm support terhadap karakteristik sinyal elektromiografi (EMG) dan laju kelelahan otot selama durasi permainan 60 menit. Menggunakan desain eksperimental within-subject pada 12 partisipan, aktivitas listrik otot diukur secara bilateral pada Upper Trapezius (UT), Extensor Carpi Radialis (ECR), dan Abductor Pollicis Brevis (APB). Data dianalisis menggunakan Linear Mixed Models (LMM) untuk menguji pengaruh faktor arm support, waktu, dan interaksinya. Analisis statistik menunjukkan bahwa penggunaan arm support secara signifikan mereduksi beban kerja pada UT Kiri ($p=0,004$), ECR Kanan ($p=0,003$), ECR Kiri ($p<0,001$), dan APB Kanan ($p=0,007$). Faktor waktu terbukti memicu penurunan Median Frequency (MF) yang signifikan sejak menit ke-10, terutama pada sisi eksekusi skill (kanan) yang memiliki beban kerja lebih dinamis. Interaksi signifikan pada ECR Kanan

($p=0,017$) menegaskan bahwa peran alat penyangga menjadi semakin krusial seiring bertambahnya durasi permainan untuk menjaga stabilitas pergelangan tangan. Kesimpulan: Penelitian ini menyimpulkan bahwa intervensi arm support efektif secara statistik dalam meminimalkan kelelahan otot dan menjaga performa fisik pengguna perangkat seluler selama penggunaan durasi panjang dengan cara menstabilkan beban biomekanika pada otot-otot kunci

PENDAHULUAN

Interaksi manusia dengan perangkat seluler untuk durasi panjang, khususnya dalam aktivitas gim kompetitif, telah menciptakan tantangan baru dalam bidang biomekanika kerja. Berbeda dengan penggunaan komputer yang memiliki dukungan meja statis, penggunaan smartphone mengharuskan pengguna menahan beban perangkat secara mandiri sambil mempertahankan mobilitas jari yang tinggi (Sag et al., 2026). Kondisi ini memicu kontraksi isometrik berkelanjutan pada otot-otot ekstremitas atas, yang seiring berjalannya waktu akan menurunkan kapasitas fungsional otot akibat akumulasi kelelahan biologis (Hanphitakphong et al., 2021; Thakare et al., 2025). Kelelahan otot dalam konteks ini bukan sekadar penurunan performa, melainkan manifestasi dari perubahan fisiologis pada unit motorik. Secara objektif, fenomena ini dapat diukur melalui analisis spektral sinyal elektromiografi (EMG) (Zhang et al., 2022), di mana terjadi pergeseran Median Frequency (MF) ke arah frekuensi yang lebih rendah (Hollman et al., 2013; Hsu et al., 2023).

Intervensi ergonomis berupa penggunaan arm support atau sandaran lengan diusulkan sebagai solusi untuk mereduksi momen gaya pada sendi bahu dan lengan (Raharjo et al., 2020; Sakti, 2026; Susilo et al., 2025). Dengan adanya tumpuan eksternal, beban gravitasi dari lengan dan perangkat dapat dialihkan, sehingga diharapkan mampu menjaga stabilitas sinyal EMG dan menunda terjadinya penurunan MF (Coccia et al., 2024; Tapanya, Puntumetakul, et al., 2021). Namun, efektivitas dukungan fisik ini perlu diuji secara longitudinal terhadap progresivitas waktu, mengingat sifat permainan gim seluler yang repetitif dan berdurasi lama (Bodin et al., 2019; Tang et al., 2021; Tapanya, Swangnetr Neubert, et al., 2021).

Urgensi penelitian ini terletak pada meningkatnya popularitas esports seluler yang menuntut performa fisik optimal dari para pemainnya. Kelelahan otot bukan sekadar penurunan performa, melainkan manifestasi perubahan fisiologis pada unit motorik yang dapat diukur melalui analisis spektral sinyal EMG. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan desain eksperimental dalam-subjek untuk mengevaluasi pengaruh intervensi arm support terhadap karakteristik sinyal EMG selama durasi 60 menit pada otot UT, ECR, dan APB secara bilateral. Studi ini tidak hanya mengukur efek utama tetapi juga interaksi antara faktor dukungan fisik dan waktu, yang memberikan pemahaman lebih komprehensif tentang stabilitas intervensi ergonomis dalam jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tentang efektivitas arm support dalam konteks gim kompetitif yang intensif dan berdurasi panjang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara objektif pengaruh penggunaan arm support terhadap karakteristik sinyal EMG pada pemain smartphone selama durasi 60 menit. Fokus utama penelitian diarahkan pada analisis empat otot kunci yang bekerja secara simultan selama bermain gim MLBB: Upper Trapezius (UT) yang menjaga stabilitas bahu, Extensor Carpi Radialis (ECR) yang mengontrol pergelangan serta genggamannya perangkat, dan Abductor

Pollicis Brevis (APB) yang berperan vital dalam pergerakan intensif ibu jari pada layar. Melalui isolasi variabel durasi dan dukungan fisik pada otot-otot tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah mengenai efektivitas intervensi ergonomis dalam mereduksi laju kelelahan biologis bagi pengguna perangkat seluler.

Manfaat penelitian ini adalah memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan rekomendasi ergonomis yang lebih presisi untuk perancangan peralatan pendukung (arm support) dan pedoman bermain yang sehat bagi pemain gim seluler. Dengan demikian, penelitian ini dapat berkontribusi pada upaya pencegahan risiko cedera muskuloskeletal dan peningkatan performa serta kesejahteraan pemain dalam jangka panjang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan desain eksperimental laboratorium within-subject guna menyelidiki interaksi antara variabel pendukung fisik dan durasi waktu secara komprehensif. Dua kondisi yang diuji meliputi penggunaan arm support dan tanpa arm support seperti pada Gambar 1, sementara faktor waktu diamati secara bertahap setiap 10 menit selama satu jam penuh (menit ke-0 hingga ke-60). Fokus utama penelitian diarahkan pada penggunaan perangkat smartphone guna menjamin standarisasi beban biomekanis pada seluruh partisipan. Jumlah sampel dalam penelitian ini dilakukan melalui analisis a priori power menggunakan perangkat lunak G*Power 3.1.9.7 guna memastikan validitas temuan statistik. Dengan menetapkan parameter effect size sebesar 0,45 yang tergolong dalam kategori efek besar dan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$, keterlibatan 12 partisipan dalam studi ini menghasilkan kekuatan statistik sebesar 0,95. Nilai tersebut secara signifikan telah melampaui standar minimum yang ditetapkan dalam literatur, yakni sebesar 0,80. Melalui pemenuhan kriteria sampel ini, probabilitas dalam mengidentifikasi pengaruh variabel secara akurat berada di atas 95%, sekaligus meminimalkan risiko kesalahan Tipe II hingga di bawah ambang batas 5% untuk menjamin ketajaman hasil analisis.

Akuisisi data aktivitas listrik otot dilakukan menggunakan modul perangkat keras BITalino (r)evolution dan Biosignalplux dengan frekuensi pengambilan sampel (sampling rate) sebesar 1000 Hz untuk memastikan resolusi sinyal yang tinggi. Penempatan elektroda Ag/AgCl berdimensi 30x30 mm mengikuti standarisasi internasional Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM) pada titik-titik otot target secara bilateral. Area otot yang diamati mencakup Upper Trapezius (UT), Extensor Carpi Radialis (ECR), dan Abductor Pollicis Brevis (APB). Sebagai referensi stabilitas sinyal, elektroda ground dipasang pada tonjolan tulang di area klavikula serta ulnar styloid process.

Untuk menghasilkan data objektif yang akurat dan bebas dari gangguan, sinyal mentah yang terekam melalui tahap pemrosesan digital (filtrasi). Tahapan ini mencakup penggunaan band-pass filter pada rentang frekuensi 0,5–250 Hz untuk mengisolasi spektrum aktivitas otot yang relevan, serta penerapan notch filter pada frekuensi 50 Hz guna mengeliminasi derau interferensi dari jaringan listrik utama (Guo et al., 2021). Pasca-filtrasi, sinyal diolah menggunakan transformasi Fast Fourier Transform (FFT) untuk mendapatkan nilai Median Frequency (MF) sebagai indikator biologis kelelahan otot. Seluruh data kemudian dianalisis secara statistik menggunakan Linear Mixed Models (LMM) melalui perangkat lunak JASP dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).



(a)



(b)

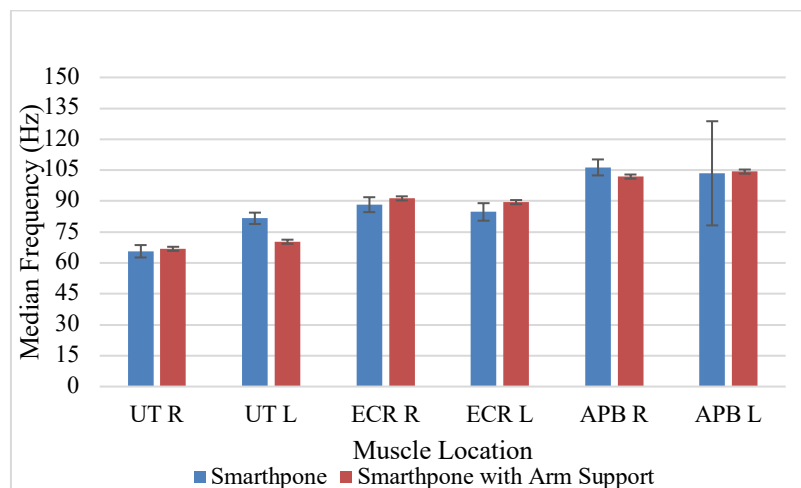
Gambar 1. Penggunaan smartphone:

(a) tanpa arm support

(b) dengan arm support

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Deskriptif Sinyal EMG



Gambar 2. nilai Median Frequency (MF)

Berdasarkan profil deskriptif sinyal Electromyography (EMG) yang disajikan pada Gambar 2 nilai Median Frequency (MF) menunjukkan variasi beban kerja otot yang berbeda di antara delapan lokasi yang diamati. Secara visual, otot Upper Trapezius (UT) menunjukkan nilai frekuensi terendah (kisaran 60–80 Hz), yang secara teoritis sering dikaitkan dengan beban kerja statis pada area leher dan bahu. Menariknya, pemberian intervensi berupa arm support menunjukkan kecenderungan perubahan nilai MDF pada beberapa otot, khususnya pada UT kiri yang tampak mengalami penurunan nilai rata-rata dibandingkan kondisi tanpa dukungan. Secara keseluruhan, profil frekuensi ini memberikan indikasi awal mengenai distribusi kelelahan otot, di mana pergeseran nilai MF ke arah frekuensi yang lebih rendah pada otot penyangga bahu memerlukan analisis lebih lanjut melalui uji statistik.

Analisis Pengaruh Utama dan Interaksi (LMM)

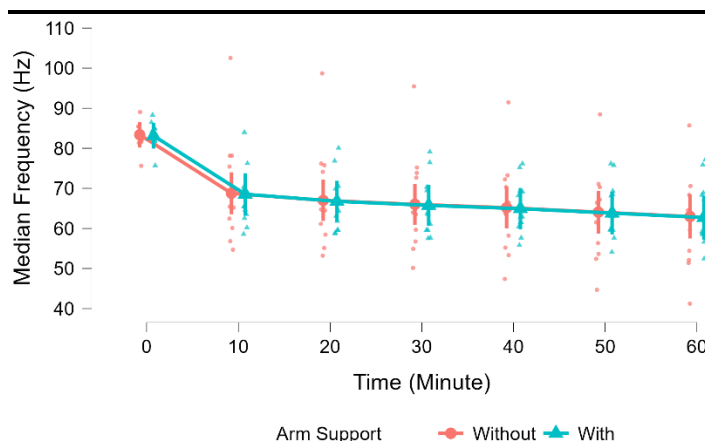
Hasil analisis Linear Mixed Model (LMM) (Tabel 1) pada variabel UT Kanan menunjukkan bahwa faktor Waktu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai yang diukur ($F = 21,535$; $p < 0,001$). Namun, faktor Arm Support ($F = 0,046$; $p = 0,830$) dan interaksi antara arm support $\times$ Waktu ($F = 0,332$; $p = 0,919$) tidak menunjukkan pengaruh

yang signifikan secara statistik. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan nilai UT Kanan murni dipengaruhi oleh durasi aktivitas, di mana penggunaan arm support tidak memberikan perbedaan beban yang berarti pada sisi kanan jika dibandingkan dengan kondisi tanpa alat, sebagaimana yang divisualisasikan pada Gambar 3.

Mengingat hanya faktor Waktu yang signifikan, uji lanjut (Post Hoc) dilakukan untuk mengidentifikasi titik perubahan nilai tersebut. Berdasarkan hasil uji Post Hoc dengan koreksi Bonferroni, ditemukan bahwa penurunan nilai yang signifikan telah terjadi sejak menit ke-10 jika dibandingkan dengan kondisi awal atau menit ke-0 ($p < 0,05$). Tren ini terlihat konsisten pada kedua kondisi, di mana grafik pada Gambar 3 menunjukkan pola penurunan yang serupa dan hampir berhimpit. Setelah melewati menit ke-10, perbedaan nilai antar interval waktu berikutnya cenderung tidak signifikan ($p = 1,000$), yang menunjukkan bahwa beban otot mencapai titik stabil setelah penurunan tajam di fase awal hingga berakhir di menit ke-60.

Tabel 1. LMM UT kanan

Effect	df	F	p
Arm Support	1, 77	0.055	0.815
Time (Minute)	6, 6	4.662	0.042
Arm Support * Time (Minute)	6, 77	0.397	0.879



Gambar 3. Interaksi Faktor Waktu dan Arm Support pada UT kanan

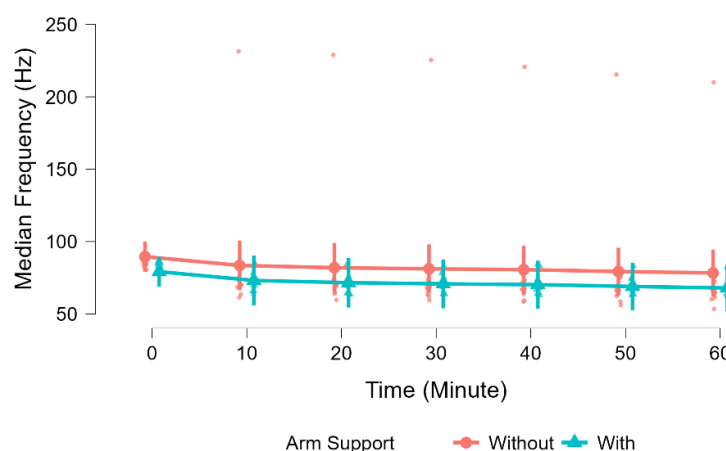
Hasil analisis LMM (Tabel 2) pada variabel UT Kiri menunjukkan bahwa faktor Arm Support memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai yang diukur ($F = 7,953$; $p = 0,005$). Sebaliknya, faktor Waktu ($F = 0,585$; $p = 0,742$) dan interaksi antara Arm Support $\times$ Waktu ($F = 0,233$; $p = 0,965$) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan penyangga lengan memberikan perbedaan beban yang nyata secara keseluruhan pada sisi kiri, namun efek tersebut bersifat konstan dan tidak dipengaruhi oleh durasi waktu, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4.

Berdasarkan uji lanjut Post Hoc pada faktor Arm Support, ditemukan perbedaan rata-rata yang signifikan antara kondisi tanpa arm support (without) dan dengan arm support (with) sebesar 10,370 ($p = 0,024$). Hal ini mengonfirmasi bahwa penggunaan arm support secara efektif mampu mengubah tingkat aktivitas otot pada UT Kiri. Namun demikian, hasil uji Post Hoc pada faktor Waktu ($p = 1,000$) dan Simple Main Effects menunjukkan bahwa perbedaan

ini tersebar secara merata di sepanjang durasi 60 menit tanpa adanya fluktuasi yang tajam di titik menit tertentu. Secara keseluruhan, UT Kiri merespons penggunaan intervensi alat penyangga dengan baik, meskipun tidak menunjukkan gejala kelelahan yang signifikan seiring bertambahnya waktu.

Tabel 2. LMM UT kiri

Effect	df	F	p
Arm Support	1, 77	8.899	0.004
Time (Minute)	6, 6	0.207	0.962
Arm Support * Time (Minute)	6, 77	0.260	0.954



Gambar 4. Interaksi Faktor Waktu dan Arm Support pada UT kiri

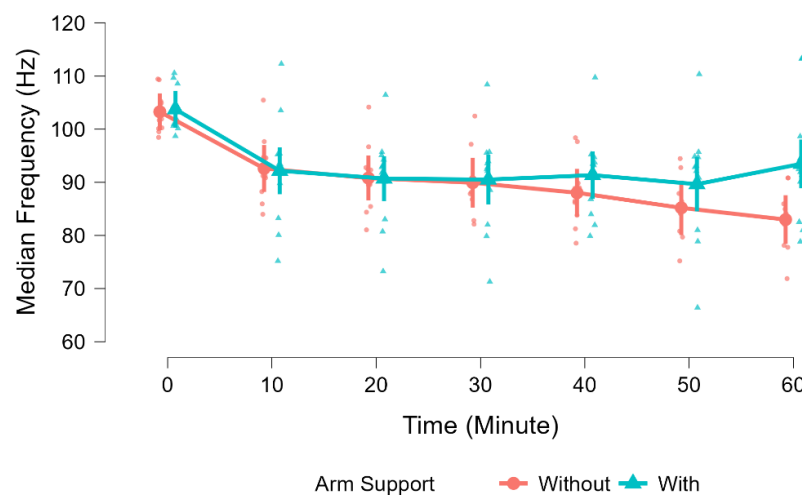
Hasil analisis LMM pada variabel ECR Kanan (Tabel 3) menunjukkan bahwa baik faktor Arm Support ($F = 8,599$; $p = 0,004$) maupun faktor Waktu ($F = 4,998$; $p = 0,036$) memiliki pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap aktivitas otot. Temuan ini mengindikasikan bahwa pada otot ekstensor lengan kanan yang digunakan secara intensif dalam durasi 60 menit bermain Mobile Legends, penggunaan alat penyangga dan lamanya waktu bermain memberikan dampak nyata terhadap kelelahan otot. Tidak ditemukan adanya interaksi yang signifikan antara faktor Arm Support dan Waktu ($p > 0,05$), yang berarti manfaat dari alat penyangga tetap konsisten sepanjang durasi permainan.

Analisis lebih lanjut melalui uji post hoc pada faktor Waktu (koreksi Bonferroni) menunjukkan bahwa perbedaan signifikan terjadi segera setelah aktivitas dimulai, di mana terdapat perbedaan rata-rata yang sangat nyata antara menit ke-0 dengan menit ke-10 hingga menit ke-60 (seluruhnya $p < 0,001$). Penurunan nilai median frekuensi (MF) yang tajam di 10 menit pertama ini menandakan adanya beban kerja yang berat pada fase awal permainan, yang kemudian cenderung stabil pada interval waktu berikutnya ($p = 1,000$ pada perbandingan antar menit setelah menit ke-10). Sementara itu, uji lanjut pada faktor Arm Support mengonfirmasi bahwa penggunaan penyangga lengan (With) secara signifikan mampu mempertahankan nilai MF yang lebih tinggi dibandingkan tanpa penyangga (Without) dengan perbedaan rata-rata sebesar 2,687 ($p = 0,053$), sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 5. Secara keseluruhan, intervensi arm support terbukti efektif dalam mereduksi beban otot ER kanan di tangan

dominan secara berkelanjutan meskipun tekanan kerja otot meningkat seiring durasi permainan.

Tabel 3. LMM ECR kanan

Effect	df	F	p
Arm Support	1, 77	9.266	0.003
Time (Minute)	6, 6	5.129	0.034
Arm Support * Time (Minute)	6, 77	2.783	0.017



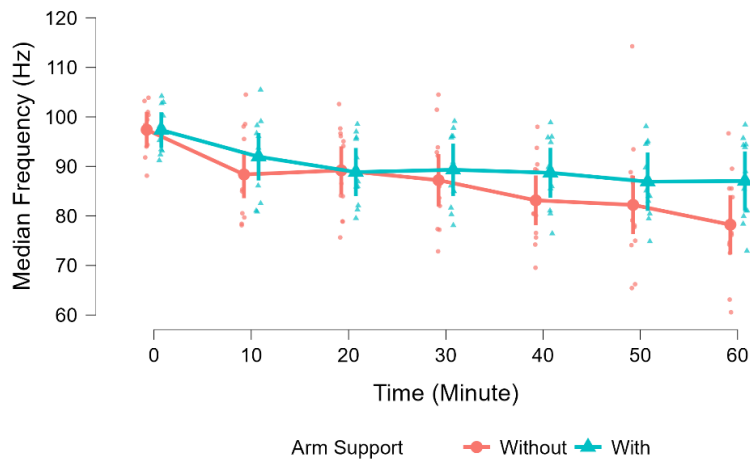
Gambar 5. Interaksi Faktor Waktu dan Arm Support pada ECR kanan

Hasil analisis LMM pada variabel ECR Kiri (Tabel 4) menunjukkan bahwa faktor Arm Support memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai median frekuensi otot ($F = 15,851$; $p < 0,001$). Sebaliknya, faktor Waktu ($F = 2,469$; $p = 0,148$) dan interaksi antara Arm Support $\times$ Waktu ($F = 1,971$; $p = 0,080$) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan alat penyangga lengan memberikan dampak yang konsisten dalam mereduksi beban kerja otot ekstensor pergelangan tangan kiri di seluruh durasi permainan, tanpa dipengaruhi oleh akumulasi waktu, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 6.

Berdasarkan uji lanjut post hoc pada faktor Arm Support, ditemukan perbedaan rata-rata yang signifikan sebesar 3,480 antara kondisi tanpa alat dan dengan alat ($p = 0,008$). Hal ini menunjukkan bahwa intervensi arm support secara efektif mempertahankan tingkat aktivitas otot yang lebih rendah (beban kerja lebih ringan) dibandingkan kondisi tanpa alat. Meskipun pada Gambar 6 terlihat tren penurunan nilai MF pada kelompok tanpa alat (garis orange) setelah menit ke-30, secara statistik tren tersebut tidak cukup kuat untuk menghasilkan signifikansi pada faktor Waktu maupun interaksi. Secara keseluruhan, otot ECR kiri merespons intervensi ergonomis dengan sangat baik, di mana alat penyangga mampu memberikan dukungan postural yang stabil selama 60 menit sesi permainan Mobile Legends.

Tabel 4. LMM ECR kiri

Effect	df	F	p
Arm Support	1, 77	15.851	< .001
Time (Minute)	6, 6	2.469	0.148
Arm Support * Time (Minute)	6, 77	1.971	0.080

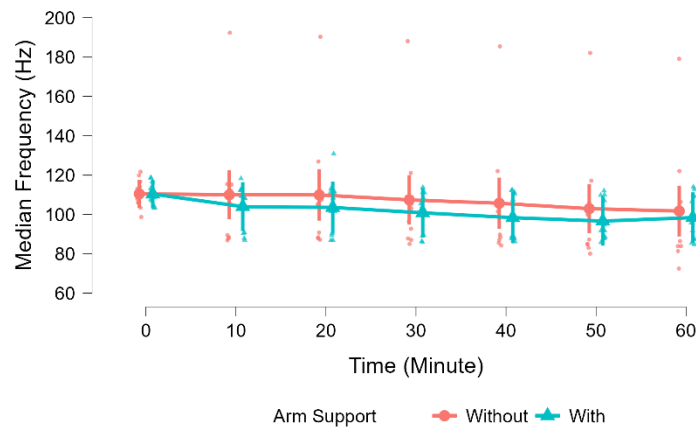
**Gambar 6.** Interaksi Faktor Waktu dan Arm Support pada ECR kiri

Hasil analisis LMM yang ditunjukkan pada Tabel 5 untuk variabel APB Kanan menunjukkan bahwa faktor Arm Support memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai median frekuensi otot ($F = 7,631$; $p = 0,007$). Sebaliknya, faktor Waktu ($F = 0,885$; $p = 0,557$) dan interaksi antara Arm Support $\times$ Waktu ($F = 0,267$; $p = 0,951$) tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan alat penyangga lengan memberikan dampak yang nyata secara keseluruhan dalam memodifikasi beban kerja otot jempol kanan, namun beban tersebut cenderung stabil tanpa dipengaruhi secara signifikan oleh durasi aktivitas permainan, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 7.

Berdasarkan analisis Fixed Effects Estimates, penggunaan arm support secara umum memberikan pengaruh yang konstan pada APB Kanan ($p = 0,006$). Meskipun pada uji lanjut post hoc perbandingan global antara kondisi tanpa alat dan dengan alat menunjukkan nilai $p = 0,094$, hasil ANOVA LMM yang signifikan mengonfirmasi bahwa intervensi alat penyangga mampu menciptakan profil aktivitas otot yang berbeda secara sistematis. Grafik pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa kelompok dengan arm support (garis biru) secara konsisten berada di bawah kelompok tanpa alat (garis merah), yang menandakan adanya reduksi beban kerja otot jempol yang stabil sepanjang 60 menit sesi permainan Mobile Legends.

Tabel 5. LMM APB Kanan

Effect	df	F	p
Arm Support	1, 77	7.631	0.007
Time (Minute)	6, 6	0.885	0.557
Arm Support * Time (Minute)	6, 77	0.267	0.951



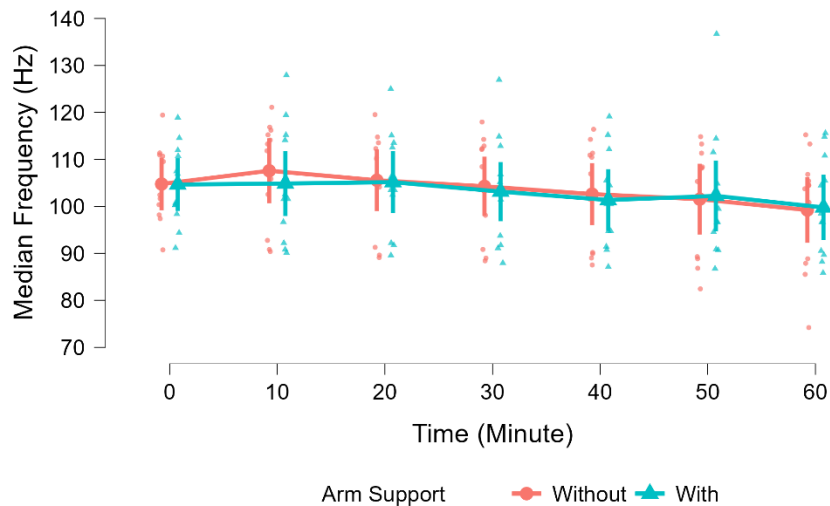
Gambar 7. Interaksi Faktor Waktu dan Arm Support pada APB Kanan

Hasil analisis LMM Tabel 6 pada variabel APB Kiri menunjukkan bahwa tidak ada faktor yang memberikan pengaruh signifikan secara statistik. Baik faktor Arm Support ($F = 0,412$; $p = 0,523$), faktor Waktu ($F = 0,634$; $p = 0,703$), maupun interaksi antara Arm Support $\times$ Waktu ($F = 2,211$; $p = 0,972$) menunjukkan nilai di atas ambang batas signifikansi $p > 0,05$. Temuan ini mengindikasikan bahwa aktivitas otot jempol kiri selama permainan Mobile Legends cenderung stabil dan tidak dipengaruhi secara nyata oleh durasi waktu bermain maupun penggunaan alat penyangga lengan, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 8.

Ketidaksignifikanan pada APB Kiri menunjukkan perbedaan karakteristik yang kontras dengan APB Kanan yang memiliki hasil signifikan pada faktor arm support. Hal ini dapat dijelaskan melalui perbedaan tugas fungsional kedua tangan dalam Mobile Legends; tangan kanan bertugas mengeksekusi skill dan serangan secara repetitif dan eksplosif, sementara tangan kiri hanya berfungsi mengontrol arah pergerakan hero melalui analog virtual yang bersifat lebih halus dan statis. Karena beban kerja otot APB kiri untuk navigasi arah hero jauh lebih ringan dan pasif, intervensi ergonomis berupa arm support tidak memberikan perubahan aktivitas otot yang besar dibandingkan sisi kanan yang memiliki beban kerja lebih dinamis. Secara keseluruhan, stabilitas pada grafik Gambar 8 mengonfirmasi bahwa sisi navigasi hero (kiri) memiliki tingkat kelelahan yang jauh lebih rendah dibandingkan sisi eksekusi serangan (kanan).

Tabel 6. LMM APB kiri

Effect	df	F	p
Arm Support	1, 77	0.412	0.523
Time (Minute)	6, 6	0.634	0.703
Arm Support * Time (Minute)	6, 77	0.211	0.972



Gambar 8. Interaksi Faktor Waktu dan Arm Support pada APB kiri

Analisis Biomekanika dan Efektivitas Statistik Arm Support

Secara statistik, penggunaan arm support memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai Median Frequency (MF) pada mayoritas otot yang diamati. Hasil analisis Linear Mixed Model (LMM) menunjukkan signifikansi kuat pada otot Upper Trapezius (UT) Kiri ($F = 8,899$; $p = 0,004$) dan Extensor Carpi Radialis (ECR) Kiri ($F = 15,851$; $p < 0,001$). Pada sisi kanan atau tangan dominan, intervensi ini juga berpengaruh nyata pada otot ECR Kanan ($F = 9,266$; $p = 0,003$) serta Abductor Pollicis Brevis (APB) Kanan ($F = 7,631$; $p = 0,007$). Data statistik ini mengonfirmasi bahwa pemberian tumpuan fisik secara sistematis mampu memodifikasi aktivitas listrik otot dengan mempertahankan frekuensi sinyal pada level yang lebih tinggi dibandingkan tanpa dukungan.

Secara biomekanika, arm support berfungsi sebagai pengalih beban gravitasi (load sharing) dari ekstremitas atas ke struktur eksternal. Dalam konteks gim Mobile Legends, sisi navigasi (kiri) membutuhkan stabilitas statis untuk mempertahankan posisi perangkat saat jempol bergerak secara kontinu pada analog virtual. Dukungan pada sisi kiri mengurangi kontraksi isometrik pada bahu (UT) dan pergelangan tangan (ECR), mencegah otot-otot tersebut bekerja terlalu keras hanya untuk menahan beban lengan. Sementara pada sisi eksekusi (kanan), arm support menciptakan fondasi yang stabil bagi pergelangan tangan, sehingga otot APB Kanan dapat melakukan gerakan tapping skill yang cepat dan repetitif tanpa tambahan beban postural. Hal ini menjelaskan mengapa nilai MF pada kelompok dengan arm support secara konsisten berada di atas kelompok tanpa alat bantu.

Kelelahan dalam Durasi 60 Menit

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa faktor waktu merupakan variabel kritis yang memicu penurunan MF secara signifikan, terutama pada sisi tangan dominan. Penurunan paling drastis terlihat pada otot UT Kanan ($F = 4,662$; $p = 0,042$) dan ECR Kanan ($F = 5,129$; $p = 0,034$). Melalui uji lanjut post hoc Bonferroni, ditemukan bahwa degradasi fungsi otot yang signifikan mulai terjadi sejak menit ke-10 awal permainan ($p < 0,05$) dan cenderung mencapai titik stabil setelahnya hingga menit ke-60. Sebaliknya, otot-otot pada sisi navigasi seperti APB Kiri ($p = 0,703$) dan ECR Kiri ($p = 0,148$) cenderung stabil dan tidak menunjukkan perubahan frekuensi yang signifikan terhadap waktu.

Kesenjangan statistik ini berhubungan erat dengan perbedaan task demand antara navigasi dan eksekusi skill. Tangan kanan bertanggung jawab atas serangan, penggunaan battle spell, dan pemilihan target yang membutuhkan rekrutmen unit motorik tipe II (cepat lelah) dalam frekuensi tinggi. Secara biomekanika, aktivitas dinamis dan eksplosif di tangan kanan memicu akumulasi metabolit lebih cepat, yang tercermin dari penurunan tajam MF di 10 menit pertama. Tangan kiri, yang hanya mengontrol arah pergerakan hero (navigasi), melibatkan gerakan yang lebih halus dan pasif, sehingga beban kerjanya tetap berada di bawah ambang batas kelelahan fisiologis selama durasi satu jam tersebut. Hal ini membuktikan bahwa tangan kanan pemain jauh lebih rentan terhadap kelelahan biologis akibat tuntutan mekanis gim yang lebih berat. .

Analisis Interaksi Statistik dan Stabilitas Intervensi

Berdasarkan analisis LMM, interaksi antara faktor arm support dan waktu pada sebagian besar otot bersifat tidak signifikan ($p > 0,05$), kecuali pada otot ECR Kanan ($F = 2,783$; $p = 0,017$). Ketidaksignifikanan interaksi pada otot-otot seperti UT Kiri dan ECR Kiri menunjukkan bahwa manfaat yang diberikan oleh arm support bersifat konstan dan stabil. Secara statistik, ini berarti reduksi beban kerja yang dihasilkan oleh alat penyangga dirasakan secara merata sejak awal permainan hingga menit terakhir, tanpa dipengaruhi oleh akumulasi waktu bermain.

Namun, signifikansi interaksi pada ECR Kanan menjadi temuan kunci dalam perspektif ergonomi gim kompetitif. Hal ini membuktikan bahwa pada otot penggerak utama pergelangan tangan dominan, peran arm support menjadi semakin krusial seiring dengan bertambahnya durasi permainan. Secara biomekanika, saat pemain memasuki fase late game yang membutuhkan intensitas serangan lebih tinggi, otot ECR Kanan yang sudah mulai lelah akan sangat terbantu oleh adanya dukungan fisik untuk mencegah penurunan MF yang lebih ekstrem. Tanpa intervensi, grafik menunjukkan tren penurunan yang lebih curam, sedangkan dengan arm support, stabilitas sinyal EMG dapat dipertahankan lebih baik. Data ini menegaskan bahwa intervensi ergonomis ini bukan sekadar alat bantu kenyamanan, melainkan kebutuhan mekanis untuk mempertahankan performa bermain secara konsisten.

KESIMPULAN

Penelitian ini secara statistik membuktikan bahwa intervensi arm support efektif mereduksi beban biomekanika pada otot Upper Trapezius (UT) Kiri ($p = 0,004$), Extensor Carpi Radialis (ECR) bilateral ($p \leq 0,003$), dan Abductor Pollicis Brevis (APB) Kanan ($p = 0,007$) dengan cara menstabilkan nilai Median Frequency (MF) sepanjang 60 menit sesi permainan. Faktor waktu ditemukan sebagai pemicu utama kelelahan biologis yang signifikan sejak menit ke-10, khususnya pada sisi eksekusi skill (kanan) seperti UT Kanan ($p = 0,042$) dan ECR Kanan ($p = 0,034$), sementara sisi navigasi (kiri) cenderung lebih stabil akibat beban kerja yang lebih pasif. Adanya interaksi signifikan pada ECR Kanan ($p = 0,017$) menegaskan bahwa peran alat penyangga menjadi semakin vital seiring bertambahnya durasi permainan untuk menahan laju kelelahan pada otot penggerak utama pergelangan tangan dominan. Secara keseluruhan, arm support merupakan solusi ergonomis yang konsisten untuk menjaga integritas fungsional otot dan performa mekanis pemain smartphone.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar studi mendatang mengintegrasikan analisis kinematika sudut sendi secara real-time dan variabel psikofisiologis

seperti Rating of Perceived Exertion (RPE) untuk menghubungkan kelelahan biologis dengan performa subjektif pemain. Selain itu, evaluasi terhadap variasi berat perangkat (seperti penggunaan tablet) serta keterlibatan populasi pemain profesional (pro-players) sangat direkomendasikan guna melihat perbedaan efisiensi kontrol motorik dibandingkan pemain kasual. Perpanjangan durasi eksperimen melampaui 60 menit juga dapat dipertimbangkan untuk mengidentifikasi titik jenuh fisiologis di mana intervensi fisik mungkin mencapai batas efektivitasnya dalam mereduksi kelelahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bodin, T., Berglund, K., & Forsman, M. (2019). Activity in neck-shoulder and lower arm muscles during computer and smartphone work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 102870. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102870>
- Coccia, A., Capodaglio, E. M., Amitrano, F., Gabba, V., Panigazzi, M., Pagano, G., & Addio, G. D. (2024). *Biomechanical Effects of Using a Passive Exoskeleton for the Upper Limb in Industrial Manufacturing Activities: A Pilot Study*. 1–19.
- Guo, F., Liu, L., Li, M., & Greene, R. L. (2021). The effect of arm support and control modes on muscle fatigue, eye fatigue, and posture changes in mobile game use among young adults. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(5), 496–505. <https://doi.org/10.1002/hfm.20898>
- Hanphitakphong, P., Thawinchai, N., & Poomsalood, S. (2021). Effect of prolonged continuous smartphone gaming on upper body postures and fatigue of the neck muscles in school students aged between 10–18 years. *Cogent Engineering*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1890368>
- Hollman, J. H., Hohl, J. M., Kraft, J. L., Strauss, J. D., & Traver, K. J. (2013). Does the fast Fourier transformation window length affect the slope of an electromyogram's median frequency plot during a fatiguing isometric contraction? *Gait & Posture*, 38(1), 161–164. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.10.028>
- Hsu, L., Lim, K., Lai, Y., Chen, C., & Chou, L. (2023). *Effects of Muscle Fatigue and Recovery on the Neuromuscular Network after an Intermittent Handgrip Fatigue Task: Spectral Analysis of Electroencephalography and sEMG*.
- Raharjo, A. B., Fatkhurrozi, B., & Nawawi, I. (2020). Analisis Sinyal Electromyography (EMG) pada Otot Biceps Brachii untuk Mendeteksi Kelelahan Otot dengan Metode Median Frekuensi. *THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering, Computer and Information Technology*, 1(1), 1–7. <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/thetaomega/article/view/3046>
- Sag, Z. I., Ozer, M. T., & Elvan, A. (2026). Smartphone use duration's relationship with neck endurance, posture, grip strength, and postural control in young adults. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 47, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2026.04.002>
- Sakti, A. Y. (2026). Memetakan Lanskap Biomekanik Penggunaan Smartphone Melalui Kemajuan Teknologi Sensor untuk Penilaian Postur. *Jambura Industrial Review (JIREV)*, 6(1). <https://doi.org/10.37905/jirev.v6i1.38490>
- Susilo, T. E., Hanifa, M. F., Wijianto, W., Sudaryanto, W. T., Fatmarizka, T., Fitriyah, Q. F., Al Farizy, M. H., Hendra, Z., & Jannah, N. I. (2025). The Effect of Dual-Task Texting on Cervical Muscle Activity in Smartphone Users. *FISIO MU: Physiotherapy Evidences*, 6(1), 45–52. <https://doi.org/10.23917/fisiomu.v6i1.7237>
- Tang, Z., Jin, X., Wu, Y., Ma, J., Xia, D., Dong, Y., & Yang, C. (2021). Ergonomic evaluation of the effects of forearm conditions and body postures on trapezius muscle activity during smartphone texting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 82, 103085.

- <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103085>
- Tapanya, W., Puntumetakul, R., & Swangnetr, M. (2021). Ergonomic arm support prototype device for smartphone users reduces neck and shoulder musculoskeletal loading and fatigue. *Applied Ergonomics*, 95, 103458. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103458>
- Tapanya, W., Swangnetr Neubert, M., Puntumetakul, R., & Boucaut, R. (2021). The effects of shoulder posture on neck and shoulder musculoskeletal loading and discomfort during smartphone usage. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 85, 103175. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103175>
- Thakare, A. E., Salkar, P. S., Hulke, S. M., Wakode, S. L., Bharshankar, R. N., & Rai, A. (2025). *Evaluation of Surface EMG in Masticatory, Sternomastoid, and Trapezius Muscles among Smartphone Users with Varying Duration of Mobile Usage: An Observational Cross-Sectional Study*. 1–9. <https://doi.org/10.4103/abr.abr>
- Zhang, B., Huang, B., Wu, Q., Lu, G., & Wu, Y. (2022). *Research on the Analysis of Muscle Fatigue Based on the Algorithm of Wavelet Packet Entropy in sEMG*. <https://doi.org/10.3233/FAIA220040>