

Memetakan Lanskap Biomekanik Penggunaan Smartphone Melalui Kemajuan Teknologi Sensor Untuk Penilaian Postur

Angga Yuda Sakti¹, Liza Dwi Eftiza Khairunniza², Aditya Rahayu Nabila³, Fahri Anwar⁴

¹⁾ Program Studi Teknik Industri,
Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Telang, Kamal, Bangkalan-
Madura

Email: angga.yudasakti@trunojoyo.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan penggunaan *smartphone* secara global telah mengubah perilaku manusia dalam beraktivitas. Literatur yang ada saat ini masih menunjukkan kesenjangan yang signifikan berupa fragmentasi metodologis, variasi strategi penempatan sensor, serta ketidakkonsistenan dampak biomekanika yang dianalisis. Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan dan mensintesis secara kritis mengenai teknologi berbasis sensor digunakan untuk mengukur paparan biomekanika selama penggunaan *smartphone* dalam berbagai aktivitas statis dan dinamis. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode *Systematic Literature Review* dari artikel jurnal terindex scopus. Berdasarkan analisis tersebut, teknologi berbasis sensor, khususnya unit Pengukuran Inersia (IMU) yang terintegrasi ke dalam *smartphone* merupakan alat paling populer dan bermanfaat menilai biomekanika postural saat menggunakan *smartphone*. Penggunaan *smartphone* yang konsisten dikaitkan dengan perubahan postural seperti peningkatan fleksibilitas menundukkan kepala, punggung yang bungkuk, serta beban neuromuskular yang lebih tinggi pada area leher dan bahu. Dampak biomekanika menjadi lebih kompleks dalam konteks aktivitas dinamis seperti penurunan stabilitas postural dan gaya berjalan, peningkatan variabilitas gerak, dan munculnya strategi kompensasi pada batang tubuh. Penelitian masa depan harus berfokus pada integrasi kecerdasan buatan (*Machine Learning*) untuk memprediksi risiko cedera muskuloskeletal secara personal, guna memitigasi dampak kesehatan jangka panjang dari penggunaan *smartphone*.

Kata kunci: Biomekanik, Muskuloskeletal. Neuromuskular, *Smartphone*, Teknologi Sensor.

ABSTRACT

The increase in smartphone use globally has changed human behavior in activities. The current literature still shows significant gaps in the form of methodological fragmentation, variations in sensor placement strategies, and inconsistencies in the impact of the biomechanics analyzed. The purpose of this study is to map and critically assess the sensor-based technology used to measure exposure to biomechanics during the use of smartphones in various static and dynamic activities. This study uses a descriptive qualitative approach with the Systematic Literature Review method from scopus indexed journal articles. Based on this analysis, sensor-based technology, especially the Inertial Measurement Unit (IMU) integrated into smartphones is the most popular and useful tool for assessing postural biomechanics when using smartphones. Consistent smartphone use is associated with postural changes such as increased flexibility to bow the head, hunched back, and higher neuromuscular load on the neck and shoulder area. The impact of biomechanics is becoming more complex in the context of dynamic activities such as decreased postural stability and gait, increased movement variability, and the emergence of compensation strategies on the torso. Future research should focus on the integration of artificial intelligence (Machine Learning) to predict the risk of musculoskeletal injury personally, in order to mitigate the long-term health impacts of smartphone use.

Keywords: *Biomechanics, Musculoskeletal, Neuromuscular, Smartphone, Sensor Technology.*

Pendahuluan

Peningkatan penggunaan *smartphone* secara global telah mengubah secara mendasar perilaku manusia dalam beraktivitas sehari-hari, khususnya dalam berinteraksi dengan informasi, komunikasi, dan hiburan (Iyengar et al., 2020; Katsumata et al., 2022). Interaksi jangka panjang dan berkelanjutan dengan *smartphone* mendorong berkembangnya kebiasaan postur tubuh yang tidak ergonomis, seperti leher fleksi berlebihan dan batang tubuh miring berkelanjutan (Mu, 2022). Lebih khusus lagi, penggunaan *smartphone* akan menghasilkan tuntutan mekanis yang tidak seimbang pada sistem muskuloskeletal, terutama pada segmen tulang leher, bahu, dan punggung atas (Pacheco & Jos, 2023).

Lebih lanjut, paparan terhadap beban yang tidak seimbang dalam jangka panjang berpotensi meningkatkan stres mekanik dan menyebabkan gangguan fungsional pada struktur otot dan rangka (Akbar et al., 2024; Benos et al., 2021). Karena itu, menggunakan *smartphone* bukan hanya aktivitas digital tetapi juga faktor risiko biomekanik yang relevan dalam konteks ergonomi dan kesehatan manusia (Serra et al., 2021). Penelitian yang dilakukan secara konsisten menunjukkan bahwa aktivitas seperti penggunaan *smartphone* mendorong peningkatan beban mekanik yang mendistribusikan beban dari posisi netral ke kondisi yang mengancam jaringan yang tidak sebanding (Jung & Lee, 2024; Warda et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa interaksi yang dimaksud memiliki dampak biomekanik yang signifikan terhadap keseimbangan postur pengguna (Betsch et al., 2021).

Disisi lain, dampak dalam biomekanika untuk penggunaan *smartphone* tidak selalu konsisten dengan kondisi yang statis (Metin et al., 2023). Penggunaan *smartphone* saat beraktivitas seperti berjalan dan menggunakan tangga terbukti mengurangi atensi dan kognitif sumber daya, sehingga meningkatkan integrasi sistem sensorik dan motorik (Brühl et al., 2023; Florio, 2025). Gangguan yang seringkali dipengaruhi oleh penurunan stabilitas gaya berjalan dan munculnya strategi kompensasi yang mengurangi efisiensi Gerak (Chodkowska & Mroczkowski, 2025). Untuk mengurangi risiko pengguna *smartphone*, terdapat Urgensi yang berupaya mengembangkan metode pengukuran yang obyektif, sensitif, dan berkelanjutan (Hafer et al., 2023; Shah, 2021).

Meskipun jumlah studi yang menggunakan teknologi sensor untuk menilai biomekanika penggunaan *smartphone* terus meningkat, literatur yang tersedia masih terfragmentasi dan belum terintegrasi ke dalam kerangka pengukuran yang konsisten. Selain itu, sebagian besar penelitian berfokus pada prevalensi gangguan muskuloskeletal atau deskripsi postural secara umum, tanpa mempertimbangkan bagaimana biomekanika yang disebabkan oleh penggunaan *smartphone* dapat dikuantifikasi secara obyektif menggunakan teknologi sensor. Akibatnya, belum ada pemahaman yang jelas tentang bagaimana arsitektur pengukuran berbasis sensor dapat digunakan untuk memperkirakan biomekanika dalam aktivitas statistik dan dinamis. Hal ini menghambat pengembangan sistem ergonomi digital, aplikasi umpan balik postur, dan strategi gangguan muskuloskeletal berbasis bukti. Oleh karena itu, perlu dilakukan tinjauan literatur sistematis yang secara khusus mengintegrasikan teknologi sensor dengan konsep paparan biomekanik dalam konteks *smartphone*.

Oleh sebab itu, tinjauan pustaka sistematis ini diarahkan untuk membedah arsitektur biomekanika berbasis sensor yang mampu mengintegrasikan analisis aktivitas secara statistik maupun dinamis. Berbeda dengan studi terdahulu yang mayoritas hanya terpaku pada

prevalensi gejala klinis, penelitian ini lebih menekankan pada penilaian objektif terhadap postur, gerak kinematika, serta indikator neuromuskular. Melalui pendekatan ini, dilakukan analisis kritis terhadap efektivitas teknologi sensor dalam mengukur parameter biomekanika—termasuk stabilitas dan kontrol saraf otot—saat seseorang menggunakan smartphone dalam berbagai kondisi aktivitas. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menjawab Research Question berikut: Bagaimana teknologi berbasis sensor digunakan untuk mengkuantifikasi paparan biomekanika penggunaan smartphone, ditinjau dari jenis sensor, lokasi penempatan, outcome biomekanika, dan konteks aktivitas? Sebagai kontribusi akhir, studi ini akan memberikan Rekomendasi mengenai standarisasi prosedur pengukuran sensorik guna meningkatkan keterbandingan lintas studi di masa depan.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan Systematic Literatur Review (SLR), yang disusun menggunakan pedoman standar PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pendekatan ini dipilih untuk memastikan transparansi, objektivitas, dan reproduktibilitas dalam memetakan lanskap biomekanika penggunaan *smartphone*.

Strategi Pencarian dan Basis Data

Pencarian literatur komprehensif dilakukan secara eksklusif melalui basis data Scopus, mengingat cakupannya yang luas terhadap jurnal internasional berdampak tinggi di bidang rekayasa, ergonomi, dan biomekanika. Pencarian dibatasi pada rentang tahun publikasi 2020 hingga 2025 untuk menangkap kemajuan teknologi sensor terkini. Aturan pencarian dibangun menggunakan operator *boolean* yang menggabungkan tiga domain utama: perangkat, teknologi penginderaan, dan luaran klinis/biomekanis:

("smartphone" OR "smart phone" OR "mobile phone" OR "cell phone") AND (sensor* OR wearable* OR "inertial measurement unit*" OR IMU OR accelerometer* OR gyroscope*) AND (posture OR postural OR kinematic* OR movement OR musculoskeletal OR biomechanics).

Kriteria Kelayakan

Untuk memastikan kualitas dan relevansi penelitian yang dijelaskan dalam artikel ini, kriteria inklusi dan eksklusi berikut diterapkan:

Kriteria Inklusi:

- Artikel jurnal yang telah melalui proses *peer-review*.
- Fokus pada biomekanika, sensor dan muskuloskeletal dalam konteks penggunaan *smartphone*.
- Studi yang membahas hubungan antara biomekanika dan penggunaan *smartphone*.
- Artikel ditulis dalam bahasa Inggris.
- Tersedia dalam bentuk teks lengkap (*full-text*).

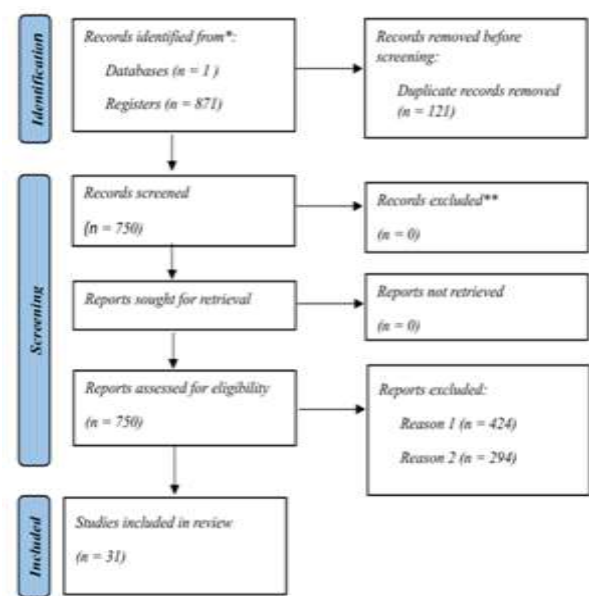
Kriteria Eksklusi:

- Artikel ulasan, editorial, atau prosiding konferensi.
- Studi yang tidak berkaitan dengan biomekanika dan penggunaan *smartphone*.
- Artikel yang tidak ditulis dalam bahasa Inggris atau tidak tersedia dalam teks lengkap.

Proses Seleksi Studi

Dari identifikasi awal sebanyak 871 artikel, sebanyak 121 artikel duplikat dihapus. Proses penyaringan abstrak dan judul mengeliminasi 424 artikel karena ketidaksesuaian fokus (misalnya ilmu material atau sosial). Penilaian kelayakan teks penuh dilakukan pada 326 artikel. Pada tahap akhir, 31 studi empiris memenuhi seluruh kriteria dan diinklusi untuk analisis

mendalam. Data dari ke-31 studi diekstraksi ke dalam matriks sintesis yang mencakup: konteks aktivitas, domain biomekanika, jenis sensor, variabel utama, dan temuan kunci.



Gambar 1. Tahapan PRISMA dalam Proses Pemilihan Literatur

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Tabel 1. Ringkasan Makalah

Konteks Aktivitas	Domain Biomekanika	Jenis & Konfigurasi Sensor Dominan	Variabel Utama yang Diukur	Sintesis Temuan Utama
Statis	Postur	IMU (multi-sensor), smartphone IMU, fotogrametri	Fleksi servikal, torakal, lumbar; kelengkungan tulang belakang	Penggunaan smartphone secara konsisten meningkatkan fleksi servikal dan kifosis torakal serta menyebabkan postur non-netral
Statis	Neuromuskular	EMG + IMU (multimodal)	Aktivasi otot (%MVC), kelelahan otot (MDF), kekakuan	Terjadi peningkatan aktivasi dan kelelahan otot leher dan bahu, terutama pada penggunaan jangka panjang
Statis	Postur + Neuromuskular	Motion capture + EMG, IMU + EMG	Sudut kepala, aktivitas otot, CVA	Perubahan postur berhubungan langsung dengan peningkatan beban neuromuskular
Dinamis	Stabilitas	IMU multi-sensor, force plate, smartphone sensor	COP, COM, variabilitas gait, harmonic ratio	Smartphone menurunkan stabilitas postural dan gait, terutama pada kondisi dual-task
Dinamis	Kinematika	Motion capture, IMU	Kecepatan sudut, koordinasi antarsegmen	Penggunaan smartphone mengubah pola gerak menjadi lebih kaku (en bloc) dan kurang koordinatif
Statis + Dinamis	Postur	Surface topography, IMU, motion capture	Kifosis, lordosis, inklinasi batang tubuh	Terjadi peningkatan deviasi postural baik pada kondisi diam maupun saat bergerak
Statis + Dinamis	Stabilitas	Gait system, force plate, IMU	Kecepatan berjalan, double support, COP	Smartphone menurunkan performa gait dan meningkatkan risiko ketidakseimbangan
Statis	Postur ekstrem ekstremitas atas	Goniometer, observasi	Sudut pergelangan tangan dan siku	Postur ekstrem pada ekstremitas atas meningkatkan risiko nyeri muskuloskeletal
Statis	Validasi sensor	Smartphone IMU vs sistem referensi	Sudut, COM, COP	Sensor smartphone menunjukkan validitas yang baik namun terbatas pada resolusi segmental

Berdasarkan hasil seleksi sistematis menggunakan protokol PRISMA, sebanyak 31 artikel empiris yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025 dianalisis dalam tinjauan ini. Seluruh artikel tersebut memberikan data kuantitatif mengenai penggunaan teknologi sensor untuk menilai paparan biomekanika selama interaksi dengan *smartphone*.

1. Arsitektur Teknologi dan Lokasi Penempatan sensor.

Hasil pemetaan menunjukkan bahwa *Inertial Measurement Units* (IMU) merupakan teknologi sensor yang paling dominan digunakan. Implementasinya terbagi menjadi dua kategori utama:

- a. Sensor Terintegrasi *Smartphone*: Digunakan oleh (Kim et al., 2020), (Baalén & Vanwanseele, 2023), dan (Katsumata et al., 2022) untuk mengukur orientasi batang tubuh, keseimbangan, dan parameter gaya berjalan secara praktis.
- b. Wearable IMU dan Sistem Multimodal: Peneliti seperti (Betsch et al., 2021) dan (Johannes et al., 2022) menggunakan sensor eksternal yang ditempatkan pada titik anatomis spesifik seperti oksiput, vertebra C7, sternum, dan sakrum untuk mendapatkan resolusi biomekanika segmental yang lebih tinggi. Selain itu, pendekatan multimodal yang menggabungkan IMU dengan *Surface Electromyography* (sEMG) digunakan untuk mengkorelasikan postur dengan beban neuromuskular.

2. Outcome Biomekanika pada Aktivitas Statis.

Pada konteks statis (duduk dan berdiri), temuan secara konsisten menunjukkan bahwa penggunaan *smartphone* memicu postur tidak alami.

- a. Penyimpangan Postural: Sebagian besar studi melaporkan peningkatan signifikan pada sudut fleksi servikal dan kifosis torakal. Studi oleh Betsch et al. (2021) secara spesifik mencatat perubahan postur tulang belakang yang drastis saat menggunakan *smartphone* dibandingkan dengan posisi berdiri netral.
- b. Aktivitas Neuromuskular: Penggunaan sensor sEMG mengungkap adanya peningkatan beban otot pada traps atas dan otot erektor tulang belakang. Hal ini mengonfirmasi bahwa postur statis saat memegang *smartphone* menyebabkan kelelahan otot leher dan bahu dalam jangka panjang.

3. Biomekanika Dinamis dan Stabilitas Postural.

Dalam kondisi dinamis (berjalan atau menaiki tangga), *smartphone* bertindak sebagai tugas sekunder (*dual-task*) yang mengganggu kontrol dalam berpindah tempat.

- a. Ketidakstabilan Gaya Berjalan: Temuan dari (Brühl et al., 2023) dan (Baalén & Vanwanseele, 2023) menunjukkan penurunan stabilitas gaya berjalan, yang ditandai dengan peningkatan variabilitas langkah dan perubahan pada pusat tekanan.
- b. Strategi Kompensasi: Untuk mempertahankan keseimbangan saat perhatian terbagi, pengguna *smartphone* cenderung mengadopsi gerakan yang lebih kaku pada kepala dan batang tubuh. Hal ini menurunkan efisiensi gerak dan meningkatkan risiko jatuh, terutama pada kelompok yang rentan.

Pembahasan

1. Sintesis Temuan: Fenomena "Text Neck" dan Beban Kumulatif.

Sintesis dari 31 studi ini menegaskan bahwa kemajuan teknologi sensor telah berhasil memvalidasi fenomena "*text neck*" secara objektif. Data dari IMU dan sEMG menunjukkan hubungan linear antara durasi penggunaan *smartphone* dengan redistribusi beban mekanik pada segmen servikal. Penggunaan *smartphone* secara konsisten mengubah mekanisme postur melalui mekanisme yang bergantung pada konteks, intensitas, dan durasi aktivitas. Penemuan

bahwa aktivitas statis meningkatkan kelelahan otot, sementara aktivitas dinamis menurunkan stabilitas, menunjukkan bahwa risiko biomekanika *smartphone* bersifat multidimensional.

2. Efektivitas Sensor sebagai Instrumen Penilaian

Tinjauan ini membuktikan bahwa IMU, baik yang terintegrasi di *smartphone* maupun *wearable*, memiliki sensitivitas yang cukup untuk mendeteksi deviasi postural kecil yang tidak terlihat secara visual. Namun, terdapat perbedaan dalam metode pemrosesan data (seperti penggunaan *filter low-pass*, matriks *Euler*, atau *kuaternion*) yang menyulitkan standarisasi hasil antar studi. Sistem penggunaan dua atau lebih mode komunikasi memberikan pemahaman yang lebih komprehensif, tetapi tantangan dalam kompleksitas proses pengecekan dan gangguan gerakan tetap menjadi hambatan teknis utama.

3. Kesenjangan Penelitian (*Research Gaps*) dan Arah Masa Depan

Berdasarkan analisis kritis terhadap literatur yang ada, penulis mengidentifikasi beberapa celah penelitian yang perlu segera diatasi:

- Validitas Ekologis di Lingkungan Nyata: Mayoritas studi pada tabel 1 masih dilakukan di laboratorium terkontrol. Terdapat urgensi untuk melakukan penelitian di lingkungan nyata yang lebih dinamis untuk menangkap perilaku penggunaan *smartphone* yang sebenarnya.
- Studi Longitudinal: Literatur saat ini didominasi oleh studi cross-sectional. Diperlukan penelitian longitudinal untuk memahami efek jangka panjang dari paparan biomekanika ini terhadap perkembangan gangguan muskuloskeletal yang searah.
- Standarisasi Metodologis: Tidak adanya konsensus mengenai lokasi penempatan sensor dan algoritma ekstraksi fitur biomekanika menghambat keterbandingan lintas studi. Peneliti di masa depan harus fokus pada pengembangan standar prosedur pengukuran sensorik.
- Integrasi *Machine Learning*: Meskipun data sensor melimpah, penggunaan *Machine Learning* untuk klasifikasi risiko otomatis masih terbatas dan merupakan peluang besar bagi pengembangan sistem ergonomi digital berbasis bukti.

4. Implikasi Praktis

Hasil pemetaan ini memiliki implikasi penting pada desain sistem pemantauan postural yang dapat dikenakan pada *wearable monitoring*. Integrasi biomekanika ke dalam desain *smartphone* yang lebih ergonomis dapat menjadi strategi preventif untuk mengurangi frekuensi kejadian nyeri leher dan punggung di kalangan pengguna *smartphone* global.

Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil memetakan lanskap biomekanika penggunaan *smartphone* melalui tinjauan sistematis terhadap kemajuan teknologi sensor dalam rentang waktu lima tahun terakhir. Sintesis literatur mengonfirmasi bahwa unit pengukuran inersia (IMU), baik yang terintegrasi di dalam perangkat maupun yang berupa sensor *wearable*, merupakan instrumen paling efektif dan populer untuk penilaian postur secara objektif. Temuan ini menegaskan bahwa interaksi dengan *smartphone* memicu deviasi postural yang signifikan, secara konsisten ditandai dengan peningkatan dalam menundukkan kepala, punggung yang bungkuk, serta beban neuromuskular yang lebih tinggi pada area leher dan bahu.

Lebih lanjut, studi ini menyoroti transisi risiko dari konteks statis ke dinamis. Pada aktivitas statis, risiko utama terletak pada beban mekanik kumulatif yang menyebabkan kelelahan otot. Sementara itu, dalam kondisi dinamis (seperti berjalan), *smartphone* bertindak

sebagai beban kognitif yang mengganggu stabilitas postural dan efisiensi gaya berjalan, sehingga meningkatkan risiko jatuh.

Secara metodologis, penelitian ini mengidentifikasi adanya kesenjangan kritis dalam literatur saat ini, terutama terkait rendahnya validitas ekologis pada lingkungan nyata, kurangnya standarisasi algoritma ekstraksi data sensor, serta minimnya studi longitudinal. Sebagai implikasi praktis, pemetaan ini memberikan fondasi bagi pengembang teknologi dan klinis untuk merancang sistem intervensi ergonomi digital berbasis umpan balik langsung. Riset masa depan harus difokuskan pada integrasi kecerdasan buatan (*Machine Learning*) untuk memprediksi profil risiko cedera muskuloskeletal secara personal, guna memitigasi dampak kesehatan jangka panjang dari penggunaan *smartphone* di era digital.

Daftar Pustaka

- Akbar, M. A., Fitra, M. D., Tulkhaira, W., & Farid, M. (2024). *Evaluasi Tingkat Risiko Gangguan Muskuloskeletal Pekerja Perakitan Pada Industri Mebel*. 19(November), 166–173.
- Baalen, G. B. Van, & Vanwanseele, B. (2023). *Reliability and Validity of a Smartphone Device and Clinical Tools for Thoracic Spine Mobility Assessments*. 1–17.
- Benos, L., Kokkotis, C., Tsatalas, T., Karampina, E., Tsaopoulos, D., & Bochtis, D. (2021). *Biomechanical Effects on Lower Extremities in Human-Robot Collaborative Agricultural Tasks*.
- Betsch, M., Kalbhen, K., Michalik, R., Schenker, H., Gatz, M., Quack, V., Siebers, H., Wild, M., & Migliorini, F. (2021). Gait & Posture The influence of smartphone use on spinal posture – A laboratory study. *Gait & Posture*, 85(May 2020), 298–303. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.02.018>
- Brühl, M., Hmida, J., Tomschi, F., Cucchi, D., Wirtz, D. C., Strauss, A. C., & Hilberg, T. (2023). *Smartphone Use — Influence on Posture and Gait during Standing and Walking*.
- Chodkowska, K., & Mroczkowski, A. (2025). *Age-Related Compensatory Gait Strategies During Induced Perturbations in the Pre-Swing Gait Phase: A Kinematic and Kinetic Analysis*.
- Florio, T. M. (2025). *Emergent Aspects of the Integration of Sensory and Motor Functions*.
- Hafer, J. F., Vitali, R., Gurchiek, R., Curtze, C., Shull, P., & Cain, S. M. (2023). Challenges and advances in the use of wearable sensors for lower extremity biomechanics. *Journal of Biomechanics*, 157(July), 111714. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111714>
- Haryani, R. ., Azmi, A., & Sirlyana, S. (2021). Analisis Postur Kerja Penjahit Nur Tailor Menggunakan Metode Rappid Entire Body Assessment. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 16(2), 184–191. <https://doi.org/10.52072/arti.v16i2.263>
- Iyengar, K., Upadhyaya, G. K., Vaishya, R., & Jain, V. (2020). *COVID-19 and application of smartphone technology in the current pandemic*. January.
- Johannes, W., Grooten, A., Billsten, E., Stedingk, S. Von, & Reimeringer, M. (2022). *Biomechanical analysis of lifting on stable versus unstable surfaces — a laboratory - based proof - of - concept study*. 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40814-022-01157-2>

- Jung, J., & Lee, Y. (2024). *Effect of Forward Head Posture on Resting State Brain Function*. 1–12.
- Katsumata, S., Ichikohji, T., Nakano, S., & Yamaguchi, S. (2022). Changes in the use of mobile devices during the crisis: Immediate response to the COVID-19 pandemic. *Computers in Human Behavior Reports*, 5, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100168>
- Kim, H. K., Kim, N., & Park, J. (2020). International Journal of Industrial Ergonomics Relationship analysis between body flexion angles and smartphone tilt during smartphone use. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80(September), 103034. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103034>
- Mulia Ananda, S., Mufti, D., & Mahyoedin, Y. (2025). Pengukuran dan Analisis Postur Kerja Operator Pencetakan Kulit Lumpia Di UMKM Dengan Metode Quick Exposure Check. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.52072/arti.v1i20.1097>
- Metin, G., Topuz, S., & Yagci, G. (2023). Smartphone use affects gait performance , spinal kinematics and causes spinal musculoskeletal discomfort in young adults. *Musculoskeletal Science and Practice*, 66(July), 102819. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2023.102819>
- Mu, E. C. (2022). *Learning from Acceleration Data to Differentiate the Posture , Dynamic and Static Work of the Back : An Experimental Setup*.
- Pacheco, M. P., & Jos, P. (2023). *Prevalence of Postural Changes and Musculoskeletal Disorders in Young Adults*.
- Safii, A., Fitra, F., Suarlin, J. ., & Sirlyana, S. (2022). Analisis Postur Kerja Pada Pekerjaan Cleaning Sludge Mesin Expeller PT XYZ. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 17(2), 167–174. <https://doi.org/10.52072/arti.v17i2.442>
- Saputra, J., Yumisna, B., Sirlyana, S., & Julanos, J. (2023). Analisis Postur Kerja Pengepakan Blau Dumai Menggunakan Metode RULA dan MPL. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 18(1), 39–48. <https://doi.org/10.52072/arti.v18i1.532>
- Serra, G., Scalzo, L. Lo, Giuffrè, M., Ferrara, P., & Corsello, G. (2021). *Smartphone use and addiction during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic : cohort study on 184 Italian children and adolescents*. 1–10.
- Shah, N. V. (2021). *Smart Technology and Orthopaedic Surgery : Current Concepts Regarding the Impact of Smartphones and Wearable Technology on Our Patients and Practice*. 378–391.
- Warda, D. G., Nwakibu, U., & Nourbakhsh, A. (2023). *Neck and Upper Extremity Musculoskeletal Symptoms Secondary to Maladaptive Postures Caused by Cell Phones and Backpacks in School-Aged Children and Adolescents*.