



HUBUNGAN KELELAHAN NEUROMUSKULAR OTOT PLANTAR FLEKSOR DENGAN GANGGUAN KESEIMBANGAN DINAMIS BERDASARKAN TINGKAT AKTIFITAS FISIK PADA PEKERJA PRAMUSAJI YANG MENGALAMI *PROLONGED STANDING*

Muhammad Akbar Ramadhan^{1*}, Nadya Resiana Novianty², Ananda Risqi Deena³, & Hanifah Azzahra⁴

^{*1-4} Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Intan Martapura

*e-Mail: makbrmdhn01@gmail.com

Submit Tgl: 05-Agustus-2026

Diterima Tgl: 07-Agustus-2026

Diterbitkan Tgl: 11-Agustus-2026

Abstrak: Pekerjaan pramusaji menuntut posisi berdiri dalam waktu lama yang memicu kelelahan pada saraf otot tungkai bawah bagian belakang yang krusial untuk menjaga kestabilan tubuh. Studi ini ditujukan untuk mengidentifikasi kaitan antara kelelahan saraf otot tungkai bawah dengan gangguan keseimbangan bergerak, serta mengamati peran rutinitas aktivitas fisik harian pada pekerja pramusaji. Pendekatan analitik observasional dengan rancangan potong lintang diterapkan pada penelitian ini, yang melibatkan tujuh puluh pekerja pramusaji terpilih melalui teknik pengambilan sampel menyeluruh. Data diperoleh dari pengukuran kelelahan saraf otot secara langsung, uji capaian keseimbangan bergerak, dan pengisian kuesioner kebiasaan gerak fisik. Analisis data membuktikan bahwa kelelahan saraf otot tungkai bawah memiliki hubungan yang sangat kuat dan bermakna dengan gangguan keseimbangan bergerak, di mana semua pekerja berstatus kelelahan tinggi pasti mengalami masalah keseimbangan. Ditemukan pula hubungan berbanding terbalik yang nyata antara kebiasaan gerak fisik dengan gangguan keseimbangan, yang mengindikasikan bahwa gaya hidup aktif menurunkan risiko tersebut. Secara statistik, tingkat aktivitas fisik tidak berfungsi sebagai variabel pengubah murni, melainkan sebagai faktor pelindung mandiri yang secara mutlak menekan risiko gangguan keseimbangan akibat kelelahan. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa kelelahan saraf otot secara langsung menyebabkan hilangnya keseimbangan pada pekerja pramusaji yang berdiri lama, dan tingginya rutinitas aktivitas fisik harian terbukti efektif mencegah serta menekan dampak buruk dari kondisi tersebut.

Kata Kunci: Kelelahan Neuromuskular; Keseimbangan Dinamis; Aktivitas Fisik; Berdiri Lama; Pekerja Pramusaji

Abstract: Prolonged standing in waitstaff occupations triggers plantar flexor muscle fatigue, which is crucial for maintaining postural stability. This study aimed to identify the relationship between plantar flexor neuromuscular fatigue and dynamic balance impairment, as well as to observe the role of daily physical activity levels among waitstaff. An observational analytic approach with a cross-sectional design was applied in this research. The study involved seventy waitstaff selected through a total sampling technique. Data were collected through direct neuromuscular fatigue measurements, dynamic balance performance tests, and physical activity questionnaires. The data analysis demonstrates that plantar flexor neuromuscular fatigue has a very strong and significant relationship with dynamic balance impairment, where all workers with high fatigue experience balance issues. Furthermore, a significant inverse relationship

exists between physical activity habits and balance impairment, which indicates that an active lifestyle reduces this risk. Statistically, the physical activity level does not function as a pure moderating variable, but rather as an independent protective factor that absolutely suppresses the risk of balance impairment due to fatigue. Therefore, the study concludes that neuromuscular fatigue directly causes a loss of balance in waitstaff who stand for long periods, and a high daily physical activity routine effectively prevents and mitigates the adverse effects of this condition..

Keywords: *Neuromuscular Fatigue; Dynamic Balance; Physical Activity; Prolonged Standing; Waitstaff*

Cara mengutip Ramadhan, M. A., Novianty, N. R., Deena, A. R., & Azzahra, H. (2026). Hubungan Kelelahan Neuromuskular Otot Plantar Fleksor dengan Gangguan Keseimbangan Dinamis Berdasarkan Tingkat Aktivitas Fisik pada Pekerja Pramusaji yang Mengalami Prolonged Standing. *JIKES: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 5(1), 69–79. <https://doi.org/10.71456/jik.v5i1.2449>

PENDAHULUAN

Gangguan muskuloskeletal (*musculoskeletal disorders/MSDs*) akibat paparan beban kerja fisik dan postur kerja statis merupakan salah satu masalah kesehatan kerja yang berkontribusi besar terhadap keterbatasan fungsi fisik, penurunan kualitas hidup, serta penurunan produktivitas pekerja di berbagai sektor industri. Berdasarkan laporan World Health Organization (WHO), gangguan muskuloskeletal merupakan salah satu penyebab utama disabilitas di dunia, dengan sekitar 1,71 miliar individu mengalami berbagai kondisi muskuloskeletal yang melibatkan jaringan otot, tendon, ligamen, sendi, dan struktur pendukung lainnya. Kondisi ini sering kali berkaitan dengan faktor risiko pekerjaan seperti aktivitas berulang, beban fisik tinggi, posisi kerja tidak ergonomis, serta mempertahankan postur tertentu dalam waktu lama (WHO, 2022).

Salah satu kelompok pekerja yang memiliki risiko tinggi mengalami gangguan muskuloskeletal adalah pekerja sektor pelayanan, termasuk pramusaji (*waiter/waitress*), yang dalam aktivitas kerjanya sering mengalami paparan *prolonged standing* atau berdiri dalam waktu lama. *Prolonged standing* didefinisikan sebagai aktivitas berdiri yang dilakukan lebih dari 50% dari total waktu kerja atau berdiri secara kontinu selama lebih dari 2 jam tanpa periode pemulihan yang adekuat (Waters & Dick, 2015). Aktivitas berdiri statis dalam durasi panjang menyebabkan peningkatan tekanan mekanik pada ekstremitas bawah, khususnya daerah kaki dan pergelangan kaki, serta meningkatkan tuntutan kerja otot postural untuk mempertahankan posisi tubuh terhadap gravitasi. Pada kondisi tersebut, otot mengalami kontraksi isometrik berkepanjangan yang menyebabkan berkurangnya aliran darah lokal, akumulasi metabolit seperti ion hidrogen dan laktat, serta penurunan kemampuan kontraksi otot secara progresif (Enoka & Duchateau, 2016).

Dalam perspektif fisiologi olahraga dan fisioterapi, otot plantar fleksor yang terdiri dari *musculus gastrocnemius* dan *musculus soleus* memiliki peranan penting dalam mempertahankan stabilitas postural melalui mekanisme ankle strategy. Mekanisme ini merupakan strategi utama tubuh dalam mengontrol pusat massa tubuh melalui perubahan kecil pada sendi pergelangan kaki ketika mempertahankan keseimbangan dalam posisi berdiri maupun saat melakukan aktivitas dinamis (Horak, 2006). Otot plantar fleksor tidak hanya berfungsi sebagai penggerak utama saat berjalan, tetapi juga berperan sebagai sistem sensorimotor yang menyediakan informasi proprioseptif untuk mempertahankan orientasi tubuh.

Paparan prolonged standing dapat menyebabkan terjadinya kelelahan neuromuskular, yaitu kondisi ketika sistem neuromuskular mengalami penurunan kemampuan dalam mempertahankan produksi gaya optimal akibat stimulasi kontraksi yang berlangsung lama. Kelelahan tersebut melibatkan perubahan pada tingkat perifer maupun sentral, termasuk penurunan eksitabilitas membran otot, perubahan mekanisme aktivasi unit motorik, serta gangguan transmisi sinyal sensorimotor (Enoka & Duchateau, 2016). Pada otot plantar fleksor, kelelahan neuromuskular menyebabkan penurunan kemampuan menghasilkan gaya dan menurunkan efisiensi kontrol postural, sehingga meningkatkan pergerakan osilasi tubuh (*postural sway*) ketika individu mempertahankan keseimbangan.

Gangguan kontrol postural akibat kelelahan otot ekstremitas bawah memiliki implikasi penting terhadap keselamatan kerja. Penurunan kemampuan sistem neuromuskular dalam memberikan respons korektif terhadap perubahan posisi tubuh dapat meningkatkan risiko kehilangan keseimbangan, terpeleset, maupun jatuh di lingkungan kerja. Menurut *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), faktor biomekanik dan kelelahan fisik merupakan faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko cedera akibat kerja, terutama pada pekerjaan yang membutuhkan aktivitas berdiri dan mobilitas tinggi (NIOSH, 2015).

Meskipun hubungan antara kelelahan otot ekstremitas bawah dan penurunan kontrol keseimbangan telah banyak dilaporkan, masih terdapat keterbatasan penelitian terkait faktor individual yang dapat memengaruhi respons tubuh terhadap paparan kerja statis, khususnya pada pekerja pramusaji. Salah satu faktor yang berpotensi berperan sebagai faktor protektif adalah tingkat aktivitas fisik harian. Aktivitas fisik yang dilakukan secara rutin diketahui mampu meningkatkan kapasitas aerobik otot, kepadatan kapiler, efisiensi metabolisme energi, serta kemampuan sistem neuromuskular dalam melakukan aktivasi dan koordinasi gerakan (Garber et al., 2011).

Secara teoritis, aktivitas fisik dapat berperan sebagai *neuromuscular buffer*, yaitu mekanisme adaptasi yang memungkinkan sistem neuromuskular mempertahankan performa lebih lama sebelum mengalami kelelahan. Individu dengan tingkat aktivitas fisik yang lebih tinggi cenderung memiliki kapasitas kontraksi otot yang lebih baik, kemampuan pemulihan lebih cepat, serta kontrol sensorimotor yang lebih optimal dibandingkan individu dengan tingkat aktivitas rendah (McGregor et al., 2018). Namun, sejauh ini masih terbatas penelitian yang secara spesifik mengevaluasi bagaimana tingkat aktivitas fisik memengaruhi hubungan antara kelelahan neuromuskular plantar fleksor dan gangguan keseimbangan dinamis pada pekerja yang mengalami *prolonged standing*.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mengenai hubungan antara kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor, keseimbangan dinamis, dan tingkat aktivitas fisik pada pekerja pramusaji menjadi penting dilakukan. Kajian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme fisiologis yang mendasari gangguan keseimbangan akibat tuntutan kerja statis serta menjadi dasar pengembangan intervensi preventif dalam bidang Fisioterapi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung penyusunan program targeted therapeutic exercise berupa latihan peregangan, penguatan otot, dan strategi peningkatan aktivitas fisik yang bertujuan untuk mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal serta mempertahankan kemampuan fungsional pekerja.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor dengan gangguan keseimbangan dinamis berdasarkan tingkat aktivitas fisik pada pekerja pramusaji yang mengalami prolonged standing.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analitik observasional. Rancangan penelitian yang digunakan adalah *cross-sectional correlational study*, yaitu suatu desain penelitian yang melakukan pengukuran terhadap variabel independen, variabel dependen, dan variabel moderator pada waktu yang sama dalam satu periode pengamatan. Desain ini dipilih karena penelitian bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor dengan gangguan keseimbangan dinamis serta menganalisis peran tingkat aktivitas fisik sebagai variabel moderator pada pekerja pramusaji yang mengalami paparan *prolonged standing*. Dalam penelitian observasional ini, peneliti tidak memberikan intervensi atau perlakuan tertentu kepada responden, melainkan melakukan pengamatan terhadap kondisi fisiologis dan karakteristik aktivitas responden sebagaimana terjadi secara alami di lingkungan kerja.

Penelitian ini dilaksanakan pada dua lokasi wilayah kerja pramusaji di Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan, selama periode April hingga Mei 2026. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pekerja pramusaji yang aktif bekerja pada lokasi penelitian dan memiliki karakteristik pekerjaan dengan tuntutan berdiri dalam durasi panjang. Sampel penelitian berjumlah 70 orang yang dipilih menggunakan teknik total sampling, yaitu seluruh anggota populasi yang memenuhi kriteria penelitian dijadikan sebagai sampel. Teknik ini digunakan karena jumlah populasi yang tersedia memungkinkan untuk dilakukan pengambilan data secara menyeluruh sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai kondisi pekerja pramusaji pada lokasi penelitian.

Subjek penelitian ditentukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi pekerja pramusaji aktif, berusia 18–55 tahun atau berada pada kategori usia produktif, serta memiliki karakteristik pekerjaan berupa aktivitas berdiri selama lebih dari 4–6 jam dalam satu hari kerja. Pemilihan durasi tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa paparan berdiri dalam waktu lama dapat meningkatkan beban statis pada sistem muskuloskeletal ekstremitas bawah. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup pekerja dengan riwayat cedera pada pergelangan kaki atau ekstremitas bawah, gangguan neurologis yang dapat memengaruhi sistem keseimbangan, serta individu yang menggunakan alat bantu berjalan karena kondisi tersebut berpotensi memengaruhi hasil pengukuran keseimbangan dan fungsi neuromuskular.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan dan pengukuran langsung terhadap variabel penelitian setelah responden menyelesaikan aktivitas kerja dengan paparan posisi berdiri lama (*prolonged standing*) sesuai dengan durasi kerja normal mereka. Pengukuran dilakukan pada kondisi setelah aktivitas kerja untuk menggambarkan dampak akut dari beban kerja statis terhadap fungsi neuromuskular dan kemampuan keseimbangan pekerja. Variabel independen dalam penelitian ini adalah kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor, yaitu kondisi penurunan kemampuan otot dalam mempertahankan performa kontraksi akibat aktivitas statis berkepanjangan. Variabel ini

dievaluasi melalui pengukuran objektif terhadap penurunan kapasitas fungsional otot serta penilaian subjektif menggunakan instrumen pengukuran tingkat kelelahan otot yang sesuai.

Variabel dependen dalam penelitian ini adalah gangguan keseimbangan dinamis. Pengukuran keseimbangan dinamis dilakukan menggunakan instrumen Y-Balance Test (YBT), yaitu alat ukur berbasis performa yang digunakan untuk menilai kemampuan individu dalam mempertahankan stabilitas postural ketika melakukan gerakan mencapai arah tertentu dengan tetap menjaga kontrol tubuh. Instrumen ini digunakan karena mampu menggambarkan kemampuan sistem neuromuskular dalam mengintegrasikan informasi proprioseptif, kontrol motorik, dan stabilitas ekstremitas bawah selama aktivitas fungsional. Nilai hasil pengukuran YBT digunakan untuk menentukan tingkat kemampuan kontrol postural dinamis pada pekerja setelah mengalami paparan berdiri dalam waktu lama.

Selain variabel utama tersebut, penelitian ini juga mengamati variabel moderator berupa tingkat aktivitas fisik harian responden. Data mengenai aktivitas fisik diperoleh menggunakan *Global Physical Activity Questionnaire* (GPAQ), yaitu kuesioner terstandar yang dikembangkan oleh WHO untuk mengevaluasi tingkat aktivitas fisik seseorang berdasarkan aktivitas kerja, perjalanan, dan aktivitas rekreasi. Penggunaan GPAQ bertujuan untuk mengidentifikasi apakah kebiasaan aktivitas fisik di luar pekerjaan memiliki pengaruh terhadap kemampuan tubuh dalam mempertahankan fungsi neuromuskular dan keseimbangan dinamis setelah mengalami beban kerja statis.

Seluruh data yang diperoleh kemudian dilakukan proses pemeriksaan (*editing*), pemberian kode (*coding*), dan pengolahan menggunakan perangkat lunak analisis statistik. Analisis data diawali dengan analisis univariat yang bertujuan untuk menggambarkan karakteristik responden serta distribusi masing-masing variabel penelitian. Data karakteristik seperti usia, jenis kelamin, indeks massa tubuh (IMT), dan variabel penelitian utama akan disajikan dalam bentuk nilai rata-rata, simpangan baku, distribusi frekuensi, serta persentase sesuai dengan karakteristik data yang diperoleh.

Analisis bivariat selanjutnya dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Uji statistik yang digunakan disesuaikan dengan jenis dan distribusi data penelitian, meliputi uji Likelihood Ratio, Pearson Chi-Square, serta uji korelasi Pearson Product Moment (r) untuk mengetahui kekuatan dan arah hubungan antarvariabel. Hasil analisis bivariat digunakan sebagai dasar untuk menentukan hubungan antara kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor dengan gangguan keseimbangan dinamis pada pekerja pramusaji.

Tahap analisis lanjutan dilakukan menggunakan analisis regresi moderasi dengan pendekatan PROCESS Macro Hayes Model 1. Analisis ini bertujuan untuk menguji peran tingkat aktivitas fisik sebagai variabel moderator yang dapat memengaruhi hubungan antara kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor dan gangguan keseimbangan dinamis. Melalui analisis moderasi ini dapat diketahui apakah tingkat aktivitas fisik memiliki efek memperkuat (*enhancing effect*) atau memperlemah (*buffering effect*) hubungan antara kelelahan neuromuskular akibat prolonged standing dengan penurunan kemampuan keseimbangan dinamis pada pekerja pramusaji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Responden Penelitian

Penelitian ini melibatkan 70 pekerja pramusaji yang mengalami posisi berdiri lama. Tren demografis menunjukkan bahwa mayoritas pekerja berada pada rentang usia produktif menengah, yakni 34-38 tahun (37,1%). Dari sisi komposisi tubuh, kelompok terbesar memiliki Indeks Massa Tubuh (IMT) pada kategori 27,1-28,0 (21,4%), dan hampir seluruh responden berjenis kelamin laki-laki (97,1%). Rincian profil responden yang paling dominan ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Karakteristik Responden

Karakteristik	Kategori	n (%)
Usia	34-38 th	26 (37,1%)
	29 – 33 th	19 (27,1%)
IMT	27,1 – 28,0	15 (21,4%)
	22,1 – 23,0	13 (18,6%)
Jenis Kelamin	Laki-Laki	68 (97,1%)

Keterangan: Data sekunder tidak ditampilkan seluruhnya.

Sumber: Data Primer Diolah (2026)

Analisis Univariat Variabel Penelitian

Berdasarkan observasi variabel utama, sebagian besar pekerja pramusaji mengalami tingkat kelelahan neuromuskular pada kategori rendah (51,4%) dan sedang (40,0%), dengan hanya sebagian kecil (8,6%) yang mengalami kelelahan tinggi. Tingkat aktivitas fisik harian didominasi oleh kategori sedang (57,1%). Adapun prevalensi gangguan keseimbangan dinamis tercatat sebesar 8,6%, yang mana proporsi ini sejalan dengan kelompok yang mengalami tingkat kelelahan tinggi.

Hasil Uji Hipotesis Penelitian

Pengujian hipotesis pertama menganalisis hubungan kelelahan neuromuskular otot *plantar fleksor* dengan gangguan keseimbangan. Uji statistik menunjukkan nilai *Likelihood Ratio* sebesar 40,951 ($p < 0,001$). Tren data membuktikan adanya korelasi positif yang mutlak; poin penting dari Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh pekerja yang berada pada kategori kelelahan tinggi (100%) positif mengalami gangguan keseimbangan dinamis.

Tabel 2. Tabulasi Silang Kelelahan dan Keseimbangan

Kelelahan	Tdk Ggn (%)	Ada Ggn (%)
Rendah	36 (100%)	0 (0%)
Sedang	28 (100%)	0 (0%)
Tinggi	0 (0%)	6 (100%)

Sumber: Data Primer Diolah (2026)

Pengujian hipotesis kedua mengevaluasi dampak aktivitas fisik terhadap keseimbangan. Uji statistik menghasilkan nilai signifikansi $p = 0,046$. Terdapat tren linier negatif yang nyata: proporsi gangguan keseimbangan tertinggi ditemukan pada kelompok pekerja dengan aktivitas fisik rendah (25,0%), insidensinya menurun drastis pada kelompok aktivitas sedang (7,5%), dan sama sekali tidak ditemukan gangguan (0%) pada pekerja dengan aktivitas fisik tinggi.

Selanjutnya, analisis regresi moderasi (*PROCESS Hayes*) mengonfirmasi bahwa secara simultan, model prediksi gabungan ini memiliki daya prediksi sempurna terhadap kondisi keseimbangan (*Nagelkerke* $R^2 = 1,000$; $p < 0,001$). Meskipun uji efek interaksi parsial

terdampak fenomena metodologis *quasi-complete separation* (pemisahan data mutlak karena kelelahan tinggi 100% memicu gangguan) sehingga aktivitas fisik urung teridentifikasi sebagai variabel pengubah murni, data membuktikan bahwa aktivitas fisik berkedudukan kokoh sebagai faktor pelindung mandiri yang menekan risiko hilangnya keseimbangan.

Pembahasan Mekanisme Biomekanika

Paparan posisi berdiri secara terus-menerus dalam durasi panjang (*prolonged standing*) memberikan beban biomekanik yang signifikan terhadap sistem muskuloskeletal, terutama pada ekstremitas bawah. Pada kondisi berdiri statis, otot-otot postural seperti kelompok otot plantar fleksor yang terdiri dari m. gastrocnemius dan m. soleus harus mempertahankan kontraksi tonik secara berkelanjutan untuk menjaga posisi pusat massa tubuh tetap berada dalam batas dasar tumpuan (*base of support*). Berbeda dengan aktivitas kontraksi dinamis yang melibatkan fase kontraksi dan relaksasi secara bergantian, kontraksi isometrik berkepanjangan pada posisi statis menyebabkan peningkatan tekanan intramuskular yang dapat menekan pembuluh darah kapiler lokal. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan perfusi jaringan otot, berkurangnya suplai oksigen, serta terganggunya proses pembuangan produk metabolisme seperti ion hidrogen, fosfat anorganik, dan metabolit lainnya yang berkontribusi terhadap munculnya kelelahan neuromuskular (Enoka & Duchateau, 2016).

Penurunan perfusi akibat kontraksi statis yang berkepanjangan dapat menyebabkan kondisi iskemik lokal pada jaringan otot. Keadaan ini memengaruhi kemampuan serat otot dalam mempertahankan produksi gaya optimal serta mengubah aktivitas neuromuskular pada tingkat perifer maupun sentral. Akumulasi metabolit hasil kontraksi menyebabkan perubahan lingkungan kimiawi di sekitar serat otot yang berpengaruh terhadap sensitivitas reseptor sensorik dan mekanisme eksitasi-kontraksi. Pada otot plantar fleksor, kondisi kelelahan tersebut menyebabkan penurunan kemampuan menghasilkan respons korektif secara cepat ketika terjadi perubahan posisi tubuh. Hal ini menjadi penting karena otot plantar fleksor tidak hanya berperan sebagai penggerak utama saat berjalan, tetapi juga sebagai komponen utama dalam mempertahankan keseimbangan melalui mekanisme kontrol postural berbasis strategi pergelangan kaki (*ankle strategy*) (Horak, 2006).

Mekanisme *ankle strategy* merupakan salah satu mekanisme utama sistem saraf pusat dalam mempertahankan keseimbangan tubuh, terutama ketika terjadi gangguan kecil pada posisi tubuh selama berdiri maupun bergerak. Strategi ini bergantung pada koordinasi antara sistem sensorik, sistem saraf pusat, dan sistem muskuloskeletal, khususnya kemampuan otot sekitar pergelangan kaki untuk menghasilkan respons koreksi yang cepat dan tepat. Ketika terjadi kelelahan pada otot plantar fleksor, kemampuan sistem proprioseptif mengalami penurunan akibat berkurangnya sensitivitas *muscle spindle* dan perubahan input dari mekanoreseptor sendi. Akibatnya, informasi mengenai perubahan posisi sendi dan pergerakan pusat massa tubuh yang dikirim menuju sistem saraf pusat menjadi kurang akurat. Gangguan integrasi sensorimotor tersebut menyebabkan keterlambatan aktivasi respons postural, sehingga meningkatkan amplitudo goyangan tubuh (*postural sway*) dan menurunkan kemampuan mempertahankan stabilitas dinamis.

Pada konteks pekerjaan pramusaji, gangguan tersebut memiliki implikasi penting karena aktivitas kerja tidak hanya membutuhkan kemampuan berdiri dalam waktu lama, tetapi juga melibatkan perpindahan posisi secara berulang, membawa beban, berjalan cepat,

serta melakukan perubahan arah secara tiba-tiba. Ketika sistem kontrol postural mengalami penurunan akibat kelelahan neuromuskular, kemampuan tubuh dalam menghasilkan respons kompensasi terhadap gangguan eksternal menjadi berkurang. Kondisi ini meningkatkan kemungkinan terjadinya kehilangan keseimbangan, terpeleset, maupun jatuh selama bekerja. Dengan demikian, hubungan antara kelelahan plantar fleksor dan gangguan keseimbangan dinamis tidak hanya berkaitan dengan penurunan kekuatan otot, tetapi juga melibatkan gangguan kompleks pada sistem sensorimotor yang mengatur koordinasi dan stabilitas tubuh.

Di sisi lain, tingkat aktivitas fisik harian memiliki peran penting sebagai faktor yang berpotensi memodifikasi respons tubuh terhadap paparan kerja statis. Aktivitas fisik yang dilakukan secara teratur dapat menghasilkan berbagai adaptasi fisiologis pada sistem neuromuskular dan kardiovaskular. Latihan fisik meningkatkan kepadatan kapiler perifer, memperbaiki distribusi aliran darah ke jaringan otot, meningkatkan kapasitas oksidatif mitokondria, serta memperbaiki efisiensi penggunaan energi selama kontraksi otot (Garber et al., 2011). Adaptasi tersebut memungkinkan otot memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap beban kerja berulang maupun kontraksi dengan intensitas rendah dalam waktu lama.

Secara khusus, individu dengan tingkat aktivitas fisik yang lebih tinggi cenderung memiliki proporsi dan fungsi serat otot tipe I (*slow-twitch oxidative fibers*) yang lebih optimal. Serat otot tipe I memiliki karakteristik ketahanan terhadap kelelahan yang lebih baik karena memiliki jumlah mitokondria lebih banyak, kepadatan kapiler lebih tinggi, serta kemampuan metabolisme aerobik yang lebih besar dibandingkan serat otot tipe II. Karakteristik tersebut memungkinkan otot plantar fleksor mempertahankan kontraksi postural dalam waktu lebih lama dengan akumulasi metabolit yang lebih rendah. Oleh karena itu, pekerja dengan tingkat aktivitas fisik yang baik diperkirakan memiliki kemampuan adaptasi yang lebih besar dalam menghadapi tuntutan *prolonged standing* dibandingkan pekerja dengan tingkat aktivitas fisik rendah.

Selain meningkatkan kapasitas metabolik otot, aktivitas fisik juga berperan dalam mempertahankan efektivitas mekanisme *muscle pump* pada ekstremitas bawah. Pada kondisi berdiri lama, gravitasi menyebabkan kecenderungan akumulasi darah vena di tungkai bawah yang dapat meningkatkan tekanan vena dan menyebabkan rasa berat, nyeri, maupun kelelahan pada kaki. Kontraksi otot betis secara ritmis selama aktivitas fisik membantu mendorong aliran balik vena menuju jantung sehingga menjaga sirkulasi perifer tetap optimal. Adaptasi terhadap aktivitas fisik yang rutin dapat meningkatkan efisiensi mekanisme ini, sehingga mengurangi dampak negatif dari posisi berdiri statis terhadap fungsi otot dan kontrol postural.

Berdasarkan mekanisme tersebut, aktivitas fisik dapat dipandang sebagai faktor protektif yang berperan sebagai neuromuscular buffer terhadap penurunan performa akibat kelelahan kerja. Individu yang memiliki tingkat aktivitas fisik lebih tinggi kemungkinan mampu mempertahankan integrasi antara sistem proprioseptif, kekuatan otot, dan kontrol motorik meskipun mengalami paparan kerja dengan tuntutan postural yang tinggi. Sebaliknya, rendahnya aktivitas fisik dapat menyebabkan kapasitas adaptasi neuromuskular yang lebih rendah sehingga efek kelelahan plantar fleksor terhadap gangguan keseimbangan dinamis menjadi lebih besar.

Dengan demikian, mekanisme biomekanika yang mendasari hubungan antara *prolonged standing*, kelelahan neuromuskular plantar fleksor, dan gangguan keseimbangan

dinamis bersifat multifaktorial. Kelelahan otot akibat beban statis menyebabkan gangguan pada aspek fisiologis, sensorik, dan motorik sistem kontrol postural, sedangkan aktivitas fisik berperan sebagai faktor modulasi yang dapat meningkatkan kapasitas adaptasi tubuh. Pemahaman terhadap mekanisme ini menjadi dasar penting dalam pengembangan strategi pencegahan berbasis fisioterapi, seperti program latihan penguatan plantar fleksor, latihan proprioseptif, peregangan aktif, serta peningkatan aktivitas fisik untuk mempertahankan fungsi dan keselamatan pekerja pramusaji.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif yang sangat kuat dan signifikan antara kelelahan neuromuskular otot plantar fleksor dengan gangguan keseimbangan dinamis pada pekerja pramusaji yang mengalami *prolonged standing*. Seluruh pekerja yang mengalami kelelahan tinggi terbukti mengalami gangguan keseimbangan. Selain itu, terdapat hubungan linier negatif yang signifikan antara tingkat aktivitas fisik dengan gangguan keseimbangan dinamis. Meskipun tingkat aktivitas fisik tidak terbukti secara statistik sebagai variabel moderator murni, rutinitas aktivitas fisik harian berfungsi sebagai faktor pelindung mandiri (*independent protective factor*) yang secara mutlak efektif dalam mencegah dan menekan risiko gangguan keseimbangan akibat kelelahan tersebut.

Penelitian ini memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan literatur dan praktik klinis di bidang Fisioterapi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Secara praktis, temuan ini menjadi dasar ilmiah yang kuat bagi penyusunan program pencegahan ergonomi di tempat kerja. Fisioterapis dan pihak manajemen dapat merancang intervensi berupa *targeted therapeutic exercise*, seperti panduan gerakan mandiri yang berfokus pada teknik peregangan (*stretching*) dan penguatan otot plantar fleksor. Selain itu, edukasi mengenai pentingnya menjaga gaya hidup aktif di luar jam kerja sangat krusial untuk diterapkan guna memitigasi risiko cedera fungsional, seperti jatuh atau terpeleset akibat hilangnya kontrol postur tubuh.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa batasan, di antaranya penggunaan desain observasional *cross-sectional* yang membatasi kemampuan untuk melihat stabilitas hubungan sebab-akibat secara murni dari waktu ke waktu. Selain itu, temuan statistik menunjukkan adanya kendala metodologis berupa fenomena *quasi-complete separation* karena kelompok pekerja dengan kelelahan tinggi secara absolut mengalami gangguan keseimbangan. Sebagai langkah selanjutnya, penelitian di masa depan disarankan untuk menggunakan desain eksperimental atau longitudinal guna menguji efektivitas intervensi spesifik, seperti program *active break* atau latihan neuromuskular yang diusulkan, dalam menurunkan tingkat kelelahan dan meningkatkan keseimbangan dinamis pekerja secara nyata di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Arisa, A., & Latifah, L. (2023). Pencegahan Perilaku Seksual Pada Remaja Di Banjarmasin Melalui Self Efficacy Media Audio Visual. *JIKES: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 1(2), 279-287.

- Garcia, M. G., et al. (2023). Sustained muscle contraction and neuromuscular fatigue: Central and peripheral mechanisms in lower limb muscles. *Frontiers in Physiology*, 14, 1120451.
- Halim, I., et al. (2023). Biomechanical evaluation of prolonged standing at work: A systematic review on muscle fatigue and postural control. *Applied Ergonomics*, 108, 103957.
- Hayes, A. F. (2023). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach* (3rd ed.). The Guilford Press.
- Hofmann, M., et al. (2022). The role of ankle plantar flexors in dynamic balance and postural sway: A biomechanical analysis. *Gait & Posture*, 92, 210-217.
- Kim, H., et al. (2024). Predictive modeling of dynamic balance through physical activity levels and muscle endurance in industrial workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(1), 112.
- Latifah, A. A., Arisa, A., & Diaty, R. (2025). Integrasi Nilai Spiritual dan Medis Dalam Kesehatan Modern: Perspektif Agama Islam. *JIKES: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 4(1), 29-36.
- Latifah, L., & Ngelimun, N. (2025). Teknologi Digital Sebagai Ruang Pertemuan Agama Dan Budaya Masyarakat Multikultural. *SINTESA: Jurnal Sains & Teknologi*, 1(02), 51-64.
- Neumann, D. A., Kelly, E. R., Kiefer, C. L., Martens, K., & Grosz, C. M. (2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (3rd ed.). Elsevier, Inc.
- Ngelimun, H. (2017). Ilmu Komunikasi Sebuah Pengantar Praktis. *Banjarmasin: Pustaka Banua*.
- Ngelimun, N. (2022). Bahasa Indonesia Untuk Penulisan Karya Ilmiah. *EduCurio: Education Curiosity*, 1(1), 265-278.
- Peydro-de-Moya, M. F., et al. (2022a). Neuromuscular control and physical activity levels: How exercise buffers fatigue in occupational standing tasks. *Journal of Human Kinetics*, 82, 45-58.
- Peydro-de-Moya, M. F., et al. (2022b). Physical activity as a protective factor for neuromuscular control and postural balance in occupational settings. *Journal of Human Kinetics*, 82, 55-67.
- Pratama, A., & Susanti, E. (2022). Keluhan muskuloskeletal dan beban kerja fisik pada pekerja layanan operasional di Indonesia. *Jurnal Fisioterapi Indonesia*, 22(2), 88-96.
- Purwanti, S., Arisa, A., & Diaty, R. (2023). Penyuluhan Hidup Sehat Mencegah Terjadinya Kembali Virus Covid 19 Pada Pembelajaran Tatap Muka Menurut Pandangan Islam Di SMA Islam Terpadu Martapura. *JPEMAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 98-102.

- Rahman, F., et al. (2023). Analisis ergonomi dan keluhan postur kerja pada tenaga pelayanan di Kalimantan Selatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Borneo*, 7(2), 101-112.
- Saputra, D., et al. (2023). Korelasi antara kelelahan otot distal dengan stabilitas postural dinamis pada pekerja industri. *Jurnal Ilmiah Fisioterapi*, 6(1), 12-20.
- Septia, N. I., & Kamal, N. (2023). Kesehatan Mental dan ketenangan jiwa kajian psikologi agama. *JIS: Journal Islamic Studies*, 1(2), 212-221.
- Smith, L., et al. (2023). Global prevalence of musculoskeletal disorders related to prolonged standing at work: A updated meta-analysis. *Lancet Public Health*, 8(4), 210-222.
- Tong, R. K., et al. (2023a). Neuromuscular fatigue and its impact on proprioception and dynamic balance: A Y-Balance Test study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 68, 102735.
- Tong, R. K., et al. (2023b). Neuromuscular fatigue and proprioceptive desensitization in lower limb muscles during standing tasks. *Gait & Posture*, 102, 154-161.
- Vargas, R., et al. (2024). Dynamic balance and functional reach performance in workers exposed to static postures: A Y-Balance Test study. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 34(1), 45-58.
- Wan, J., et al. (2022). Muscle fatigue: General understanding and treatment. *Experimental & Molecular Medicine*, 49, e384.
- Waters, T. R., & Dick, R. B. (2022). Evidence of health risks associated with prolonged standing at work and intervention effectiveness. *Rehabilitation Nursing Journal*, 47(2), 67-78.
- World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. World Health Organization.
- World Health Organization. (2022). *Musculoskeletal health: Fact sheets and global reports*. World Health Organization.
- Zzajik, M., et al. (2023). The neurophysiology of muscle fatigue: Mechanisms and impacts on movement system. *Frontiers in Physiology*, 14, 1102-1115.