

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Work Musculoskeletal Disorders (WMSDs) merupakan salah satu masalah kesehatan global yang berdampak besar terhadap produktivitas dan kualitas hidup manusia. Berdasarkan analisis *Global Burden of Disease* (GBD) 2019, sekitar 1,71 miliar orang di seluruh dunia hidup dengan kondisi muskuloskeletal seperti nyeri punggung bawah, nyeri leher, patah tulang, osteoarthritis, amputasi, dan arthritis reumatoid (*World Health Organization*, 2023). Kondisi muskuloskeletal menjadi penyebab utama *Years Lived with Disability* (YLDs) secara global dengan kontribusi sebesar 17% dari total YLDs, di mana nyeri punggung bawah merupakan kontributor terbesar dengan 570 juta kasus yang mewakili 7,4% dari beban YLDs dunia.

Analisis terbaru juga menunjukkan bahwa kasus gangguan muskuloskeletal lainnya meningkat tajam hingga 123,4% antara 1990 dan 2020, dan diproyeksikan akan meningkat lebih dari 115% hingga tahun 2050, menjadikan gangguan ini sebagai penyebab keenam tertinggi YLDs global (Gill dkk., 2023). Hubungan antara posisi mengangkat beban dengan keluhan *Work-related Musculoskeletal Disorders* (WMSDs) telah dibuktikan oleh berbagai penelitian di Indonesia. Maria dkk. (2024) menemukan hubungan signifikan antara sikap kerja saat menurunkan dan menaikkan karung beras dengan keluhan muskuloskeletal pada buruh angkut PT X, dengan posisi memiringkan leher menjadi yang paling dominan (60-63%). Salcha dkk. (2021) juga melaporkan bahwa 81,4% petani padi memiliki postur kerja berisiko tinggi dan 72,1% mengalami keluhan muskuloskeletal berat, dengan hubungan yang signifikan. Penelitian oleh Irwan dkk. (2024) menunjukkan bahwa risiko kerja manual material handling berhubungan secara signifikan dengan keluhan *upper back pain*, di mana semakin tinggi risiko pekerjaan, semakin besar kemungkinan pekerja mengalami nyeri punggung atas. Ananda dkk. (2025) pada pemanen sawit menemukan bahwa 56% pekerja memiliki postur kerja sangat berisiko dan 48% mengalami MSDs risiko sangat tinggi, dengan hubungan yang

sangat signifikan. Secara konsisten, posisi membungkuk, memiringkan leher, dan postur salah saat mengangkat beban menjadi faktor utama penyebab WMSDs, yang memperkuat urgensi pengembangan sistem deteksi posisi angkat beban secara *real-time*.

Seiring dengan meningkatnya prevalensi gangguan muskuloskeletal, kebutuhan akan pencegahan dini dan promosi kesehatan kerja semakin mendesak, terutama dalam rangka mencapai *Sustainable Development Goals* (SDG) 3, yaitu *Good Health and Well-Being*. Tujuan ini menekankan pentingnya meningkatkan kualitas hidup dan memprioritaskan pencegahan penyakit. Namun, strategi pencegahan WMSDs yang berlaku di berbagai sektor kerja masih bergantung pada metode konvensional. Metode tersebut masih kurang umpan balik secara *real-time*, sifat subjektif, dan ketidakmampuan untuk memberikan koreksi segera terhadap posisi yang buruk. Batasan-batasan ini sering menghambat pengenalan tepat waktu terhadap posisi yang salah saat mengangkat beban, sehingga mempertahankan risiko cedera yang tinggi. Kesenjangan yang signifikan dalam lanskap teknologi saat ini terlihat dalam ketidakhadiran perangkat yang mampu memberikan umpan balik instan tentang posisi. Kekurangan ini terutama menonjol dalam bidang teknologi muskuloskeletal, otomatis, dan berbasis sensor, yang krusial untuk mengatasi kesenjangan ini melalui solusi inovatif. Temuan ini sejalan dengan observasi yang dilaporkan oleh Irianto dkk. (2025), yang menunjukkan bahwa gangguan posisi, seperti posisi kepala yang condong ke depan dan ketidakseimbangan tubuh akibat kebiasaan duduk dan membawa barang yang salah, menyoroti pentingnya deteksi dini dan pendidikan posisi sejak usia dini, yang menjadi elemen dasar untuk pencegahan jangka panjang. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan Sistem Deteksi Posisi Angkat Beban berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat mendeteksi posisi tubuh secara *real-time* (Kalua, dkk., 2024). Sistem semacam ini akan mendukung terciptanya lingkungan kerja yang sehat, aman, dan produktif sesuai dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs).

Penelitian tentang deteksi posisi telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya permintaan akan sistem pemantauan posisi mencegah cedera

muskuloskeletal. Salah satu pendekatan awal yang telah banyak diterapkan adalah estimasi posisi berbasis kamera. Hsu dkk. (2025) mengembangkan sistem untuk mendeteksi posisi mengangkat menggunakan model estimasi posisi dari kamera *smartphone* dan jaringan *Long Short Term Memory* (LSTM). Sistem ini mampu mengklasifikasikan posisi yang benar dan salah dengan akurasi 96,9%. Namun, efektivitas sistem ini bergantung pada faktor-faktor seperti kualitas video, kondisi pencahayaan, dan sudut kamera, yang membuatnya kurang cocok untuk lingkungan industri atau lingkungan kerja dinamis yang memerlukan penilaian yang cepat dan otonom. Pendekatan berbasis kamera juga memiliki keterbatasan terkait privasi dan tidak memungkinkan pengukuran data biomekanik langsung, seperti sudut sendi atau orientasi tubuh, yang krusial dalam penilaian ergonomis.

Penelitian yang berfokus pada pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dan teknologi multisensor untuk mendeteksi aktivitas tubuh. Kianoush dkk. (2023) mengusulkan sistem untuk mendeteksi gerakan tubuh. Sistem ini didasarkan pada penggabungan sensor inframerah dan ultrasonik dengan algoritma *Random Forest*. Sistem ini dioptimalkan untuk pemrosesan tepi pada perangkat IoT berdaya rendah. Meskipun sistem ini menunjukkan keefektifan dalam mendeteksi aktivitas seperti berjalan dan jatuh dengan akurasi 94%, perlu dicatat bahwa studi ini tidak dirancang untuk mendeteksi posisi angkat beban atau melakukan analisis *biomechanik* spesifik. Selain itu, penggunaan sensor jarak pasif tidak memadai dalam menangkap dinamika sudut tubuh yang diperlukan untuk mengevaluasi risiko cedera punggung bawah.

Pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) berbasis sensor inersia juga telah dilakukan oleh Han dkk. (2020) yang merancang sistem yang menggunakan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) sembilan sumbu dan teknologi LoRa. Sistem ini mengidentifikasi aktivitas harian, seperti berjalan, berdiri, dan menaiki tangga, dengan akurasi 95,06% menggunakan algoritma *Random Forest*. Namun, sistem ini tidak fokus pada aktivitas mengangkat beban, dan tidak termasuk parameter ergonomis seperti sudut fleksi punggung atau posisi pinggul sesuai dengan standar penilaian risiko, seperti Persamaan Mengangkat *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH). Karena aktivitas yang diuji terbatas

pada gerakan umum, sistem ini belum dapat digunakan untuk pencegahan cedera di lingkungan kerja yang melibatkan tugas fisik berat.

Beberapa penelitian telah mengembangkan Sistem Deteksi Posisi Angkat Beban berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tujuan kebugaran. SmartPosisie, yang dikembangkan oleh Rane dkk. (2025), menggunakan sensor fleksibel, *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis gambar, dan modul ESP8266 untuk memberikan pemberitahuan *real-time* tentang posisi duduk atau berdiri. Meskipun inovatif, akurasi sistem ini hanya sekitar 75,52%, dan tidak dapat menangani gerakan kompleks, seperti mengangkat beban berat. Selain itu, sistem ini tidak mempertimbangkan standar biomekanik ergonomis, dan tidak dapat menilai risiko cedera berdasarkan sudut tubuh yang terlibat dalam tugas mengangkat beban.

Dalam bidang biomekanika, Alghifari dkk. (2024) mengembangkan sistem *wearable* dengan sensor MPU6050 untuk mendeteksi akurasi gerakan latihan beban, seperti *dumbbell curls* dan *triceps extensions*, menggunakan algoritma *Random Forest*. Model tersebut mencapai akurasi 96,3%. Namun, penelitian ini terbatas pada gerakan otot sederhana dan terisolasi, dan tidak mencakup gerakan kompleks seperti mengangkat beban dari lantai, yang memerlukan koordinasi antara pinggul, lutut, dan punggung. Selain itu, sistem ini tidak dirancang untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) penuh dan hanya memberikan umpan balik melalui *buzzer*, tanpa integrasi ke *platform* pemantauan ergonomi.

Berdasarkan tinjauan ini, dapat disimpulkan bahwa belum ada penelitian yang secara khusus menggabungkan sensor inersia berbasis IoT, analisis biomekanik pengangkatan beban, dan algoritma *Random Forest* untuk mendeteksi posisi pengangkatan beban yang berisiko dan memberikan peringatan *real-time*. Studi sebelumnya terbatas dalam hal konteks pengangkatan, parameter ergonomi spesifik, kemampuan IoT untuk pemantauan jarak jauh, dan ketergantungan pada gambar. Oleh karena itu, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan dalam pengembangan sistem berbasis IoT yang dapat mendeteksi posisi pengangkatan beban dan memberikan umpan balik yang segera, akurat, dan sesuai ergonomi untuk mencegah gangguan muskuloskeletal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

14. Bagaimana merancang Sistem Deteksi Posisi Angkat Beban tubuh saat mengangkat beban berbasis *Internet of Things* (IoT)?
15. Bagaimana penerapan metode *Random Forest* dalam klasifikasi posisi tubuh berdasarkan data sensor?
16. Bagaimana sistem dapat mengidentifikasi posisi tubuh saat mengangkat beban yang benar dan yang salah?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan Sistem Deteksi Posisi Angkat Beban tubuh saat mengangkat beban berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengukur dan memantau posisi tubuh secara *real-time* menggunakan sensor inersia.
2. Menerapkan metode *Random Forest* sebagai algoritma klasifikasi untuk mengolah dan mengklasifikasikan data sensor inersia dalam mendeteksi posisi tubuh saat mengangkat beban.
3. Mengidentifikasi dan membedakan posisi tubuh yang benar dan yang salah saat mengangkat beban berdasarkan hasil klasifikasi data sensor menggunakan metode *Random Forest*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoretis, akademis, dan praktis. Manfaat teoretis dari pendekatan ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi konseptual dalam pengembangan Sistem Deteksi Posisi Angkat Beban tubuh saat mengangkat beban berbasis sensor inersia (IMU) dengan memanfaatkan pendekatan *Internet of Things* (IoT) dan algoritma *Random Forest* untuk klasifikasi posisi angkat beban.
2. Memperkaya kajian ilmiah mengenai pemodelan pola gerakan biomekanik

manusia, khususnya pada aktivitas mengangkat beban, melalui pemanfaatan data sensor yang dianalisis menggunakan metode *machine learning*.

3. Menjadi referensi teoretis bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada integrasi *wearable sensor* dan algoritma klasifikasi dalam konteks kesehatan kerja dan ergonomi.

Adapun manfaat secara akademis adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan bahan referensi akademik bagi mahasiswa dan dosen, khususnya pada bidang Teknik Informatika, yang berkaitan dengan pengembangan sistem IoT, *wearable*, dan pengenalan aktivitas manusia (*human activity recognition*).
2. Menjadi contoh penerapan metodologi penelitian berbasis data sensor, mulai dari proses pengambilan data, *preprocessing*, ekstraksi fitur, hingga evaluasi model klasifikasi menggunakan algoritma *Random Forest*.
3. Mendukung pengembangan materi pembelajaran dan praktikum pada mata kuliah terkait, seperti *Embedded System*, *Internet of Things* (IoT), dan *Machine learning*, melalui studi kasus nyata pada deteksi posisi angkat beban.
4. Menambah literatur ilmiah nasional dalam bidang penerapan teknologi cerdas untuk pencegahan gangguan muskuloskeletal akibat kerja, yang saat ini masih relatif terbatas, khususnya pada konteks posisi angkat beban.

Terakhir, Adapun manfaat secara praktis adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan Sistem Deteksi Posisi Angkat Beban angkat beban secara *real-time* yang mampu mengidentifikasi posisi tubuh yang benar dan yang salah, sehingga dapat membantu pengguna dalam mencegah cedera punggung bawah akibat kesalahan posisi.
2. Menyediakan alat bantu ergonomis berbasis IoT yang dapat diterapkan pada berbagai sektor, seperti manufaktur, logistik, pergudangan, serta aktivitas latihan fisik yang melibatkan pengangkatan beban.
3. Mendukung implementasi program Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) melalui pemanfaatan teknologi pemantauan posisi tubuh secara berkelanjutan, serta berkontribusi terhadap pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin 3: *Good Health and Well-Being* melalui

upaya pencegahan dini gangguan muskuloskeletal terkait pekerjaan.

1.5 Ruang Lingkup Dan Batasan Penelitian

Untuk memastikan bahwa penelitian ini terfokus, terarah, dan sesuai dengan waktu dan sumber daya yang tersedia, ruang lingkup dan batasan penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Sistem dirancang untuk mendeteksi dua kategori saat mengangkat beban, yaitu posisi baik dan posisi buruk saat melakukan aktivitas mengangkat beban dari posisi jongkok ke posisi berdiri. Selain itu, sistem dilengkapi dengan mekanisme *feedback* berupa suara yang dikeluarkan oleh alat ketika terdeteksi posisi yang salah.
2. Penelitian hanya memfokuskan analisis pada aktivitas mengangkat beban dari lantai menuju posisi berdiri. Aktivitas lain seperti mendorong, menarik, memutar tubuh, membungkuk statis, atau mengangkat beban di atas kepala tidak termasuk dalam cakupan penelitian.
3. Sistem hanya menggunakan dua sensor MPU6050 dan satu sensor BMP280, yang mana MPU6050 dipasang pada punggung bagian atas (*thoracic*), punggung bagian bawah (*lumbar*) dan pada beban ditempelkan BMP280. Pemilihan titik pemasangan ini ditujukan untuk menangkap sudut fleksi dan ekstensi punggung yang relevan dalam penilaian risiko ergonomis.
4. Algoritma yang digunakan untuk klasifikasi posisi dibatasi pada model *Random Forest*. Penelitian tidak melakukan perbandingan dengan algoritma lain untuk menjaga fokus analisis dan kedalaman pembahasan.
5. Pengujian sistem hanya dilakukan di lingkungan Universitas Malikussaleh. Lokasi di luar Universitas Malikussaleh tidak termasuk dalam cakupan penelitian guna memastikan kondisi lingkungan pengujian lebih terkendali, seragam, dan konsisten, sehingga meminimalkan pengaruh variabel eksternal terhadap hasil pengujian sistem.
6. Subjek penelitian dibatasi sebanyak 20 orang dengan kondisi fisik normal serta tidak memiliki riwayat gangguan muskuloskeletal. Pembatasan ini bertujuan untuk mengurangi variabilitas data akibat perbedaan kondisi medis

yang dapat memengaruhi pola gerakan dan hasil klasifikasi posisi.

7. Jenis beban yang digunakan dalam pengujian adalah galon air berkapasitas 15 liter dengan bentuk dan karakteristik beban yang seragam. Pembatasan jenis dan berat beban ini diterapkan untuk menjaga konsistensi pola pengangkatan dan memastikan keamanan subjek selama proses penelitian.
8. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan tiga metrik utama, yaitu akurasi, *recall*, dan *F1-score*. Penggunaan metrik tersebut dipilih untuk memberikan gambaran yang memadai mengenai kinerja klasifikasi.