

**PERANCANGAN ALAT PENGUKUR POSTUR
TUBUH OTOMATIS BERBASIS ARDUINO
UNTUK METODE *RAPID ENTIRE*
*BODY ASSESSMENT***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar
Sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri

Disusun oleh :

Nama : Lisa Keizia Halim
NPM : 2016610170



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2020**

**PERANCANGAN ALAT PENGUKUR POSTUR
TUBUH OTOMATIS BERBASIS ARDUINO
UNTUK METODE *RAPID ENTIRE*
*BODY ASSESSMENT***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar
Sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri

Disusun oleh :

Nama : Lisa Keizia Halim
NPM : 2016610170



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2020**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Lisa Keizia Halim
NPM : 2016610170
Program Studi : Sarjana Teknik Industri
Judul Skripsi : PERANCANGAN ALAT PENGUKUR POSTUR TUBUH
OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNTUK METODE
RAPID ENTIRE BODY ASSESSMENT

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, September 2020
**Ketua Program Studi Sarjana
Teknik Industri**

(Romy Loice, S.T., M.T.)

Pembimbing Pertama

(Yansen Theopilus, S.T., M.T.)

Dosen Pembimbing Kedua

(Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si.)

PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Lisa Keizia Halim

NPM : 2016610170

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan Judul:
PERANCANGAN ALAT PENGUKUR POSTUR TUBUH OTOMATIS BERBASIS
ARDUINO UNTUK METODE *RAPID ENTIRE BODY ASSESSMENT*

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, 31 Agustus 2020



Lisa Keizia Halim

NPM : 2016610170

ABSTRAK

Pekerja dari berbagai industri dapat terpapar risiko *musculoskeletal disorder* (MSD) di tempat kerja. Kebanyakan MSD terjadi akibat akumulasi penggunaan postur yang tidak baik secara berulang. Analisis postur dapat menjadi dasar perubahan pada lingkungan pekerjaan untuk menghindari risiko MSD. Metode *rapid entire body assessment* (REBA) memberikan pengukuran yang mudah dan cepat untuk menguji berbagai postur tubuh terhadap risiko MSD. Akurasi penilaian postur tubuh REBA tanpa alat bantu tidak cukup akurat karena keterbatasan visual manusia. Penilaian postur menggunakan foto juga memiliki banyak potensi kesalahan saat pengambilan *input* dan menghabiskan lebih banyak waktu. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang alat yang dapat mengukur postur tubuh dengan akurat dan cepat.

Alat pengukur postur tubuh berbasis Arduino melakukan pengukuran posisi pada beberapa segmen tubuh yang kemudian digunakan sebagai dasar analisis postur tubuh metode REBA secara *real time*. Akselerometer MPU6050 digunakan untuk mengambil data percepatan yang kemudian diolah menjadi data perpindahan dan digunakan untuk mendapatkan gambaran postur tubuh. Gambaran postur tubuh akan digunakan sebagai *input* penilaian postur tubuh dengan metode REBA. Alat pengukur postur tubuh akan menghasilkan satu buah *spreadsheet* yang berisi penilaian REBA dari setiap postur yang terekam selama pengambilan data dilakukan.

Akurasi alat diuji dengan membandingkan sudut tubuh pengukuran manual dan sudut perhitungan alat. Reliabilitas alat diuji dengan membandingkan atau menilai kekonsistenan replikasi hasil perhitungan sudut pada postur yang sama menggunakan metode *Cronbach's Alpha*. Nilai *Cronbach's Alpha* pengukuran postur berdiri normal adalah 0,692 sementara pengukuran postur ekstrem adalah 0,537. Hasil uji reliabilitas menunjukkan bahwa alat pengukur postur tubuh masih kurang reliabel dalam pengukurannya. Berdasarkan hasil pengujian, masih terdapat beberapa perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas alat, yaitu meminimalkan *noise* data akselerometer MPU6050 dan proses integrasi data. Banyak prototipe saat ini lebih sedikit daripada banyak prototipe yang dibutuhkan sehingga pengambilan data satu postur tidak dapat dilakukan sekaligus. Satu kali pengambilan data dapat merekam banyak postur sekaligus. Alat memerlukan waktu sekitar 6 menit untuk dapat mengambil dan mengolah seluruh data postur yang direkam dalam satu kali pengambilan data menjadi penilaian REBA. Akselerometer yang lebih akurat dari MPU6050 dan implementasi *Kalman Filter* dapat digunakan untuk pengembangan alat pengukur postur tubuh lebih lanjut.

Kata Kunci: Arduino, *Motion Capture*, MPU6050, *Musculoskeletal Disorder* (MSD), *Rapid Entire Body Assessment* (REBA)

ABSTRACT

Workers from various industries can be exposed to the musculoskeletal disorders (MSDs) risks in the workplace. Most cases of MSDs happen because of the accumulation use of repetitive bad postures. Postural analysis can be used as a major basis to implement changes that may minimize MSDs risks in the workplace. The rapid entire body assessment (REBA) method provides an easy and fast measurement to analyze various postures for MSDs risks. The accuracy of REBA assessments from observations only is not good enough due to the limitations of human vision. The input of photo-based postural analysis also has a lot of error potentials and takes up even more time. Therefore, this study aims to design a tool to do body posture measurement accurately and quickly.

The Arduino-based postural analysis tool measures the position of several body segments which are then used as the input of REBA in real-time. The acceleration of each body segment recorded by the MPU6050 will be processed to be displacement data and used to analyze the posture. The posture measurements that are detected by the tool will be used as the input of REBA assessment. The tool will generate a spreadsheet which contains REBA scores of all postures recorded during the using of the tool.

The accuracy of the tool was tested by comparing the photo-based postural analysis result to the postural analysis result of the tool. The reliability of the tool was tested by the Cronbac's Alpha method. The Cronbac's Alpha value of normal standing posture is 0.692 and the Cronbach's Alpha value of the extreme posture is 0.537. The reliability test showed that the tool is not reliable enough in it's measurements. Based on the tests, the accuracy and the reliability of the tool can still be improved by minimizing the noises from MPU6050's acceleration data and the integration process. The number of prototypes used in this study is less than the number the tool needs so that the input of one posture had to be taken in a few times. Multiple postures can be recorded at once using the tool. The tool is able to capture and assess multiple postures in approximatey 6 minutes. A better accelerometer and the implementation of Kalman Filter may be used for improvement of this study in the future.

Keyword: *Arduino, Motion Capture, MPU6050, Musculoskeletal Disorder (MSD), Rapid Entire Body Assessment (REBA)*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan kasih-Nya yang terus menyertai saya sehingga saya berhasil menyelesaikan skripsi berjudul “Perancangan Alat Pengukur Postur Tubuh Otomatis Berbasis Arduino untuk Metode *Rapid Entire Body Assessment*” dengan baik. Skripsi ini ditulis sebagai syarat guna mencapai gelar sarjana dalam bidang ilmu Teknik Industri di Universitas Katolik Parahyangan.

Saya menerima begitu banyak bantuan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak selama penelitian dan proses penyusunan skripsi ini berlangsung. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Yansen Theopilus, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si. selaku dosen-dosen pembimbing yang telah memberikan begitu banyak saran, masukan, dan pengarahan selama proses penyusunan skripsi berlangsung.
2. Bapak Dr. Thedy Yogasara, S.T., M.EngSc. dan Bapak Marihot Nainggolan, S.T., M.T., M.S. sebagai penguji proposal skripsi yang telah memberikan saran dan masukan berharga kepada saya untuk penelitian ini.
3. Kedua orang tua dan kakak saya, Halim Syarief, Lina Marlina Suwarsa, dan Evelyne Nadia Halim, M.Si., Apt. yang memberi dukungan dan doa selama proses penyusunan skripsi hingga akhir.
4. Richard Tanadi, S.T. yang telah memberikan banyak bantuan dan pengarahan dalam proses pembuatan prototipe alat pengukur postur tubuh otomatis.
5. Rekan-rekan saya, Livia Jane Budiarto, S.Ak. dan Hanna Alverina, S.T. yang terus menemani juga memberikan dukungan dan penghiburan selama proses penyusunan skripsi dari awal hingga akhir.
6. Rekan-rekan saya, Liem, Ivana Mira Tamtomo, S.T., Ravelin Agstefina, S.T., Audilia Samantha, S.T., Ferenia Sharleen S.T., dan Elvina Tamara, S.T. yang selalu memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari hasil penelitian maupun penyusunan laporan. Saya memohon maaf apabila terdapat hal-hal yang kurang berkenan dalam laporan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi bidang keilmuan maupun pembaca.

Bandung, 12 Agustus 2020

Lisa Keizia Halim

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah	I-1
I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	I-8
I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian	I-19
I.4 Tujuan Penelitian.....	I-19
I.5 Manfaat Penelitian.....	I-20
I.6 Metodologi Penelitian	I-20
I.7 Sistematika Penulisan	I-23
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Sistem Muskuloskeletal	II-1
II.1.1 Sistem Kerangka (<i>Skeletal System</i>).....	II-1
II.1.2 Sistem Otot (<i>Muscular System</i>)	II-4
II.2 Kelainan Muskuloskeletal	II-5
II.3 <i>Rapid Entire Body Assessment</i> (REBA).....	II-6
II.4 Arduino	II-16
BAB III PERANCANGAN ALAT PENGUKUR POSTUR TUBUH OTOMATIS	III-1
III.1 Mekanisme Kerja.....	III-1
III.2 Alat dan Bahan	III-25
III.3 Rancangan Perangkat Keras.....	III-38
III.4 Rancangan Kode.....	III-51
III.5 Implementasi dan Uji Coba.....	III-65
III.6 Evaluasi Alat.....	III-80

III.7	Usulan Perbaikan Berdasarkan Hasil Evaluasi	III-89
BAB IV ANALISIS		IV-1
IV.1	Pemilihan Bahan dan Proses Pembuatan Prototipe.....	IV-1
IV.2	Akurasi Alat Pengukur Postur Tubuh	IV-8
IV.3	Reliabilitas Alat Pengukur Postur Tubuh Otomatis.....	IV-14
IV.4	Keterbatasan Alat Pengukur Postur Tubuh Otomatis.....	IV-16
IV.5	Kelebihan Alat dan Perbandingan dengan Alat Pengukur Postur Metode REBA Lainnya	IV-18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	<i>Trunk Score</i>	II-9
Tabel II.2	<i>Neck Score</i>	II-9
Tabel II.3	<i>Legs Score</i>	II-10
Tabel II.4	<i>Upper Arm Score</i>	II-10
Tabel II.5	<i>Lower Arm Score</i>	II-11
Tabel II.6	<i>Wrist Score</i>	II-11
Tabel II.7	<i>Table A: Scoring for Body Parts A (Trunk, Neck, Legs)</i>	II-13
Tabel II.8	<i>Load/Force Score</i>	II-13
Tabel II.9	<i>Tabel B: Scoring for Body Parts B (Upper Arms, Lower Arms, Wrists)</i>	II-14
Tabel II.10	<i>Coupling Score</i>	II-14
Tabel II.11	<i>Table C: Grand Score</i>	II-15
Tabel II.12	<i>Activity Score</i>	II-15
Tabel II.13	Tingkat Risiko Kelainan Muskuloskeletal Berdasarkan Skor REBA.....	II-16
Tabel III.1	Daftar Penempatan Sensor untuk Setiap Sudut.....	III-9
Tabel III.2	Kode Rangkaian Arduino untuk Setiap Area Tubuh	III-19
Tabel III.3	Ilustrasi Data Jaringan 1 yang Diterima Perangkat Tambahan	III-20
Tabel III.4	Rekapitulasi <i>Sheet</i> dan Informasi pada <i>File</i> Akhir	III-22
Tabel III.5	<i>Wiring System</i> Rangkaian Tubuh Awal	III-39
Tabel III.6	<i>Wiring System</i> Perangkat Tambahan.....	III-42
Tabel III.7	Contoh Data Percepatan dalam Keadaan Normal.....	III-52
Tabel III.8	Contoh Data Percepatan dalam Keadaan Bergerak.....	III-53
Tabel III.9	Petunjuk Tambahan <i>Coupling Score</i>	III-63
Tabel III.10	<i>Wiring System</i> Rangkaian Tubuh Perbaikan	III-68
Tabel III.11	Rekapitulasi Perkiraan Besar Sudut Tubuh Berdiri Tegak.....	III-76
Tabel III.12	Rekapitulasi Perkiraan Besar Sudut Postur Tubuh Ekstrem....	III-78
Tabel III.13	Rekapitulasi Skor REBA	III-80
Tabel III.14	Perbandingan Besar Sudut Leher	III-80

Tabel III.15	Perbandingan Besar Sudut Tubuh	III-81
Tabel III.16	Perbandingan Besar Sudut Kaki	III-82
Tabel III.17	Perbandingan Besar Sudut Lengan Atas	III-83
Tabel III.18	Perbandingan Besar Sudut Lengan Bawah.....	III-84
Tabel III.19	Perbandingan Besar Sudut Pergelangan Tangan	III-85
Tabel III.20	Pengujian Reliabilitas Alat <i>Cronnbach's Alpha</i> Postur Berdiri..	III-86
Tabel II.21	Pengujian Reliabilitas Alat <i>Cronbach's Alpha</i> Postur Ekstrem..	III-86

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Postur Tubuh Seorang Perawat yang Sedang Membantu Pasien	I-3
Gambar I.2	Contoh Penggambaran Garis pada Foto Postur Tubuh Perawat	I-6
Gambar I.3	Contoh Foto Postur Tubuh yang Tidak Sagital	I-8
Gambar I.4	Perbandingan Peritungan Sudut Grup A.....	I-10
Gambar I.5	Perbandingan Perhitungan Sudut Grup B.....	I-11
Gambar I.6	Contoh Tampilan Aplikasi ErgoPlus.....	I-14
Gambar I.7	Contoh Tampilan Aplikasi ErgoIntelligence.....	I-15
Gambar I.8	Contoh Tampilan Aplikasi ErgoFellow 3.0	I-16
Gambar I.9	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	I-21
Gambar II.1	Pembagian Kelompok Tulang pada Kerangka Tubuh Manusia.....	II-2
Gambar II.2	<i>Template</i> Lembar Penilaian REBA	II-12
Gambar II.3	Contoh Papan Arduino.	II-18
Gambar II.4	Tampilan Utama IDE Arduino	II-19
Gambar III.1	Ilustrasi Pencarian Vektor Tubuh.....	III-2
Gambar III.2	Ilustrasi Vektor Leher.....	III-2
Gambar III.3	Ilustrasi Vektor Sumbu Z dan Vektor Tubuh	III-3
Gambar III.4	Ilustrasi Sudut antara Vektor Sumbu Z dan Vektor Leher	III-4
Gambar III.5	Ilustrasi Posisi Titik X pada Setiap Waktu.....	III-5
Gambar III.6	<i>Flowchart</i> Mekanisme Perhitungan Sudut Secara Umum	III-6
Gambar III.7	Letak Vertebra Toraks 1	III-7
Gambar III.8	Rangkaian Tubuh Awal	III-10
Gambar III.9	Ilustrasi Penempatan Rangkaian Tubuh pada Tubuh	III-11
Gambar III.10	Contoh Kertas Penanda Kalibrasi.....	III-12
Gambar III.11	Kalibrasi Rangkaian Tubuh.....	III-13
Gambar III.12	Ilustrasi Posisi Relatif Kedua Sensor pada $t = 0$	III-13
Gambar III.13	Ilustrasi Posisi Relatif Kedua Sensor pada $t = 1$	III-14
Gambar III.14	Ilustrasi Posisi Relatif Kedua Sensor pada $t = 2$	III-14

Gambar III.15	Ilustrasi Vektor Leher.....	III-15
Gambar III.16	Ilustrasi Posisi Relatif Dua Sensor dengan Titik Awal Berbeda pada $t = 2$	III-16
Gambar III.17	Perangkat Tambahan	III-18
Gambar III.18	Modul ESP-01	III-24
Gambar III.19	Arduino Pro Mini	III-25
Gambar III.20	Arduino Uno	III-26
Gambar III.21	MPU6050	III-27
Gambar III.22	Radio NRF24L01	III-27
Gambar III.23	Kapasitor Elektrolit.....	III-28
Gambar III.24	Baterai Kancing	III-28
Gambar III.25	SPDT <i>Switch</i>	III-29
Gambar III.26	<i>Heatshrink</i>	III-29
Gambar III.27	Kabel Tembaga Tunggal	III-30
Gambar III.28	<i>Male-to-Male Jumper</i>	III-31
Gambar III.29	Karet.....	III-31
Gambar III.30	Wemos D1 R1	III-32
Gambar III.31	Baterai 9V.....	III-32
Gambar III.32	<i>Battery Clip Adapter with DC Jack</i>	III-33
Gambar III.33	<i>Soldering Iron</i>	III-33
Gambar III.34	Timah Solder	III-34
Gambar III.35	<i>Solder Sucker</i>	III-35
Gambar III.36	<i>Solder Wick</i>	III-35
Gambar III.37	Future Technology Devices International (FTDI) <i>Adapter</i> ...	III-36
Gambar III.38	Kabel Data <i>USB Type A Male to USB Type B Male</i>	III-36
Gambar III.39	Kabel Data USB Type A Male to Mini USB Type B Male	III-37
Gambar III.40	Pinset	III-37
Gambar III.41	Tang Kabel.....	III-38
Gambar III.42	Ilustrasi <i>Wiring</i> Rangkaian Tubuh Awal	III-40
Gambar III.43	Ilustrasi Rangkaian dalam <i>Casing</i>	III-41
Gambar III.44	Ilustrasi <i>Wiring</i> Perangkat Tambahan	III-42
Gambar III.45	Alat Bantu pada Kepala.....	III-43
Gambar III.46	Alat Bantu pada Tubuh.....	III-44
Gambar III.47	Ilustrasi Alat Bantu pada Siku	III-47

Gambar III.48	Ilustrasi Alat Bantu pada Lutut.....	III-48
Gambar III.49	Ilustrasi Alat Bantu pada Pergelangan Tangan, Punggung Tangan, dan Pergelangan Kaki	III-49
Gambar III.50	<i>Flowchart Sketch Code</i> Rangkaian Tubuh.....	III-52
Gambar III.51	<i>Flowchart Sketch Code</i> Perangkat Tambahan.....	III-58
Gambar III.52	Mekanisme Kerja <i>Python Monitoring Code</i>	III-60
Gambar III.53	<i>Flowchart Code</i> Matlab.....	III-61
Gambar III.54	Prototipe Perbaikan Rangkaian Tubuh	III-67
Gambar III.55	Ilustrasi <i>Wiring</i> Rangkaian Tubuh Perbaikan	III-69
Gambar III.56	Contoh Penggunaan Alat Bantu Pakai.....	III-70
Gambar III.57	Kalibrasi Prototipe Rangkaian Tubuh	III-71
Gambar III.58	Contoh Penggunaan Rangkaian Tubuh pada Puncak Kepala, T1/T1, dan L3/L4	III-72
Gambar III.59	Contoh Pemakaian Rangkaian Tubuh pada Puncak Siku, Pergelangan Tangan, Punggung Tangan, Pinggul, Lutut, dan Pergelangan Kaki	III-73
Gambar III.60	Foto Postur.....	III-74
Gambar III.61	Perhitungan Sudut Postur Berdiri	III-75
Gambar III.62	Perhitungan Sudut Postur Ekstrem.....	III-77

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	JARINGAN KOMUNIKASI ALAT PENGUKUR POSTUR TUBUH OTOMATIS RANCANGAN AWAL
LAMPIRAN B	<i>SKETCH CODE</i> RANGKAIAN TUBUH AWAL
LAMPIRAN C	<i>SKETCH CODE</i> PERANGKAT TAMBAHAN
LAMPIRAN D	<i>SKETCH CODE</i> RANGKAIAN TUBUH PERBAIKAN
LAMPIRAN E	<i>PYTHON CODE</i>
LAMPIRAN F	<i>MATLAB CODE</i>
LAMPIRAN G	DATA ANTROPOMETRI USIA PRODUKTIF
LAMPIRAN H	CONTOH <i>FILE SPREADSHEET</i> PRODUK AKHIR

BAB I

PENDAHULUAN

Suatu penelitian tentu berkembang atas dasar suatu masalah yang ditemukan pada sistem saat ini. Pemahaman masalah yang jelas dan mendalam diperlukan sebagai dasar berjalannya suatu penelitian. Bab ini menjelaskan secara rinci mengenai permasalahan yang ada, dimulai dari penjelasan latar belakang masalah, pengidentifikasian dan perumusan masalah, pembatasan masalah dan asumsi yang digunakan pada penelitian, tujuan dari penelitian, manfaat yang didapatkan dari penelitian ini, dan metodologi yang akan dijalankan selama penelitian.

I.1 Latar Belakang Masalah

Sistem pergerakan tubuh manusia (sistem muskuloskeletal) sangat dibutuhkan untuk melakukan kegiatan sehari-hari. Manusia perlu bergerak untuk dapat melakukan aktivitas seperti makan, berolah raga, bekerja, dan sebagainya. Aktivitas bernapas sekali pun memerlukan bantuan sistem pergerakan tubuh manusia. Tidak ada pekerjaan yang dapat dilakukan tanpa memerlukan pergerakan dari tubuh manusia.

Sistem muskuloskeletal terbagi atas sistem kerangka (*skeletal system*) dan sistem otot (*muscular system*). Sistem kerangka terdiri dari tulang-tulang besar maupun tulang kecil, ligamen yang menahan seluruh tulang bersama, tulang rawan yang menjadi bantalan dari ujung-ujung tulang, dan sendi yang memungkinkan sistem bergerak dengan stabil sesuai tujuan (Mitchell, 2015). Fungsi utama sistem kerangka tubuh adalah untuk menyokong tubuh, melindungi sistem organ lain, memberikan tempat bagi otot untuk melekat, tempat penyimpanan lemak dan mineral yang diperlukan tubuh, dan tempat pembuatan sel darah (Mitchell, 2015).

Sistem otot membungkus kerangka tubuh manusia dan membantu manusia menggerakkan tubuhnya (Mitchell, 2015). Otot menempel pada setiap tulang dan kontraksi dari otot-otot tersebut menyebabkan tulang dapat bergerak. Tanpa otot, tidak ada pergerakan yang dapat dihasilkan tubuh manusia. Selain

untuk menggerakkan tubuh, otot juga membantu mempertahankan postur tubuh. Postur tubuh tidak akan dapat bertahan pada posisi yang sama apabila otot tidak menahan gaya gravitasi bumi (Mitchell, 2015). Otot juga berfungsi untuk memperkuat sendi dan menghasilkan panas tubuh (Mitchell, 2015).

Adanya gangguan pada sistem muskuloskeletal tentunya akan sangat mengganggu kegiatan dan aktivitas seseorang. Otot kaki yang sakit akan membuat kegiatan berjalan menjadi sulit dilakukan. Sakit pada tulang punggung akan menyiksa penderitanya pada posisi apa pun. Tulang yang patah akan sangat membatasi pergerakan seseorang. Gangguan pada sistem muskuloskeletal akan sangat berpengaruh terhadap produktivitas seseorang.

Musculoskeletal disorder atau biasa disebut MSD adalah cedera atau kelainan pada otot, saraf, tendon, ligamen, sendi, tulang rawan, dan tulang belakang yang bukan disebabkan akibat terpeleset, tersandung, jatuh, kecelakaan dari kendaraan bermotor, atau kecelakaan serupa lainnya (Brauer, 2006). Menurut laman *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), *musculoskeletal disorder* memengaruhi otot, saraf, pembuluh darah, ligamen, dan tendon.

Mengutip dari laman *World Health Organization* mengenai kondisi-kondisi muskuloskeletal, sekitar satu dari tiga hingga satu dari lima orang (termasuk anak-anak) di dunia menderita nyeri muskuloskeletal (WHO, 2019). *Musculoskeletal disorders* adalah kategori tunggal terbesar penyumbang cedera di tempat kerja dan bertanggung jawab atas hampir 30% dari seluruh biaya kompensasi pekerja (Middlesworth, 2013). *Musculoskeletal disorder* mengisi sekitar 20% dari seluruh kunjungan ke dokter umum (Sambrook, Taylor, Schrieber, & Ellis, 2010). Laman OSHA memaparkan hasil penelitian Bureau of Labor Statistics pada tahun 2013 bahwa *musculoskeletal disorder* menyumbang 33% dari seluruh kasus kecelakaan dan sakit pegawai.

Kelainan-kelainan muskuloskeletal biasanya disebabkan oleh penggunaan alat gerak yang repetitif dengan cedera yang terakumulasi (Sanders, 2004). Akumulasi dan pengulangan gerakan yang mengakibatkan cedera dapat terjadi dikarenakan pekerjaan seseorang. Postur duduk yang jelek dari seorang sopir selama menyetir kendaraannya sepanjang hari dapat mengakibatkan kelainan muskuloskeletal. Seorang buruh yang mengangkut semen dengan postur pengangkatan buruk akan mengalami cedera pada sistem muskuloskeletalnya.

Seorang perawat yang harus membantu puluhan pasien dalam satu hari dapat mengalami cedera akibat postur tubuhnya yang tidak baik.

Seperti ilustrasi pada Gambar I.1, postur dan gerakan janggal yang dilakukan akan berdampak pada sistem muskuloskeletal manusia apabila dilakukan secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Tubuh perawat yang membungkuk ke arah kanan dan kaki kiri yang naik ke kursi akan membebani berat badannya pada kaki kanan. Lutut kanan dari perawat tersebut pun berada pada posisi yang tertekuk. Hal ini menyebabkan lutut kanan perawat pada Gambar I.1 menahan sebagian besar berat badan perawat. Apabila posisi ini sering dilakukan, perawat tersebut akan memiliki risiko yang tinggi untuk mengalami kelainan muskuloskeletal. Cedera yang terjadi akibat akumulasi stres gerakan berulang disebut sebagai *cumulative trauma disorders* (CTD) (Goetsch, 2015).



Gambar I.1 Postur Tubuh Seorang Perawat yang Sedang Membantu Pasien
(Sumber: Hignett & McAtamney, 2000)

OSHA pada lamannya mencantumkan daftar pekerjaan-pekerjaan yang memiliki risiko paling tinggi untuk mendapat kelainan muskuloskeletal. Pekerjaan yang disebut antara lainnya adalah perawat, pemadam kebakaran, buruh dan pengangkut barang, petugas kebersihan, pengemudi truk berat dan traktor-trailer, kolektor bahan daur ulang, penjaga toko yang bertugas mengisi stok barang, asisten rumah tangga, sopir bus, pegawai produksi, dan sebagainya. Banyak sekali pekerjaan yang memiliki risiko tinggi untuk mengidap kelainan muskuloskeletal.

Halaman OSHA mengatakan bahwa pekerja pada berbagai industri dan pekerjaan dapat terpapar risiko-risiko di tempat kerja seperti mengangkat barang yang berat, membungkuk, meraih barang di atas kepala, mendorong dan menarik beban berat, bekerja pada postur tubuh yang canggung, dan melakukan tugas yang sama berulang-ulang. Paparan faktor-faktor risiko kelainan muskuloskeletal akan meningkatkan risiko cedera pada pekerja. Apabila seseorang telah mengalami kelainan pada sistem muskuloskeletalnya, produktivitas dari pekerjaannya akan menurun. Oleh sebab itu, pengetahuan pekerja mengenai postur tubuh yang baik sangat diperlukan.

Analisis postur dapat menjadi teknik yang baik untuk menilai aktivitas suatu pekerjaan (Hignett & McAtamney, 2000). Risiko cedera muskuloskeletal yang disebabkan oleh beberapa postur dapat menjadi faktor utama untuk mengimplementasikan perubahan pada lingkungan pekerjaan (Hignett & McAtamney, 2000). Oleh sebab itu, analisis postur tubuh pekerja dapat dilakukan untuk mengetahui apakah postur tubuh pekerja sudah baik atau belum.

Penilaian baik atau buruknya postur tubuh manusia dapat diketahui dengan melakukan observasi. Terdapat beberapa metode untuk mengukur dan menilai postur tubuh, di antara lainnya adalah *rapid entire body assessment* (REBA). REBA dicetuskan oleh Hignett dan McAtamney pada tahun 2000 sebagai persyaratan yang perlu diamati dalam kisaran alat analisis postur, khususnya dengan sensitivitas pada jenis posisi kerja yang berubah-ubah. Metode REBA memberikan pengukuran yang mudah dan cepat untuk menguji berbagai jenis postur tubuh terhadap risiko mendapat kelainan muskuloskeletal (Madani & Dababneh, 2016).

Metode ini membagi tubuh manusia menjadi dua grup lalu melakukan penilaian postur tubuh terhadap area-area tubuh sesuai dengan grupnya.

Pembagian grup pada metode ini adalah (1) leher, tubuh, dan kaki dan (2) lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. Secara garis besar, sesuai namanya metode REBA menganalisis postur tubuh secara keseluruhan. Pembagian segmen tubuh dilakukan untuk memastikan postur-postur janggal pada leher, punggung, atau kaki yang mungkin memengaruhi postur lengan dan pergelangan tangan ikut dipertimbangkan ke dalam penilaian (Middlesworth, 2012).

Metode REBA memerlukan peneliti untuk mengamati postur tubuh pekerja atau subjek penelitian ketika melakukan tugasnya. Pekerja dapat memiliki beberapa postur tubuh dalam melaksanakan rangkaian tugasnya. Peneliti akan memilih satu atau beberapa dari kumpulan postur yang dibuatnya untuk dinilai. Postur terpilih akan diamati dan dinilai berdasarkan seberapa jauh postur tersebut menyimpang dari posisi netral tubuh (McAtamney & Hignett, 2005).

Penilaian postur tubuh REBA dapat dilakukan dengan hanya menggunakan lembar penilaian REBA dan bolpoin (McAtamney & Hignett, 2005). Penggunaan kamera atau perekam video dapat berguna, tapi keduanya bukanlah alat yang wajib digunakan dalam penilaian (McAtamney & Hignett, 2005). Peneliti dapat mengamati postur tubuh pekerja dan langsung memberikan skor terhadap sudut-sudut yang dihasilkan posisi tubuh pada postur.

Penilaian postur tubuh secara langsung tanpa bantuan alat lain mengalami kendala berupa kurangnya akurasi penilaian postur tubuh. Peneliti tidak dapat meminta pekerja untuk berhenti bergerak dan mempertahankan postur tubuhnya agar sudut tubuh dapat diukur. Besar sudut yang dihasilkan oleh tubuh pekerja tidak memungkinkan untuk diukur dan diketahui nilainya secara pasti sehingga peneliti hanya dapat membuat perkiraan.

Perkiraan besar sudut yang diberikan oleh peneliti memiliki kemungkinan untuk menyimpang dari besar nilai sudut sesungguhnya. Penyimpangan ini dapat memengaruhi pemberian skor karena skor yang diberikan untuk masing-masing area tubuh dalam metode REBA sangat bergantung terhadap seberapa besar sudut yang dihasilkan oleh postur tubuh. Arah dan sudut pandang pengamatan peneliti pun dapat mengubah perkiraan besar sudut tubuh yang dihasilkan.

Penggunaan foto dapat membantu meningkatkan akurasi penilaian postur tubuh. Dengan menggunakan foto, kita dapat mengukur sudut dengan menggambar garis-garis rangka tubuh pada foto. Dengan bantuan garis tersebut,

sudut yang dihasilkan oleh postur tubuh dapat diukur. Gambar 1.2 merupakan contoh foto dan penggambaran garis rangka tubuh pada metode REBA.



Gambar 1.2 Contoh Penggambaran Garis pada Foto Postur Tubuh Perawat
(Sumber: Hignett & McAtamney, 2000)

Garis-garis pada foto tersebut akan digunakan untuk mengukur sudut-sudut yang dihasilkan postur tubuh pada foto. Pengukuran sudut pada gambar tersebut dapat dilakukan secara manual menggunakan busur derajat atau menggunakan aplikasi seperti SolidWorks. Hasil dari sudut-sudut yang didapatkan tersebut akan dicocokkan dengan lembar kerja REBA. Penilaian pun dapat didapatkan dengan melakukan prosedur penilaian sesuai metode REBA.

Secara umum, penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA dapat dilakukan secara cukup mudah dengan atau pun tanpa bantuan foto. Meskipun penilaian dapat dilakukan dengan relatif mudah, penilaian postur tubuh metode REBA tidak luput dari kekurangan.

Kekurangan utama dari metode REBA adalah akurasi penilaian. Bahkan dengan bantuan foto, akurasi penilaian dari metode REBA sangat tergantung pada ketelitian peneliti dalam pengambilan foto dan penarikan garis. Berdasarkan panduan penilaian REBA dan contoh yang diberikan pada jurnal REBA (Gambar

l.2), foto yang diambil diharapkan dapat memperlihatkan sisi sagital dari masing-masing area tubuh yang akan dinilai. Foto yang tidak sagital akan mengubah sudut postur tubuh yang terlihat. Penarikan garis yang tidak representatif dengan keadaan rangka tubuh manusia sesungguhnya akan menghasilkan sudut yang berbeda. Oleh sebab itu, penilaian postur tubuh akan menjadi tidak akurat apabila peneliti tidak terlatih untuk melakukannya.

Penilaian postur dengan metode REBA tanpa bantuan alat lain dapat dilakukan dalam waktu 2 menit (McAtamney & Hignett, 2005). Sayangnya, penilaian dengan mata telanjang memberikan banyak ruang bagi penyimpangan untuk memengaruhi penilaian. Meskipun tidak diwajibkan, kebanyakan penelitian cenderung melakukan penilaian melalui analisis foto.

Apabila dilakukan dengan menganalisis foto, penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA memerlukan waktu yang relatif lama. Lamanya waktu penilaian ini disebabkan oleh banyaknya proses yang perlu dilakukan, yaitu dimulai dari mengambil foto postur tubuh pekerja, menggambar garis bantu pada foto pekerja, mengukur sudut-sudut tubuh yang dibuat oleh postur pekerja tersebut, lalu memberikan penilaian pada postur.

Selain proses yang bertambah, waktu yang diperlukan juga bertambah oleh kesulitan-kesulitan pada masing-masing proses. Contoh kesulitan yang sering dialami peneliti adalah pengambilan foto yang tidak sagital sehingga memaksa peneliti untuk mengambil ulang foto berkali-kali. Proses pengulangan pengambilan foto akan memperlama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penilaian REBA.

Hingga saat ini, belum ada teknologi yang dapat meningkatkan akurasi dan mempercepat proses penilaian postur tubuh pada metode REBA. Hal ini sungguh disayangkan mengingat teknologi saat ini sudah banyak berkembang dan memungkinkan untuk membantu meningkatkan akurasi penilaian postur tubuh.

Adanya masalah pada metode penilaian postur tubuh REBA secara umum dapat diatasi dengan menciptakan alat yang dapat mengambil penilaian postur tubuh secara objektif dan tidak tergantung pada kemampuan dan ketelitian peneliti. Oleh sebab itu, penelitian ini akan berfokus pada pengembangan alat pengukur postur tubuh otomatis.

I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Penilaian postur tubuh menggunakan metode *rapid entire body assessment* (REBA) umumnya dilakukan dengan cara menggambar garis-garis rangka tubuh pada foto postur tubuh yang diambil. Alat analisis foto cenderung lebih digunakan daripada analisis mata telanjang untuk mengurangi masalah akurasi. Garis-garis rangka tubuh digambar untuk membantu peneliti mendapatkan besar sudut tubuh yang dihasilkan dari suatu postur. Penggunaan foto sebagai alat analisis postur tubuh dapat dibilang masih kurang baik karena kesalahan-kesalahan kecil pada *input* data dapat menghasilkan analisis dan kesimpulan yang salah.

Pengambilan foto yang tidak sagital terhadap posisi masing-masing area tubuh akan mengakibatkan kesalahan pengukuran sudut. Metode penilaian postur tubuh REBA memerlukan *input* berupa foto sisi kiri atau kanan (sagital) dari postur tubuh yang ingin dinilai. Beberapa peneliti mungkin mengambil foto dengan kamera tangan tanpa alat bantu. Keadaan ini memungkinkan terjadinya kesalahan pengambilan gambar seperti bagian atas kamera terlalu condong ke bawah, bagian bawah kamera terlalu condong ke atas, posisi pengambilan foto terlalu ke kiri atau terlalu ke kanan, dan sebagainya. Kesalahan-kesalahan ini tentu akan berpengaruh kepada sudut yang dihasilkan foto postur tubuh.



Gambar I.3 Contoh Foto Postur Tubuh yang Tidak Sagital

Wawancara dilakukan terhadap empat orang peneliti yang pernah menggunakan metode REBA (dengan bantuan foto) untuk penilaian postur tubuh pada kasus pengangkatan galon, pengangkatan koper, pengangkatan bahan bangunan, dan penggunaan pengering rambut (*hair dryer*). Berdasarkan wawancara-wawancara tersebut, ditemukan masalah pada proses pengambilan foto karena tidak semua lingkungan kerja operator dapat mendukung pengambilan foto yang benar-benar sagital. Pada sistem kerja nyata, lingkungan kerja operator sering kali penuh dengan barang sehingga peneliti tidak dapat mengambil foto pada posisi sagital operator. Gambar I.3 merupakan salah satu contoh foto postur tubuh yang tidak sagital.

Contoh foto postur tubuh pada Gambar I.3 menunjukkan pengambilan gambar yang tidak sagital karena terhalang oleh suatu objek pada tempat pengamatan. Foto diambil terlalu atas dari tubuh operator yang difoto. Selain terlalu atas, posisi pengambilan foto juga terlalu depan apabila dibandingkan dengan posisi tubuh operator. Kesalahan posisi pengambilan foto ini akan berpengaruh kepada besar sudut postur tubuh yang dihasilkan foto. Akurasi dari penilaian postur tubuh menggunakan foto pada Gambar I.3 pun menjadi dipertanyakan.

Selain terhalang objek lain pada tempat pengamatan, peneliti sering kali mengandalkan insting dalam mengambil foto. Berdasarkan wawancara, beberapa peneliti merasa tidak yakin apakah kamera yang digunakan untuk mengambil gambar sudah lurus atau belum. Hal ini disebabkan keterbatasan sumber daya peneliti sehingga tidak memiliki alat bantu untuk memastikan posisi kamera sudah lurus atau belum. Beberapa peneliti juga menggunakan kamera pada ponsel untuk mengambil foto postur tubuh operator. Kebanyakan peneliti pun berakhir mengandalkan insting untuk meluruskan posisi kamera yang digunakan. Gambar I.3 juga merupakan contoh foto yang diambil menggunakan insting peneliti.

Contoh Gambar I.3 menunjukkan pengambilan foto yang tidak lurus. Apabila diperhatikan dengan seksama, kamera yang mengambil foto pada Gambar I.3 cenderung miring ke bawah. Selain itu, kamera peneliti juga cenderung miring ke arah kiri. Contoh Gambar I.4b juga menunjukkan pengambilan foto postur tubuh operator yang tidak lurus. Peneliti yang mengambil foto Gambar I.4(b) berada terlalu belakang dari operator sehingga menyebabkan kecenderungan

kamera miring ke arah kanan. Kemampuan peneliti dalam mengambil gambar dengan lurus dapat memengaruhi hasil penilaian REBA yang dilakukan.

Selain masalah kemampuan peneliti dalam mengambil foto postur tubuh, hasil wawancara menunjukkan adanya kesulitan penentuan sisi sagital tubuh operator pada beberapa postur tertentu. Sebagai contoh, sisi samping dari postur tubuh seseorang ketika sedang menggunakan pengering rambut sering kali sulit ditentukan. Rambut yang menutupi sebagian besar leher dan kepala pun membuat peneliti merasa kesulitan untuk menggambar garis bantu pada foto postur tubuh yang telah diambil. Posisi tubuh pekerja yang tidak selalu menghadap ke depan akan mempersulit penentuan posisi sagital tubuh pekerja. Sebagai contoh, postur tubuh perawat pada Gambar I.1 sulit ditentukan sisi sagitalnya.



Gambar I.4 Perbandingan Perhitungan Sudut Grup A (a) Foto Sagital dan (b) Foto Tidak Sagital

Perbandingan hasil perhitungan sudut pada foto yang sagital dan foto tidak sagital dapat dilihat pada Gambar I.4. Gambar I.4(a) diambil tepat dari samping kanan operator sementara Gambar I.4(b) diambil dari belakang operator dengan posisi kamera yang menyamping (tidak lurus).

Postur tubuh yang sama dapat menghasilkan perbedaan penarikan sudut apabila pengambilan foto tidak dilakukan dengan benar. Pada Gambar I.4(a), dapat dilihat bahwa tubuh operator cenderung condong ke belakang dengan posisi kaki yang lurus. Dengan pengambilan foto yang buruk pada Gambar I.4(b), posisi tubuh operator justru terlihat lurus dengan kaki yang condong ke depan. Sudut tulang leher pun menjadi terdistorsi dan terlihat lebih menunduk daripada sesungguhnya.



Gambar I.5 Perbandingan Perhitungan Sudut Grup B (a) Foto Sagital dan (b) Foto Tidak Sagital

Pada bagian-bagian tubuh grup B (lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan), sudut-sudut yang dihasilkan oleh lengan dan tangan terlihat terdistorsi. Foto yang diambil terlalu belakang dari tubuh operator menghasilkan sudut lengan atas yang lebih besar dari sesungguhnya, sementara sudut lengan bawah justru terlihat lebih kecil. Adanya perbedaan sudut ini dapat menghasilkan penilaian yang salah.

Gambar (a) dan (b) (dari Gambar 1.4 dan Gambar 1.5) menghasilkan penilaian skor REBA yang berbeda. Pada Gambar (a), posisi tubuh terlihat condong ke belakang sehingga diberi nilai +2, sementara posisi tubuh operator pada Gambar (b) terlihat lurus sehingga diberi nilai +1. Perbedaan penilaian ini berakhir menghasilkan skor REBA pada Gambar (a) sebesar 4 poin sementara Gambar (b) menghasilkan skor penilaian REBA sebesar 2.

Perbedaan skor ini menghasilkan kesimpulan yang salah. Gambar 1.4(a) dan Gambar 1.5(a) dengan skor 4 menyimpulkan bahwa postur tubuh operator memiliki risiko medium (*medium risk*) untuk mengalami kelainan muskuloskeletal. Pada sisi lain, Gambar 1.4(b) dan Gambar 1.5(b) justru menyimpulkan postur tubuh operator memiliki sedikit risiko (*low risk*) untuk mengalami kelainan muskuloskeletal. Posisi tubuh yang sesungguhnya tidak baik menjadi terlihat seakan-akan lebih baik dari kenyataannya. Distorsi pengambilan keputusan ini terjadi akibat kesalahan posisi pengambilan foto postur tubuh operator.

Selain kesalahan pengambilan foto, penggambaran garis pada foto pun dapat mengakibatkan kesalahan pengukuran sudut apabila penempatan garis tidak sesuai dengan rangka tubuh. Pergeseran titik awal penarikan garis dan titik akhir penarikan garis akan menghasilkan sudut yang berbeda. Garis yang digambar seharusnya dapat merepresentasikan posisi tulang dan rangka tubuh operator sementara peneliti tidak dapat melihat posisi tulang operator secara langsung pada foto. Beberapa peneliti yang diwawancarai mengungkapkan ketidakyakinan mereka terhadap penggambaran garis bantu yang dilakukan. Peneliti tidak dapat melihat posisi tulang pekerja secara pasti melalui foto yang diambil. Pakaian dan rambut operator pun sering kali menutupi posisi tulang sehingga peneliti tidak dapat menentukan sudutnya secara pasti. Hal ini menimbulkan ketidakakuratan penggambaran garis bantu.

Penggambaran garis bantu dilakukan untuk mempermudah perhitungan sudut pada postur tubuh. Garis bantu yang digambar pada foto tersebut harus

dapat dimengerti oleh semua orang. Berdasarkan hasil wawancara dengan peneliti yang menilai postur pengangkatan bahan bangunan, peneliti sering kali menemukan kesulitan dalam menggambar garis bantu yang mudah dimengerti oleh semua orang.

Penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA juga memiliki subjektivitas yang tinggi. Beberapa peneliti yang diwawancarai mengungkapkan adanya perbedaan pendapat antarpeneliti dalam menganalisis foto yang sama. Satu foto yang sama dapat memiliki beberapa hasil nilai REBA apabila dianalisis oleh beberapa peneliti yang berbeda. Perbedaan ini sering kali disebabkan oleh penggambaran garis bantu yang berbeda satu sama lain. Pemberian penilaian terhadap pegangan benda (*coupling*) pun sering kali sangat subjektif dan dapat berbeda antar peneliti.

Dengan kata lain, sangat sulit untuk menentukan sudut aktual postur tubuh manusia apabila hanya bergantung pada analisis foto postur tubuh. Penilaian tingkat risiko postur tubuh menggunakan metode REBA menjadi tidak akurat karena sulitnya menentukan sudut aktual yang dihasilkan postur tubuh operator.

Selain itu, penilaian postur tubuh hanya bisa dilakukan pada satu waktu dan satu postur statis tertentu. Operator tentu melakukan pergerakan selama bekerja dan meskipun postur tubuh yang dihasilkan serupa, sudut yang dihasilkan dari tubuh operator akan berbeda dari satu waktu ke waktu yang lain. Perbedaan pengambilan foto satu detik pun dapat menghasilkan perbedaan postur yang signifikan. Penggunaan foto postur tubuh sebagai alat bantu analisis tidak memungkinkan peneliti untuk melakukan penilaian pada setiap perubahan postur tubuh operator yang terjadi.

Selain masalah akurasi dan kelengkapan penilaian postur tubuh, metode penilaian postur tubuh menggunakan alat bantu foto memerlukan waktu yang relatif lama. Peneliti perlu mengambil foto postur tubuh operator yang akan dinilai. Pengambilan foto ini seringkali memakan waktu cukup lama karena masalah-masalah teknis seperti tidak sagital, tidak lurus, blur, dan sebagainya. Peneliti kerap mengambil foto postur tubuh yang sama berulang kali karena masalah-masalah di atas. Apabila peneliti akan menganalisis beberapa postur tubuh, foto yang diambil akan semakin banyak dan memerlukan waktu yang semakin lama.

Apabila melihat panduan pemberian skor REBA, setiap area tubuh dinilai secara terpisah dan dianalisis dari sisi sagital masing-masing area tubuh. Pada postur-postur tubuh tertentu, penggunaan satu foto untuk penilaian setiap area tubuh dirasa kurang representatif. Setiap area tubuh dapat difoto dan dianalisis secara terpisah untuk satu postur tubuh yang sama. Hal ini tentu akan menambah waktu yang diperlukan untuk mengambil foto masing-masing area tubuh.

Setelah foto postur tubuh didapatkan, peneliti perlu menarik garis bantu untuk merepresentasikan posisi rangka tubuh operator. Penarikan garis memerlukan beberapa waktu karena peneliti perlu benar-benar memerhatikan postur tubuh operator dan hasilnya pun belum tentu akurat. Pengukuran sudut dilakukan setelah garis bantu digambar pada foto. Setelah itu, penilaian skor REBA baru dapat dilakukan. Berdasarkan uraian tersebut terdapat empat proses yang perlu dilakukan dalam penilaian skor REBA. Beberapa proses memerlukan waktu yang sering kali relatif lama.

Hingga saat ini, beberapa aplikasi telah dikembangkan untuk membantu proses analisis postur dengan metode REBA. ErgoPlus, ErgoIntelligence, dan ErgoFellow 3.0 merupakan contoh aplikasi berbayar yang dapat digunakan untuk melakukan analisis postur metode REBA. Ketiga aplikasi ini dapat mengotomatisasi proses perhitungan skor REBA sesuai dengan panduan REBA. Gambar 1.6 Merupakan contoh tampilan aplikasi ErgoPlus untuk analisis postur metode REBA.



Gambar 1.6 Contoh Tampilan Aplikasi ErgoPlus
(Sumber: <https://ergo-plus.com/reba-software/>)

Ketiga aplikasi tersebut memiliki cara penggunaan yang mirip antar satu dengan lainnya. Aplikasi akan meminta pengguna untuk memilih posisi postur

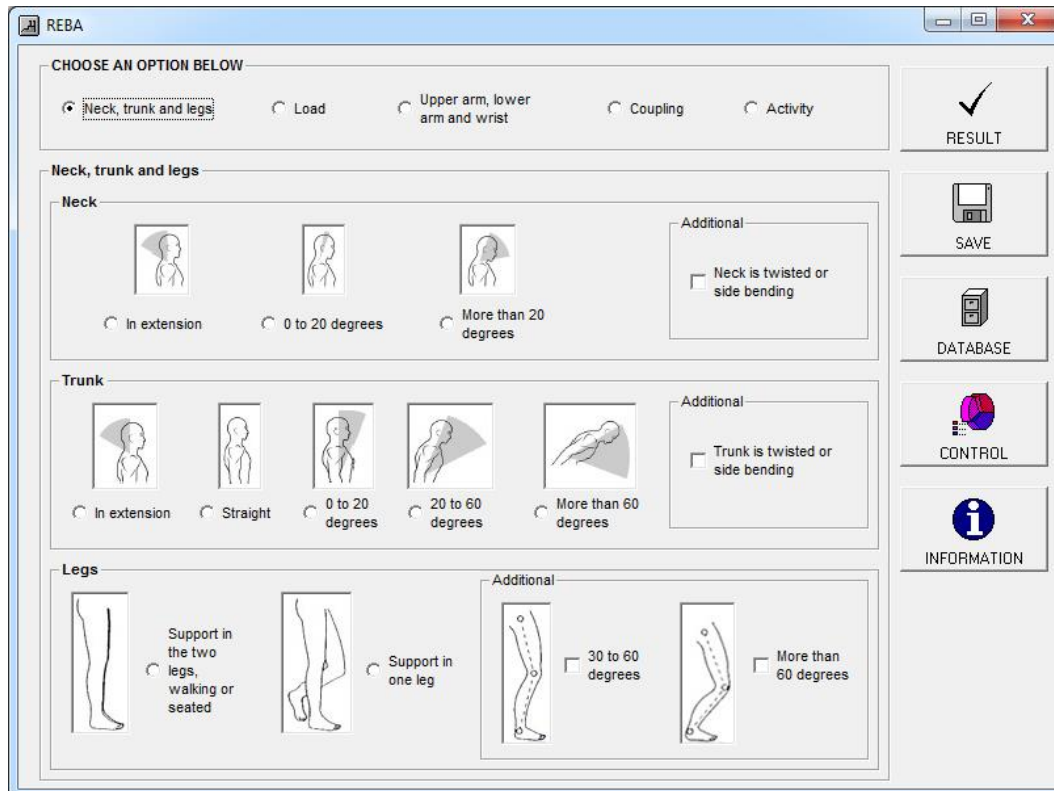
tubuh operator yang diamati dari pilihan yang ada. Pilihan yang diberikan oleh ketiga aplikasi tersebut disesuaikan dengan panduan REBA. Pengguna akan diminta untuk memasukkan semua *input* yang dibutuhkan untuk analisis postur metode REBA, seperti posisi (sudut) postur tubuh teramati, *load score*, *coupling score*, *activity score*, dan penyesuaian-penyesuaian lainnya. Apabila seluruh *input* telah dimasukkan, aplikasi akan mengolah *input-input* tersebut menjadi satu skor akhir REBA. Gambar 1.7 merupakan contoh tampilan aplikasi ErgoIntelligence untuk analisis postur metode REBA yang dikembangkan oleh NexGen Ergonomics.



Gambar 1.7 Contoh Tampilan Aplikasi ErgoIntelligence
(Sumber: <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/ergointeluea.html>)

Ketiga aplikasi tersebut dapat mempercepat proses penilaian postur tubuh dengan mengotomatiskan proses pencocokan postur tubuh operator dengan panduan REBA. Pengguna hanya perlu memasukkan *input* pada aplikasi dan aplikasi yang akan mencocokkan postur (berdasarkan *input*) dengan panduan hingga menghasilkan skor REBA untuk postur tersebut. Penggunaan aplikasi juga

dapat mengurangi potensi *human error* yang terjadi pada proses pencocokan postur dengan panduan REBA. Gambar 1.8 merupakan contoh tampilan aplikasi ErgoFellow 3.0 untuk analisis postur metode REBA.



Gambar 1.8 Contoh Tampilan Aplikasi ErgoFellow 3.0
(Sumber: <https://www.fbfsistemas.com/imageserg.html>)

Proses identifikasi masalah sejauh ini menunjukkan adanya kesulitan dari peneliti untuk mendapatkan *input* sudut postur tubuh yang akurat dan cepat. Meskipun ketiga aplikasi ini dapat mempermudah dan mempercepat proses penilaian postur tubuh, aplikasi-aplikasi ini tidak dapat membantu meningkatkan akurasi dari *input* yang dibutuhkan untuk penilaian REBA.

Pengguna aplikasi harus mendapatkan *input* berupa sudut postur tubuh operator terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke salah satu aplikasi untuk diproses menjadi skor akhir REBA. Pengguna aplikasi harus menentukan sudut postur tubuh operator melalui proses observasi manual atau analisis foto. Proses observasi manual dan analisis foto yang memiliki banyak potensi kesalahan tetap harus dilakukan secara mandiri oleh peneliti sehingga ketiga aplikasi tersebut tidak dapat membantu menyelesaikan permasalahan akurasi *input* data.

Penggunaan aplikasi hanya dapat memastikan bahwa skor akhir REBA yang dihasilkan akan sesuai dengan *input* yang dimasukkan, namun kesesuaian *input* dengan postur tubuh operator sesungguhnya tidak dapat dipastikan dengan aplikasi-aplikasi ini. Potensi terjadinya kesalahan pencocokan *input* postur tubuh dengan panduan REBA sesungguhnya lebih kecil untuk terjadi daripada potensi terjadi kesalahan pada pengambilan *input*-nya.

Berdasarkan masalah-masalah penilaian postur tubuh tersebut, diperlukan alat yang dapat mengukur postur tubuh manusia secara cepat dan akurat untuk mendapatkan *input* dan melakukan penilaian postur tubuh manusia menggunakan metode REBA. Banyaknya proses yang diperlukan hingga sampai pada tahap penilaian postur tubuh memberikan lebih banyak kemungkinan bagi peneliti untuk melakukan kesalahan yang menghasilkan ketidakakuratan penilaian. Proses pengambilan *input* yang bertahap-tahap juga memerlukan lebih banyak waktu untuk mendapatkan penilaian postur tubuh.

Berdasarkan hal-hal tersebut, didapatkan kebutuhan akan alat bantu pengukur postur tubuh yang dapat mengeliminasi proses pengambilan foto, penggambaran garis bantu, dan pengukuran sudut, namun bisa mendapatkan *input* dan menghasilkan penilaian postur yang akurat. Hingga saat ini, analisis postur tubuh menggunakan metode REBA masih dilakukan secara manual atau dengan menggunakan alat bantu foto postur tubuh pekerja.

Beberapa aplikasi telah dikembangkan untuk membantu proses penilaian postur tubuh metode REBA, namun aplikasi-aplikasi tersebut tetap memerlukan peneliti untuk memasukkan *input* sudut postur tubuh. Aplikasi-aplikasi yang ada saat ini belum dapat membantu penggunaannya untuk mendapatkan *input* sudut postur tubuh. Belum ada alat yang dapat digunakan untuk mengukur postur tubuh manusia secara otomatis tanpa analisis manual oleh peneliti.

Alat pengukur postur tubuh manusia dapat dirancang menggunakan sistem otomatis yang memungkinkan pengukuran tubuh dilakukan secara langsung oleh alat tersebut. Perancangan alat pengukur postur tubuh manusia secara otomatis pada penelitian ini akan dibuat menggunakan Arduino.

Dengan menggunakan perangkat Arduino, informasi mengenai postur tubuh yang diukur akan dikirimkan oleh sensor ke komputer. Dengan menggunakan algoritma yang akan dirancang, informasi dari sensor tersebut akan

diubah menjadi informasi mengenai sudut untuk penilaian postur tubuh. Penilaian pun dapat dilakukan setelah memiliki informasi sudut-sudut postur tubuh.

Penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA membagi tubuh manusia menjadi beberapa bagian seperti leher, tubuh, kaki, lengan, dan pergelangan tangan. Sensor-sensor pada alat pengukur postur tubuh perlu diletakkan pada bagian-bagian tubuh tersebut untuk dapat mengetahui dan mengukur posisi bagian-bagian tubuh pada postur tertentu.

Informasi yang didapatkan dari sensor mungkin tidak dapat secara langsung digunakan untuk melakukan penilaian REBA. Apabila diperhatikan, metode penilaian postur tubuh tersebut memerlukan informasi sudut sebagai bahan pertimbangan penilaian postur tubuh. Oleh sebab itu, informasi yang diterima oleh sensor nantinya perlu diproses terlebih dahulu menjadi informasi sudut postur tubuh.

Apabila informasi mengenai sudut postur tubuh sudah didapatkan, pemberian penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA dapat dilakukan. Pemberian penilaian dapat dilakukan dengan menggunakan *branching* pada *coding* di perangkat lunak Arduino. Sudut-sudut postur tubuh akan dinilai dan digabungkan sesuai dengan grup masing-masing. Setelah nilai postur tubuh didapatkan, pengambilan kesimpulan pun dapat diambil menggunakan metode *branching*. *Output* yang dihasilkan alat pengukur postur tubuh otomatis ini adalah nilai dari postur tubuh menggunakan metode REBA beserta kesimpulan dari postur tersebut.

Berdasarkan identifikasi dari masalah penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA yang telah dijelaskan, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini.

1. Bagaimana mekanisme kerja alat pengukur postur tubuh otomatis?
2. Bagaimana rancangan perangkat keras alat pengukur postur tubuh otomatis?
3. Bagaimana evaluasi alat pengukur postur tubuh otomatis berdasarkan tingkat akurasi pengukuran dan waktu yang dibutuhkan untuk mengukur postur tubuh?

I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian

Batasan masalah pada penelitian diberikan untuk membatasi ruang lingkup masalah sehingga tidak terlalu luas. Penelitian dapat lebih difokuskan kepada masalah utama yang ingin dipecahkan. Berikut merupakan batasan-batasan masalah dalam penelitian ini.

1. Perancangan alat hanya dilakukan hingga pembuatan *low-fidelity prototype*.
2. Prototipe yang dibuat merupakan *physical-focused prototype*.
3. Penelitian dilakukan hingga menghasilkan usulan perbaikan rancangan alat berdasarkan proses pembuatan dan hasil evaluasi alat pengukur postur tubuh otomatis yang dibuat.

Selain batasan masalah, terdapat beberapa asumsi yang digunakan pada penelitian ini untuk menyederhanakan penelitian. Berikut merupakan asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian ini.

1. Sensor yang ditempelkan pada tubuh operator mewakili posisi sendi gerak operator.
2. Tidak ada alat pengukur postur tubuh otomatis dengan menggunakan metode *rapid entire body assessment* berbasis Arduino lainnya yang dirancang dan dikembangkan selama proses penelitian berlangsung.
3. Prototipe yang dihasilkan dapat mewakili rancangan alat pengukur postur tubuh otomatis untuk dievaluasi.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan hasil akhir yang akan diperoleh setelah kegiatan penelitian berakhir. Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang mekanisme kerja alat pengukur postur tubuh otomatis.
2. Merancang perangkat keras dari alat pengukur postur tubuh otomatis.
3. Mengevaluasi alat pengukur postur tubuh otomatis berdasarkan tingkat akurasi pengukuran dan waktu yang dibutuhkan untuk mengukur postur tubuh.

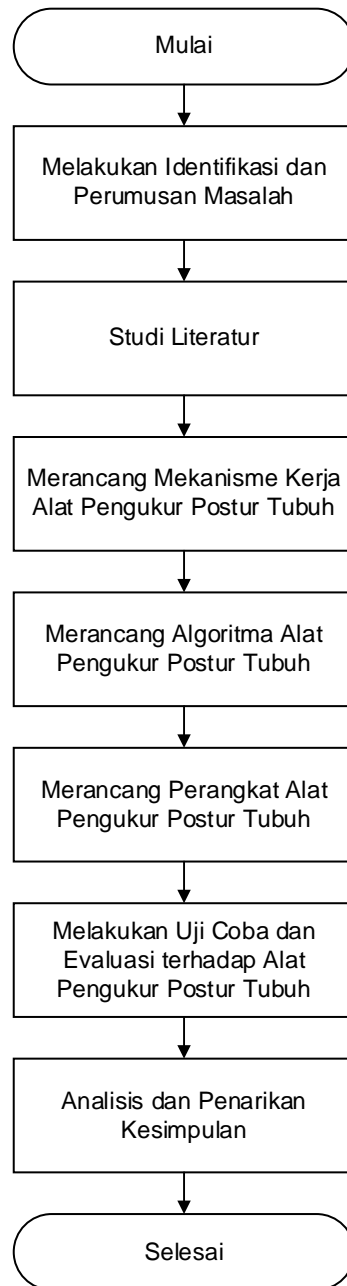
I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan tentunya diharapkan berguna bagi pemilik masalah, pembaca, maupun keilmuan. Penelitian yang dilakukan terhadap perancangan alat pengukur postur tubuh otomatis ini diharapkan membawa manfaat sebagai berikut.

1. Pemilik Masalah:
 - a. Memberikan hasil penilaian risiko muskuloskeletal berdasarkan metode REBA yang lebih akurat dan cepat.
 - b. Mempermudah manajemen dalam menganalisis postur tubuh pekerja tanpa memerlukan peneliti yang ahli dalam analisis REBA.
 - c. Dapat menggunakan hasil analisis postur sebagai dasar perubahan pada lingkungan pekerjaan.
2. Pembaca:
 - a. Mendapatkan pengetahuan mengenai penerapan teknologi otomasi dalam bidang ergonomi.
 - b. Mendapatkan referensi untuk pengembangan penelitian tahap selanjutnya dalam masalah serupa.
3. Perkembangan Keilmuan:
 - a. Mendapatkan referensi pengembangan teknologi otomasi untuk diterapkan pada bidang keilmuan.
 - b. Mendapatkan referensi untuk pengembangan penelitian tahap selanjutnya dalam masalah serupa.
 - c. Mendapatkan usulan untuk penelitian serupa di masa depan.

I.6 Metodologi Penelitian

Setiap penelitian membutuhkan metodologi atau langkah-langkah yang direncanakan untuk mencapai tujuan penelitian. Penelitian ini direncanakan memiliki metodologi yang dimulai dengan identifikasi dan perumusan masalah dan dilanjutkan dengan studi literatur. Perancangan alat pengukur postur tubuh kemudian dimulai dengan merancang mekanisme kerja alat pengukur postur tubuh, merancang algoritma alat pengukur postur tubuh, dan merancang perangkat keras alat pengukur postur tubuh.

Gambar I.9 *Flowchart* Metodologi Penelitian

Uji coba dan evaluasi terhadap alat pengukur postur tubuh yang dibuat akan dilakukan dan diakhiri oleh tahap analisis dan penarikan kesimpulan terhadap alat pengukur postur tubuh. Masing-masing tahap akan dijelaskan secara lebih rinci pada subbab ini. Gambar I.6 merupakan *flowchart* metodologi penelitian yang akan dilakukan.

1. Melakukan Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi dan perumusan masalah dilakukan dengan mengamati fenomena-fenomena yang terjadi pada proses penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA. Berdasarkan pengamatan, ditemukan adanya masalah akurasi hasil penilaian dan lamanya waktu proses untuk mendapatkan hasil penilaian postur tubuh. Masalah-masalah ini akan menjadi tolak ukur atau ukuran performansi dari alat yang akan dirancang.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari mekanisme penilaian postur tubuh menggunakan metode REBA secara lebih dalam. Peneliti juga perlu mempelajari teknologi-teknologi otomasi yang sudah ada saat ini untuk dapat dimanfaatkan pada alat yang akan dirancang.

3. Merancang Mekanisme Kerja Alat Pengukur Postur Tubuh

Penentuan sensor yang akan dipakai, bagaimana cara kerja sensor untuk mendapatkan *input* yang diperlukan, dan bagaimana cara mengubah *input* yang didapat menjadi sudut postur tubuh akan disusun pada tahapan ini. Bentuk atau rupa perangkat keras alat pengukur postur tubuh akan mulai terancang beriringan dengan mekanisme kerja alat.

4. Merancang Algoritma Alat Pengukur Postur Tubuh

Rancangan perubahan *input* yang didapat dari sensor menjadi *output* sudut postur tubuh akan dibuat menggunakan pseudocode dan bahasa pemrograman Arduino. Selain itu, algoritma perubahan *input* sudut postur tubuh operator menjadi nilai dan kesimpulan risiko postur tubuh operator akan dibuat pada tahap ini menggunakan pseudocode dan bahasa pemrograman Arduino.

5. Merancang Perangkat Keras Alat Pengukur Postur Tubuh

Bentuk fisik alat pengukur postur tubuh akan dibentuk pada tahap ini. Perangkat keras dari alat pengukur postur tubuh ini akan terdiri dari sensor-sensor, kabel penghubung, dan papan arduino. Rancangan alat pengukur postur tubuh tidak memiliki aktuator karena input yang didapat akan diproses secara langsung di komputer.

6. Melakukan Uji Coba dan Evaluasi terhadap Alat Pengukur Postur Tubuh

Prototipe alat pengukur postur tubuh yang telah dirancang digunakan untuk menilai postur tubuh. Uji coba dilakukan terhadap postur tubuh normal ketika berdiri tegak dan postur tubuh ekstrem. Pengambilan data dilakukan sebanyak lima replikasi untuk masing-masing postur tubuh.

Evaluasi dilakukan terhadap akurasi, reliabilitas, dan waktu yang dibutuhkan alat pengukur postur tubuh otomatis dalam pengukuran postur. Akurasi alat diuji dengan membandingkan sudut dan skor akhir REBA hasil perhitungan alat dengan sudut dan skor akhir REBA hasil penilaian menggunakan foto. Reliabilitas alat diuji dengan menilai konsistensi hasil pengukuran sudut pada postur yang sama. Uji reliabilitas *Cronbach's Alpha* digunakan dalam penelitian ini. Waktu pengukuran postur menggunakan alat pengukur postur tubuh otomatis juga akan dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan ketika pengukuran postur menggunakan foto.

7. Analisis dan Penarikan Kesimpulan

Alat pengukur postur tubuh yang dibuat akan dibandingkan dengan metode yang saat ini digunakan. Tingkat keberhasilan alat dinilai berdasarkan ukuran performansi yang ditetapkan, yaitu keakuratan penilaian postur tubuh dan waktu yang dibutuhkan untuk menilai postur tubuh (kecepatan pengukuran postur tubuh). Analisis terhadap rancangan alat pengukur postur tubuh yang telah dibuat juga akan dilakukan pada tahap ini. Berdasarkan proses dan analisis dari rancangan alat pengukur postur tubuh otomatis yang dibuat, kesimpulan dan saran dari penelitian ini akan dirumuskan di akhir penelitian.

I.7 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini dilakukan secara sistematis yang bertujuan untuk memudahkan pembaca memahami isi penelitian yang dilakukan. Penelitian ini disajikan dalam sistematika sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan membahas dasar dari penelitian yang dilakukan. Bab ini berisi latar belakang permasalahan, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah dan asumsi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan. Latar belakang permasalahan menjadi dasar dalam proses pengidentifikasian masalah. Identifikasi dan rumusan masalah yang dijabarkan merupakan fokus dari penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori dan literatur yang berhubungan dengan latar belakang dan proses pemecahan masalah terhadap kegiatan yang diteliti. Selain itu, bab ini juga berfungsi sebagai acuan dalam memecahkan masalah yang dihadapi. Referensi-referensi yang dipaparkan pada bab ini berisi tentang kelainan muskuloskeletal, *rapid entire body assessment*, dan Arduino.

BAB III PERANCANGAN ALAT PENGUKUR POSTUR TUBUH OTOMATIS

Bab ini berisi rancangan dari alat pengukur postur tubuh otomatis yang dibuat. Mekanisme kerja, perangkat keras, dan perangkat lunak dari rancangan alat pengukur postur tubuh otomatis dijelaskan pada bab ini. Selain itu, proses uji coba dan evaluasi terhadap akurasi, reliabilitas, dan waktu pengukuran alat pengukur postur tubuh otomatis juga dipaparkan pada bab ini. Usulan perbaikan berdasarkan hasil evaluasi juga diberikan pada bab ini.

BAB IV ANALISIS

Bab analisis berisi analisis terhadap proses dan hasil evaluasi rancangan alat pengukur postur tubuh otomatis yang telah dibuat. Analisis yang dimuat pada bab ini antara lainnya mengenai pemilihan komponen alat pengukur postur tubuh, hasil evaluasi rancangan alat pengukur postur tubuh, keterbatasan rancangan alat pengukur postur tubuh, dan kelebihan rancangan alat postur tubuh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari penelitian serta saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut. Kesimpulan penelitian menjawab rumusan masalah yang dibuat. Saran untuk penelitian selanjutnya berisi usulan hal-hal yang dapat ditingkatkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.