

**REKOMENDASI PERBAIKAN POSTUR KERJA KARYAWAN
UNTUK MEMINIMALISIR RESIKO CIDERA
DENGAN PENDEKATAN BIOMEKANIKA**
(Studi Kasus di CV Dwi Jasa Logam, Ceper, Klaten, Jawa Tengah)

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu (S-1)
dan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T.)**



Disusun Oleh:

**Arvandi Ari Pradiska
122140064**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**REKOMENDASI PERBAIKAN POSTUR KERJA KARYAWAN
UNTUK MEMINIMALISIR RESIKO CIDERA
DENGAN PENDEKATAN BIOMEKANIKA**

(Studi Kasus di CV Dwi Jasa Logam, Ceper, Klaten, Jawa Tengah)



Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Tri Wibawa. S.T., M.T.
NIK 2 7302 00 0228 1

Intan Berlianty. S.T, M.T
NIP 19761019 200501 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Dr. Sadi. S.T., M.T.
NIK 2 7130 98 0194 1

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Arvandi Ari Pradiska

NPM : 122140064

Jurusan: Teknik Industri FTI UPN "Veteran" Yogyakarta

menyatakan bahwa karya ilmiah saya dengan judul **Rekomendasi Perbaikan Postur Kerja Karyawan Untuk Meminimalisir Resiko Cidera Dengan Pendekatan Biomekanika** adalah hasil karya ilmiah saya dan bebas dari plagiarisme. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan secara pribadi tanpa melibatkan institusi dan menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, 2020

Yang menyatakan

Materai 6000

Arvandi Ari Pradiska
NPM 122140064

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat dan perlindungan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“REKOMENDASI PERBAIKAN POSTUR KERJA UNTUK MEMINIMALISIR RESIKO CIDERA DENGAN PENDEKATAN BIOMEKANIKA”**

”.

Laporan skripsi ini merupakan salah satu prasyarat yang harus dipenuhi oleh mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S-1) pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

Atas terselesainya laporan skripsi ini, perkenankan penulis menyapaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Tri Wibawa, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang senantiasa sabar dalam memberikan bimbingan, petunjuk dan saran serta waktunya dalam masa perkuliahan dan pembuatan laporan skripsi.
2. Ibu Intan Berlianty, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan nasehat, bimbingan, dan saran serta waktunya dalam pembuatan laporan skripsi.
3. Bapak Dr. Sadi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
4. Bapak Eko Warno selaku pemilik CV Dwi Jasa Logam yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian dan telah meluangkan waktu untuk menemani saat penulis melakukan penelitian.
5. Seluruh karyawan CV Dwi Jasa Logam yang telah membantu saya dalam memberikan informasi mengenai penelitian yang saya lakukan selama ini.
6. Orang tua dan keluarga yang selalu mendukung, memberikan kasih sayang serta memberi semangat tanpa henti.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional khususnya angkatan 2014 yang telah banyak membantu.

8. Terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan skripsi ini.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan skripsi ini. Oleh karena itu mengharapkan saran dan kritikan untuk kesempurnaan laporan ini dan guna perbaikan dimasa mendatang. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	I-3
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	I-3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Ergonomi.....	II-1
2.2 Tujuan dan Pendekatan Ergonomi.....	II-3
2.3 Resiko Kesalahan Ergonomi.....	II-5
2.4 Postur dan Pergerakan Kerja.....	II-5
2.5 <i>Fatigue</i>	II-7
2.6 <i>Manual Material Handling</i> (MMH)	II-8
2.7 Resiko Kecelakaan Kerja Pada <i>Manual Material Handling</i>	II-11
2.8 Batas Beban Yang Boleh Diangkat	II-18
2.9 Biomekanika Kerja.....	II-20
2.10 Otot.....	II-21
2.11 Keluhan Oto Rangka	II-21
2.12 Metode <i>Recommended Weigh Limit</i> dan <i>Lifting Indeks</i>	II-26
2.13 <i>Nordic Body Map</i> (NBM).....	II-32
2.14 Penelitian Terdahulu	II-34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Objek Penelitian.....	III-1
3.2 Pengumpulan Data.....	III-1
3.3 Kerangka Penelitian.....	III-2
3.4 Pengolahan Data.....	III-4
3.5 Analisis Hasil.....	III-5
3.6 Kesimpulan dan Saran.	III-6

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data Kuesioner.....	IV- 1
4.2 Pengolahan Data.....	IV- 3
4.2.1 Pengukuran Dimensi Pekerja.....	IV- 3
4.2.2 Perhitungan Gaya Kompresi Sendi L5/S1.....	IV- 5
4.2.3 Pengukuran Jarak L5/S1.....	IV- 7
4.2.4 Perhitungan Momen Gaya pada Sendi L5/S1.....	IV- 9
4.2.5 Perhitungan RWL dan LI.....	IV- 10
4.2.6 Menentukan Usulan Fasilitas Kerja.....	IV- 15
4.2.7 Pengukuran Dimensi Pekerja Sesudah Usulan Perbaikan...	IV- 16
4.2.8 Perhitungan Gaya Kompresi pada Sendi L5/S1 Sesudah Usulan Perbaikan.....	IV- 17
4.2.9 Pengukuran Jarak L5/S1 Pekerja Sesudah Usulan Perbaikan.....	IV- 19
4.2.10 Perhitungan RWL dan LI Sesudah Usulan Perbaikan.....	IV- 22
4.3 Alalisis Hasil.....	IV- 27

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	V- 1
5.2 Saran.....	V- 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Resiko Kesalahan Ergonomi.....	II-5
Tabel 2.2 <i>Body Segment weight</i>	II-18
Tabel 2.3 Batasan Angkat Untuk Orang Indonesia.....	II-19
Tabel 2.4 Tindakan yang Harus Dilakukan Sesuai Batas Angkat.....	II-19
Tabel 2.5 Tindakan yang Harus Dilakukan Sesuai Batas Angkat Level.....	II-20
Tabel 2.6 Batasan Angkat Menurut NIOSH.....	II-27
Tabel 2.7 Formulasi RWL.....	II-27
Tabel 2.8 Faktor Pengali <i>Coupling</i>	II-30
Tabel 2.9 Faktor Pengali Frekuensi.....	II-31
Tabel 4.1 Data Diri Kuesioner Responden.....	IV- 1
Tabel 4.2 Rekapitulasi Kuesioner NBM.....	IV- 2
Tabel 4.3 Data Pengukuran Biomekanika.....	IV -5
Tabel 4.4 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Gaya Kompresi L5/S1.....	IV- 5
Tabel 4.5 Hasil Rekapitulasi Titik Segmen Tubuh dan L5/S1 ke Pusat.....	IV- 8
Tabel 4.6 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Momen Gaya Sendi L5/S1.....	IV- 9
Tabel 4.7 Data Pengukuran RWL dan LI Berdasarkan <i>Layout</i>	IV- 11
Tabel 4.8 Rekapitulasi Data Perhitugan RWL dan LI.....	IV- 11
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan RWL dan LI.....	IV- 13
Tabel 4.10 Data Pengukuran Biomekanika Sesudah Usulan Perbaikan.....	IV- 17
Tabel 4.11 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Gaya Kompresi L5/S1 Setelah Usulan Perbaikan.....	IV-17
Tabel 4.12 Hasil Rekapitulasi Titik Segmen Tubuh dan L5/S1 ke Pusat Setelah Usulan Perbaikan.....	IV- 20
Tabel 4.13 Data Pengukuran RWL dan LI Berdasarkan <i>Layout</i> Setelah Usulan Perbaikan.....	IV- 22
Tabel 4.14 Rekapitulasi Data Perhitugan RWL dan LI Setelah Usulan Perbaikan.....	IV-22
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan RWL dan LI Setelah Usulan Perbaikan.....	IV-24
Tabel 4.16 Hasil Rekapitulasi Data Perhitungan Usulan Alternatif LI menggunakan FM dari durasi Pengangkatan.....	IV- 27
Tabel 2.3 <i>Body Segment weight</i>	II-20

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Flexion</i> dan <i>extention</i>	II- 6
Gambar 2.2 <i>Abduction</i> dan <i>Adduction</i>	II- 6
Gambar 2.3 Posisi <i>Rotation</i>	II- 7
Gambar 2.4 Posisi Pada Lengan.....	II- 7
Gambar 2.5 Kegiatan Mengangkat dan Menurunkan.....	II- 9
Gambar 2.6 Kegiatan Mendorong dan Menarik.....	II- 9
Gambar 2.7 Kegiatan Memutar.....	II- 10
Gambar 2.8 Kegiatan Membawa.....	II- 10
Gambar 2.9 Kegiatan Menahan.....	II- 10
Gambar 2.10 Kondisi <i>Interverbal Disk</i> Bagian Lumbar Pada Saat Duduk..	II- 13
Gambar 2.11 Mekanisme Rasa Nyeri Pada Saat Membungkuk.....	II- 14
Gambar 2.12 Pengaruh Sikap kerja Pengangkatan yang Salah.....	II- 15
Gambar 2.13 Tulang L5/S1 dan <i>Heria Disk</i>	II- 15
Gambar 2.14 Jarak Antara L5/S1 Dengan Titik.....	II- 16
Gambar 2.15 Perbedaan Gaya Terhadap L5/S1 Pada Postur Berbeda.....	II- 17
Gambar 2.16 Posisi Pengangkatan.....	II- 28
Gambar 2.17 Antropometri Tubuh Manusia yang Diukur Dimensinya.....	II- 29
Gambar 2.18 <i>Nordic Body map</i>	II- 33
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	III- 1
Gambar 3.2 Hubungan Antar Variabel Penelitian.....	III- 5
Gambar 4.1 Persentase Keluhan Pekerja.....	IV- 2
Gambar 4.2 Pengukuran Dimensi Pekerja 1 Dalam Pengangkatan.....	IV- 3
Gambar 4.3 Pengukuran Dimensi Pekerja 1 Dalam Peletakan.....	IV- 4
Gambar 4.4 Pengukuran L5/S1 Pekerja 1 Dalam Pengangkatan.....	IV- 7
Gambar 4.5 Pengukuran L5/S1 Pekerja 1 Dalam Peletakan.....	IV- 7
Gambar 4.6 <i>Layout</i> Stasiun Pengecoran.....	IV- 10
Gambar 4.7 Usulan Fasilitas Kerja <i>Forklift</i>	IV- 15
Gambar 4.8 Usulan Fasilitas Kerja <i>Pallet</i>	IV- 15
Gambar 4.9 Pengukuran Dimensi Pekerja 1 Setelah Usulan Dalam Pengangkatan.....	IV- 16
Gambar 4.10 Pengukuran Dimensi Pekerja 1 Setelah Usulan Dalam Peletakan.....	IV- 16
Gambar 4.11 Pengukuran L5/S1 Pekerja 1 Setelah Usulan Dalam Pengangkatan	IV- 19
Gambar 4.12 Pengukuran L5/S1 Pekerja 1 Setelah Usulan Dalam Pengangkatan	IV- 20
Gambar 4.13 <i>Layout</i> Stasiun Pengecoran Setelah Perbaikan.....	IV- 21

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**REKOMENDASI PERBAIKAN POSTUR KERJA KARYAWAN
UNTUK MEMINIMALISIR RESIKO CIDERA
DENGAN PENDEKATAN BIOMEKANIKA
(Studi Kasus di CV Dwi Jasa Logam, Ceper, Klaten, Jawa Tengah)**

Oleh:

**Arvandi Ari Pradiska
122140064**

Telah disetujui dan disahkan
pada tanggal:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Tri Wibawa, S.T., M.T.
NIK 273020002281**

**Intan Berliantv, S.T, M.T.
NIP 197610192005012001**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknik Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta**



**Dr. Sadi, S.T., M.T.
NIK 271039801941**

ABSTRAK

CV Dwi Jasa Logam merupakan perusahaan yang bergerak di sektor industri pengecoran logam. Produk yang dihasilkan berupa *part* yang diperlukan dalam proses perakitan sebuah mesin molen. Proses produksi terdiri dari peleburan, pengecoran, *shotblasting*, *machining*, dan *finishing*.. Pada stasiun kerja pengecoran terdapat operator yang merasakan keluhan *musculoskeletal* berupa sakit pada bahu kiri dan kanan, lengan atas dan bawah, dan punggung belakang, aktifitas yang dilakukan operator tersebut adalah pengangkatan *pulley* dari stasiun kerja pengecoran ke stasiun kerja permesinan dengan keluhan rasa sakit terbesar yang dialami pekerja yaitu, sakit pada punggung 72%, lengan atas kiri dan kanan 80%, sakit pada pinggang 92%, sakit pada lengan bawah kiri dan kanan 72%, sakit pada leher bagian atas 52%, sakit bahu kiri dan kanan 52% dan kaki kiri dan kanan 52% dari 25 orang pekerja. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan memperbaiki postur kerjanya. analisis untuk mengetahui pebedaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk merekomendasi perbaikan postur kerja pada lantai produksi untuk meminimalisir resiko cedera pekerja. Tindakan perbaikan yang dilakukan adalah merancang usulan fasilitas kerja yaitu berupa ladel *forklift* yang dapat disesuaikan dengan pekerja yang dapat memudahkan pekerja dalam proses pengangkatan *pulley*.

Perhitungan menggunakan *Recommeded Weigh Limit* (RWL) dan *Lifting Indeks* (LI), didapatkan 2693,9 N atau kurang dari 6500 N yang berarti aktifitas dengan kategori aman dan minimum resiko cedera tulang belakang. Usulan fasilitas kerja yang telah dibuat dapat meringankan pekerja untuk membantu memperbaiki postur kerjanya dalam melakukan aktivitas kerja, sehingga dapat meminimalisasi resiko cedera.

Kata kunci: Postur Kerja, RWL, LI

ABSTRACT

CV Dwi Jasa Logam is a company engaged in the metal casting industry sector. The resulting product is in the form of parts needed in the assembly process of a mixing machine. The production process consists of melting, casting, shotblasting, machining, and finishing. At the foundry work station there are operators who feel musculoskeletal complaints in the form of pain in the left and right shoulders, upper and lower arms, and back. pulley from casting work stations to machinery work stations with the greatest pain complaints experienced by workers, namely, back pain 72%, left and right upper arms 80%, back pain 92%, pain in the left and right forearms 72%, pain 52% of the upper neck, left and right shoulder pain 52% and left and right leg 52% of the 25 workers. One of the efforts that can be done to overcome this problem is to improve his work posture. analysis to find out the difference.

This study aims to recommend improving work posture on the production floor to minimize the risk of injury to workers. The corrective action taken is to design a proposed work facility in the form of a forklift ladle that can be adapted to workers which can facilitate workers in the pulley lifting process.

Calculations using the Recommended Weigh Limit (RWL) and Lifting Index (LI), obtained 2693.9 N or less than 6500 N, which means that the activity is safe and has a minimum risk of spinal injury. The proposed work facilities that have been made can make it easier for workers to help improve their work posture in carrying out work activities, so as to minimize the risk of injury

Keywords: Work Posture, RWL, LI

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada negara berkembang seperti Indonesia banyak sekali dijumpai perusahaan - perusahaan yang masih menggunakan tenaga manusia dalam pemindahan material, walaupun beberapa industri modern telah banyak menggunakan mesin sebagai alat bantu dalam pemindahan material, namun aktivitas pemindahan material secara manual (MMH) masih sangat diperlukan karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan menggunakan alat yaitu bahwa pemindahan material secara manual bisa dilakukan dalam ruang terbatas dan dimana dalam melakukan aktivitas pekerja sangat mengandalkan fisik manusia untuk mengangkat barang, tetapi pemindahan bahan secara manual (MMH) apabila dilakukan secara tidak ergonomis akan menimbulkan cedera atau kecelakaan kerja.

CV Dwi Jasa Logam merupakan salah satu industri yang bergerak dalam pengecoran logam yang berlokasi di Ceper, Kabupaten Klaten. Produk yang dihasilkan berupa *part* yang diperlukan dalam proses perakitan sebuah mesin molen. Proses produksi terdiri dari peleburan, pengecoran, *shotblasting*, *machining*, dan *finishing*. Dalam pemindahan material CV Dwi Jasa Logam masih sepenuhnya menggunakan tenaga manusia, mulai dari pemindahan material peleburan, proses pengecoran, dan pemindahan produk ke setiap stasiun kerja.

Berdasarkan pengamatan langsung dengan melakukan wawancara terhadap pekerja pada stasiun kerja pengecoran CV Dwi Jasa Logam, terdapat 2 operator yang merasakan keluhan *musculoskeletal* berupa sakit pada bahu kiri dan kanan, lengan atas dan bawah, dan punggung belakang, aktifitas yang dilakukan 2 operator tersebut adalah pengangkatan *pulley* dari stasiun kerja pengecoran ke stasiun kerja permesinan dengan pengangkatan material pada posisi tumpukan material sejajar dengan lutut operator sehingga pengangkatan *pulley* molen

dilakukan dengan posisi membungkuk dengan berat beban material 18Kg. Hal ini memunculkan permasalahan terkait postur kerja yang dapat menimbulkan resiko cedera pada operator.

Berdasarkan permasalahan tersebut untuk mengetahui kondisi yang aktual, peneliti melakukan penyebaran kuesioner *Nordic Body Map* pada CV Dwi Jasa Logam. Berdasarkan hasil kuesioner, maka dapat diketahui keluhan terbesar yang dirasakan oleh pekerja yaitu, sakit pada punggung 72 %, lengan atas kiri dan kanan 80%, sakit pada pinggang 92%, sakit pada lengan bawah kiri dan kanan 72%, sakit pada leher bagian atas 52%, sakit pada bahu kiri dan kanan 52%, sakit pada kaki kiri dan kanan 52% dari 25 orang pekerja. Pada stasiun kerja pengecoran postur tubuh pekerja cenderung mengabaikan prinsip-prinsip kerja ergonomis yaitu pekerja membungkuk pada saat mengangkat *pulley* ke stasiun kerja pengecoran yang beratnya 18 kg.. Pekerja tidak didukung oleh fasilitas kerja yang ergonomis, kondisi tersebut mengakibatkan pekerja mengalami kelelahan dan keluhan pada sistem *musculoskeletal*.

Berdasarkan latar belakang yang dihadapi, pada penelitian ini dimaksudkan untuk meneliti postur kerja pada stasiun kerja pengecoran logam menggunakan metode *Recommended Weigh Limit* (RWL) dan *Lifting Indeks* (LI) untuk mengetahui terjadinya peregangan otot yang berlebihan, kemudian untuk mengurangi resiko cedera tersebut akan dibuatkan usulan alat bantu kerja. Usulan alat tersebut nantinya dapat menjadi evaluasi CV. Dwi Jasa Logam untuk mempermudah pekerja sehingga dapat menciptakan kondisi kerja yang lebih baik dan meminimalisasi resiko cedera.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang yang ada maka perumusan masalahnya adalah bagaimana rekomendasi perbaikan postur kerja dalam aktivitas *manual material handling* menggunakan pendekatan biomekanika untuk meminimalisasi resiko cedera otot dengan metode *Recommended weight limit* (RWL)?

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Untuk memfokuskan penelitian yang dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan diatas maka diperlukan batasan masalah dan asumsi. Adapun batasan masalah dalam permasalahan ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada rantai produksi CV Dwi Jasa Logam.
2. Penelitian difokuskan pada postur kerja karyawan dalam aktivitas *manual material handling*.
3. Pengambilan data dilakukan dengan cara pengambilan foto karyawan saat melakukan aktivitas kerja.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Karyawan yang ada di unit produksi CV Dwi Jasa Logam bekerja secara normal seperti biasa.
2. Proses produksi tidak mengalami perubahan dan berjalan seperti biasanya selama pengamatan berlangsung.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu rekomendasi perbaikan postur kerja pada rantai produksi untuk meminimalisir resiko cedera otot.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

Sebagai usulan dan pertimbangan bagi CV Dwi Jasa Logam untuk mewujudkan sistem kerja yang lebih baik dan aman bagi kesehatan dan keselamatan karyawan, khususnya dalam hal penanganan material secara manual.

1.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini akan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan pada CV Dwi Jasa Logam, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan asumsi yang digunakan, serta sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka yang menjelaskan referensi pendukung yang berhubungan dengan topik penelitian yang dijadikan acuan untuk analisis permasalahan yang akan diteliti.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai objek penelitian, sistem *existing* perusahaan dalam bentuk diagram *causal loop*, data yang dibutuhkan dan metode pengumpulan data, langkah-langkah penelitian, dan kerangka pemikiran.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS HASIL

Bab ini berisi tentang data yang diperoleh selama penelitian dan digunakan dalam pengolahan data yang diukur secara langsung dan melakukan wawancara. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data dengan sistematis yang didasarkan oleh teori-teori yang bersangkutan dan dicantumkan analisis yang dilakukan terhadap hasil yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil analisis penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran bagi peneliti selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Ergonomi

Ergonomi merupakan suatu disiplin ilmu yang mengkaji tentang keterbatasan, kelebihan, serta karakteristik manusia, dan memanfaatkan informasi tersebut dalam merancang produk, lingkungan, mesin dan sistem kerja dengan sasarannya yaitu kualitas kerja yang terbaik tanpa mengabaikan aspek kesehatan, keselamatan, serta kenyamanan manusia penggunaannya (Iridiastadi dkk., 2014). Tujuan dari penerapan ergonomi yaitu dapat dibuat dalam suatu hierarki (Kroemer dkk., 2004), dengan tujuan yang paling rendah yaitu sistem kerja yang dapat diterima (*tolarable*) dalam batasan tertentu, asalkan sistem kerja tersebut tidak memiliki potensi yang berbahaya bagi kesehatan dan nyawa manusia. Selanjutnya tujuan yang lebih tinggi adalah suatu keadaan ketika pekerja dapat menerima kondisi kerja yang ada (*acceptable*), dengan mengingat keterbatasannya. Pada tingkat yang lebih tinggi lagi ergonomi bertujuan untuk menciptakan kondisi kerja yang optimal, dimana bebas dan karakteristik pekerjaan telah sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan individu pengguna sistem kerja. Menurut Iridiastadi dkk., (2014) ada beberapa sub-disiplin ergonomi yaitu, sebagai berikut :

1. Antropometri yaitu Bidang yang mengkaji dimensi fisik tubuh manusia, termasuk usia, tinggi berdiri, bobot panjang jangkauan lengan, tinggi duduk, dan lain sebagainya. Data antropometri banyak dimanfaatkan dalam perancangan produk, peralatan, serta tempat kerja.
2. Biomekanika kerja yaitu bidang yang memfokuskan pada proses mekanika (gaya, momen, kecepatan, percepatan, serta tekanan) yang terjadi pada tubuh manusia, terkait dengan aktivitas fisik yang dilakukan pekerja. Contoh penerapan biomekanika adalah dalam penentuan bobot beban maksimal yang boleh diangkat oleh seseorang, dengan meminimalkan risiko cedera pada tulang belakang, atau dalam memahami bagaimana proses terpeleset/terjatuh dapat terjadi.

3. Fisiologi kerja yaitu bidang yang mengkaji respons fungsi-fungsi tubuh (misalnya sistem kardiovaskular), yang terjadi ketika sedang bekerja. Aplikasinya dapat berupa penentuan besar beban kerja (energi yang dikeluarkan) bila dibandingkan dengan kemampuan metabolik pekerja (misalnya kapasitas aerobik maksimal), serta penentuan jadwal kerja istirahat optimal yang meminimalkan stress dan kelelahan.
4. *Human information processing* yaitu bidang ergonomi yang mempelajari bagaimana manusia merangsang informasi dari lingkungannya, dimulai dari tahap mengindra adanya stimulus dan mempresepsikannya, sampai dengan mengambil keputusan dan melakukan tindakan yang diperlukan. Bidang ini mempelajari proses persepsi, mengingat, pemberian perhatian, serta pengambilan keputusan. Bidang ini sangat bermanfaat, sebagai contoh, dalam memahami bagaimana seorang operator mengartikan data yang diberikan oleh suatu display, dalam menentukan moda yang terbaik (lisan, tulisan, atau berupa gambar), dalam menyampaikan informasi kritis kepada pengguna, atau dalam menentukan besarnya beban mental seorang operator.
5. *Human-computer interaction* (HCI) yaitu bidang ergonomi yang mengkaji tentang pengguna dan sistem komputer, dengan salah satu tujuannya Antara lain meminimalkan kesalahan, meningkatkan kinerja sistem operasi, serta meningkatkan kepuasan pengguna. Dalam penerapannya, pada bidang ini dikaji rancangan perangkat keras maupun lunak seperti apa yang sesuai dengan karakteristik (psikologis dan mental) dari penggunaannya.
6. *Display dan controls* yaitu bidang ergonomi yang mengkaji tentang rancangan *display* maupun kontrol yang cocok dengan karakteristik penggunaannya. Contoh aplikasinya Antara lain : penentuan jenis *display* (misalnya *analog versus digital*), *display* untuk mesin-mesin industry, *display* dan control pada kabin pesawat, maupun ACT (*Air Traffic Controller*), dan lain-lain.

7. Lingkungan kerja yaitu bidang ergonomi yang memfokuskan respons manusia terhadap lingkungan kerja fisik, termasuk kebisingan, temperatur, pencahayaan, getaran, dan lain sebagainya. Informasi yang diperoleh dari bidang kajian ini dapat dimanfaatkan dalam menentukan, contohnya, penempatan lampu penerangan, lama waktu istirahat, dampak rotasi kerja, serta efek penggunaan alat pelindung diri.
8. Ergonomi makro, berangkat dari konsep sosio-teknologi, bidang ini merupakan suatu pendekatan sistem dalam mengkaji kesesuaian Antara individu, organisasi, teknologi, serta proses interaksi yang terjadi. Tujuannya adalah tercapainya tujuan organisasi secara efektif dan berkelanjutan melalui evaluasi organisasi kerja. Dengan demikian, perbaikan tidak difokuskan pada operator dan pekerjaannya, namun lebih pada perancangan sistem secara keseluruhan sebagai upaya yang efisien dalam mencapai tujuan organisasi. Manfaat bidang ini Antara lain berupa perbaikan sistem kerja yang bersifat *bottom-up*, peningkatan *quality of work life*, serta meminimasi biaya yang terkait dengan implementasi teknologi baru.

2.2 Tujuan dan Pendekatan Ergonomi

Tujuan dari ilmu ergonomi terbagi menjadi dua. Pertama adalah meningkatkan efisiensi dan efektifitas pekerjaan, termasuk di dalamnya meningkatkan keserasian dan mengurangi kesalahan kerja dalam rangka meningkatkan produktivitas. Tujuan yang kedua adalah meningkatkan segi keselamatan kerja, mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja sehingga dapat tercapai peningkatan kepuasan pekerja.

Pendekatan ergonomi merupakan gabungan antara informasi-informasi yang relevan mengenai batas kemampuan, karakteristik, dan perilaku manusia yang berfungsi sebagai dasar pembuatan prosedur dan desain peralatan kerja beserta lingkungan dimana mereka melakukan pekerjaan tersebut. Penelitian ergonomi

meliputi hal-hal yang berkaitan, yaitu:

- 1.. Anatomi (struktur tubuh), fisiologi, dan antropometri (ukuran) tubuh manusia.
2. Psikologi yaitu mengenai sistem otak dan jaringan syaraf yang berperan dalam tingkah laku manusia.
3. Kondisi-kondisi kerja yang dapat mencederai baik dalam jangka waktu yang pendek maupun panjang, dan sebaliknya kondisi-kondisi kerja yang nyaman bagi pekerja.

Ilmu ergonomi diterapkan pada berbagai macam aspek kerja, diantaranya:

1. Posisi kerja
Posisi berdiri dan posisi duduk merupakan posisi kerja yang sering dievaluasi dengan menggunakan pendekatan ergonomi. Posisi berdiri yang ideal merupakan posisi dimana letak tulang belakang vertikal dan berat badan tertumpu secara seimbang pada kedua kaki. Sedangkan posisi duduk ideal merupakan posisi dimana kaki tidak terbebani dengan berat tubuh dan stabil selama bekerja
2. Proses kerja
Pendekatan ergonomi digunakan untuk mengevaluasi jangkauan dan gerakan kerja agar sesuai dengan ukuran antropometri pekerja dan posisi sewaktu bekerja
3. Tata letak tempat kerja
Evaluasi tata letak menekankan pada kemudahan meraih dan kejelasan penglihatan pada saat melakukan suatu pekerjaan.
4. Pengangkatan beban
Pendekatan ergonomi digunakan untuk mencari solusi optimal dalam mengangkat suatu beban, sehingga beban yang diangkat tidak menimbulkan gangguan cedera pada tulang punggung, leher, bahu dan anggota tubuh lainnya

2.3 Resiko Kesalahan Ergonomi

Peristiwa kecelakaan maupun cedera dalam aktivitas kerja dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik yang disebabkan oleh pihak pekerja maupun yang disebabkan oleh keadaan lingkungan. Tabel 2.1 berikut ini menunjukkan risiko-risiko yang umum terjadi pada aktivitas kerja:

Tabel 2. 1. Tabel Risiko Kesalahan Ergonomi

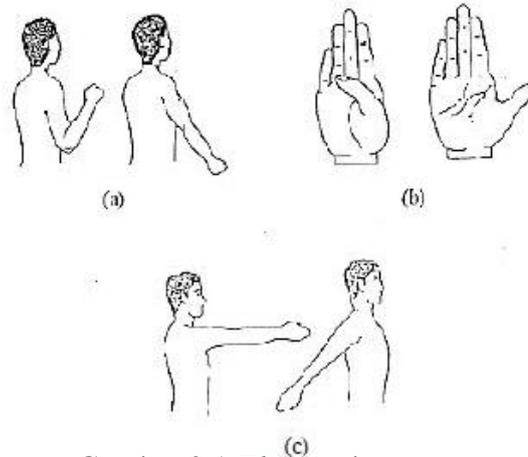
NO.	FAKTOR RISIKO	DEFINISI
1	Pengulangan yang banyak	Menjalankan gerakan yang sama berulang-ulang
2	Beban berat	Beban fisik yang berlebihan selama bekerja (menarik, memukul, mendorong, dll). Semakin banyak daya yang harus dikeluarkan, semakin berat beban bagi tubuh
3	Postur yang kaku	Menekuk atau memutar bagian tubuh
4	Beban Statis	Bertahan lama pada satu postur sehingga menyebabkan kontraksi otot
5	Tekanan	Tubuh tertekan pada suatu permukaan atau tepian
6	Getaran	Menggunakan peralatan yang memiliki getaran yang kuat
7	Dingin atau panas yang ekstrim	Dingin dapat mengurangi daya sentuh, arus darah, kekuatan dan keseimbangan. Panas dapat menyebabkan kelelahan
8	Organisasi kerja yang buruk	Termasuk di dalamnya bekerja mengikuti irama mesin, istirahat yang tidak cukup, kerja yang monoton, serta beberapa pekerjaan yang harus dikerjakan dalam satu waktu.

(Sumber: Suhadri, 2008)

2.4 Postur dan Pergerakan Kerja

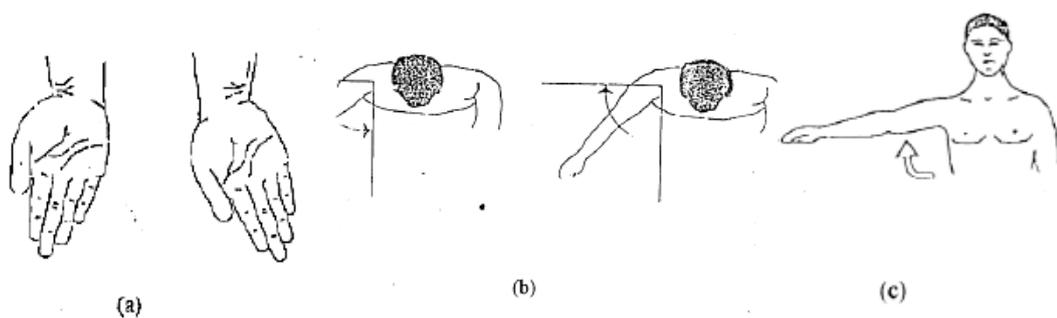
Postur kerja merupakan pengaturan sikap tubuh saat bekerja. Sikap kerja yang berbeda akan menghasilkan kekuatan yang berbeda pula. Pada saat bekerja sebaiknya postur dilakukan secara alamiah sehingga dapat meminimalisasi timbulnya cedera muskuloskeletal. Kenyamanan tercipta bila pekerja telah melakukan postur kerja yang baik dan aman. Postur kerja yang baik sangat ditentukan oleh pergerakan organ tubuh saat bekerja. Pergerakan yang dilakukan

saat bekerja meliputi *flexion*, *extension*, *abduction*, *adduction*, *rotation*, *pronation* dan *supination*. *Flexion* adalah gerakan dimana sudut antara dua tulang terjadi pengurangan. *Extension* adalah gerakan merentangkan (*stretching*) dimana terjadi peningkatan sudut antara dua tulang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.1.



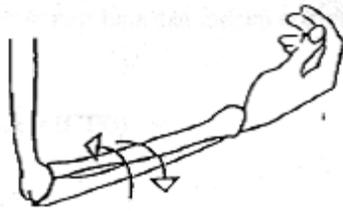
Gambar 2.1 *Flexion* dan *extension* pada (a) bahu, (b) telapak tangan (c) lengan
(Sumber : Bridger, 1995)

Abduction adalah pergerakan menyamping menjauhi dari sumbu tengah (*the median plane*) tubuh. *Adduction* adalah pergerakan kearah sumbu tengah (*the median plane*) tubuh. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2.



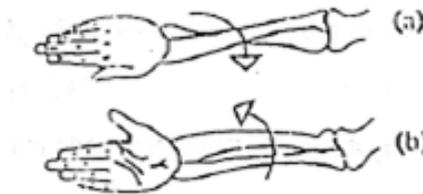
Gambar 2.2 *Abduction* dan *adduction* pada (a) telapak tangan, (b) bahu dan (c) *abduction* vertical
(Sumber : Bridger, 1995)

Rotation adalah pergerakan dimana terjadi perputaran pada tulang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Posisi *Rotation*
(Sumber : Bridger, 1995)

Pronation adalah perputaran bagian tengah (menuju kedalam) dari anggota tubuh. *Supination* adalah perputaran kerarah samping (menuju keluar) dari anggota tubuh. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4 (Tayyari, 1997, dalam tarwaka, 2004).



Gambar 2.4 Posisi Pada Lengan (a) *Supination* dan (b) *Pronation*
(Sumber : Bridger, 1995)

2.5 *Fatigue*

Setelah pekerja melakukan aktivitas pada rentang waktu tertentu maka umumnya akan muncul gejala kelelahan pada tubuh. Beberapa ahli membedakan kelelahan dalam beberapa jenis, yaitu:

- Kelelahan fisik

Kelelahan fisik diakibatkan oleh aktivitas kerja yang berlebihan, namun performa tubuh masih dapat dikompensasi dan diperbaiki seperti semula. Jika tidak terlalu berat kelelahan ini dapat hilang setelah melalui istirahat dan tidur yang cukup.

- Kelelahan patologis

Kelelahan ini muncul seiring dengan penyakit yang diderita, seringkali muncul secara tiba-tiba dan memiliki gejala yang cukup berat.

- Kelelahan psikologis dan *emotional fatigue*

Kelelahan ini merupakan suatu bentuk yang umum. Kemungkinan merupakan sejenis mekanisme melarikan diri dari kenyataan pada penderita psikosomatik. Semangat yang baik dan motivasi kerja akan mengurangi angka kejadiannya di tempat kerja.

Tes kelelahan dapat dilakukan dengan memeriksa kecepatan reflek jari dan mata, serta kecepatan dalam mendeteksi sinyal. Persoalan yang perlu diperhatikan adalah apabila kelelahan yang terjadi berkaitan dengan masalah ergonomi yang ada di tempat kerja. Karena desain ergonomi yang kurang baik sedikit banyak akan mempercepat terjadinya kelelahan pada pekerja.

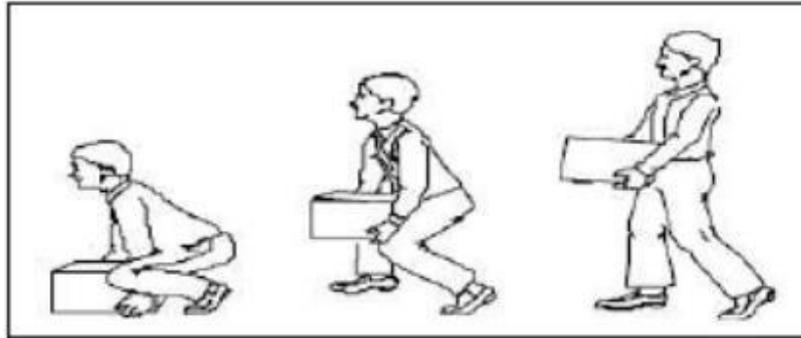
2.6 *Manual Material Handling* (MMH)

Manual material handling berhubungan dengan pemindahan beban di mana pekerja menggunakan gaya otot untuk mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, membawa, menggenggam objek. (Sutalaksana dkk, 1979).

Pengertian pemindahan beban secara manual menurut *American Material Handling Society* (AMHS) bahwa material handling dinyatakan sebagai seni dan ilmu yang meliputi penanganan (*handling*), pemindahan (*moving*), pengepakan (*packaging*), penyimpanan (*storing*), dan pengawasan (*controlling*), dari material dengan segala bentuknya (Wignjosoebroto, 1995). Aktivitas *manual material handling* merupakan aktivitas memindahkan beban oleh tubuh secara manual dalam rentang waktu tertentu. *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) mengklasifikasikan kegiatan *manual material handling* menjadi lima yaitu:

1. Mengangkat/menurunkan (*lifting/lowering*)

Mengangkat adalah kegiatan memindahkan barang ke tempat yang lebih tinggi yang masih dapat dijangkau oleh tangan. Sebaliknya, menurunkan adalah memindahkan barang dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah.



Gambar 2.5 Kegiatan mengangkat dan menurunkan
Sumber : Muslimah (2008)

2. Mendorong/menarik (*push/pull*)

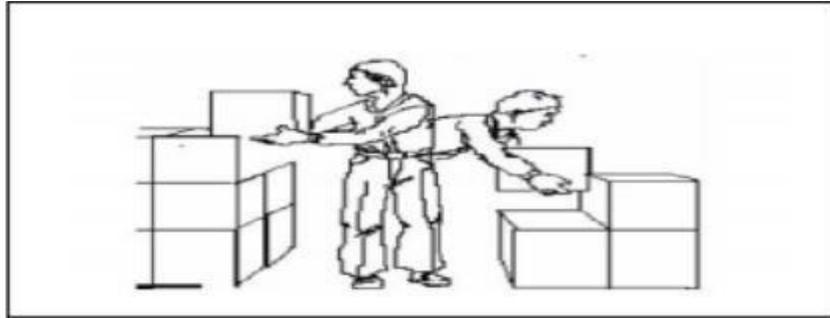
Mendorong adalah kegiatan menekan berlawanan arah tubuh dengan usaha bertujuan untuk memindahkan objek. Kegiatan menarik searah arah tubuh dengan usaha bertujuan untuk memindahkan objek.



Gambar 2.6 Kegiatan mendorong dan menarik
Sumber : Muslimah (2008)

3. Memutar (*twisting*)

Kegiatan memutar merupakan gerakan memutar tubuh bagian atas ke dua sisi, sementara tubuh bagian bawah berada dalam keadaan tetap. Kegiatan memutar dapat dilakukan dalam keadaan tubuh diam.



Gambar 2.7 Kegiatan memutar
Sumber : Muslimah (2008)

4. Membawa (*carrying*)

Kegiatan membawa merupakan kegiatan memegang atau mengambil barang dan memindahkannya. Berat benda menjadi berat total pekerja.



Gambar 2.8 Kegiatan membawa
Sumber : Muslimah (2008)

5. Menahan (*holding*)

Kegiatan ini merupakan kegiatan memegang objek saat tubuh berada dalam keadaan diam (statis).



Gambar 2.9 Kegiatan menahan
Sumber : Muslimah (2008)

Pemindahan bahan secara manual apabila tidak dilakukan secara ergonomis akan menimbulkan kecelakaan dalam industri. Faktor yang berpengaruh terhadap timbulnya nyeri punggung (*back injury*) adalah arah beban yang diangkat dan frekuensi aktivitas pemindahan. Beberapa pertimbangan/parameter yang harus

diperhatikan untuk mengurangi timbulnya nyeri punggung (Nurmianto, 2004) antara lain:

1. Beban yang harus diangkat.
2. Perbandingan antara berat beban dan operator.
3. Jarak horizontal dari beban terhadap operator.
4. Ukuran beban yang diangkat, beban yang berdimensi besar akan mempunyai jarak CG (*Center of Gravity*) yang lebih jauh dari tubuh dan bisa mengganggu jarak pandang.

Pemilihan manusia sebagai tenaga kerja dalam melakukan penanganan material bukanlah tanpa alasan, penanganan material secara manual memiliki beberapa keuntungan (Nurmianto, 2004) yaitu:

1. Fleksibel dalam gerakan sehingga memberikan kemudahan pemindahan beban pada ruang terbatas pada pekerjaan yang tidak beraturan.
2. Untuk beban yang ringan lebih mudah dibandingkan menggunakan mesin.
3. Tidak semua material dapat dipindahkan dengan alat.

2.7 Resiko Kecelakaan Kerja Pada *Manual Material Handling*

Kegiatan *Manual Material Handling* (MMH) melibatkan koordinasi sistem kendali tubuh seperti tangan, kaki, otak, otot dan tulang belakang. Bila koordinasi tubuh tidak terjalin dengan baik akan menimbulkan resiko kecelakaan kerja pada bidang MMH. Faktor yang menjadi penyebab terjadinya kecelakaan kerja MMH menurut Heran, Dkk, 1999 (dalam Al bugis, 2009) dibagi menjadi 2 faktor yaitu:

1. Faktor Fisik (*Physical Factor*)

Faktor ini bila dijabarkan terdiri dari suhu, kebisingan, bahan kimia, radiasi, gangguan penglihatan, postur kerja, gangguan sendi (gerakan dan perpindahan berulang), getaran mesin dan alat, permukaan lantai.

2. Faktor Psikososial (*Psychosocial Factor*)

Faktor ini terdiri dari karakteristik waktu kerja seperti shift kerja, peraturan kerja, gaji yang tidak adil, rangkap kerja, stress kerja, konsekuensi kesalahan kerja, istirahat yang pendek dan terganggu saat kerja. Kedua faktor tersebut diatas berpengaruh terhadap kecelakaan kerja pada *musculoskeletal*. Untuk faktor fisik (*Physical Factor*) yang menjadi faktor beresiko terhadap gangguan *musculoskeletal* adalah postur/ sikap kerja dan gangguan sendi akibat pekerjaan yang berulang. Sedangkan diantara faktor Psikososial yang menjadi penyebab utama adalah rendahnya pengawasan dalam aktivitas produksi dan terbatasnya keleluasan para pekerja.

Sikap kerja merupakan salah satu faktor resiko terjadinya gangguan *musculoskeletal*. Sikap kerja yang sering dilakukan oleh manusia antara lain berdiri, duduk, membungkuk, jongkok, berjalan dan lain-lain. Sikap kerja yang dilakukan tergantung kepada jenis pekerjaan dan sistem kerja yang ada (Wignjosoebroto, 2000).

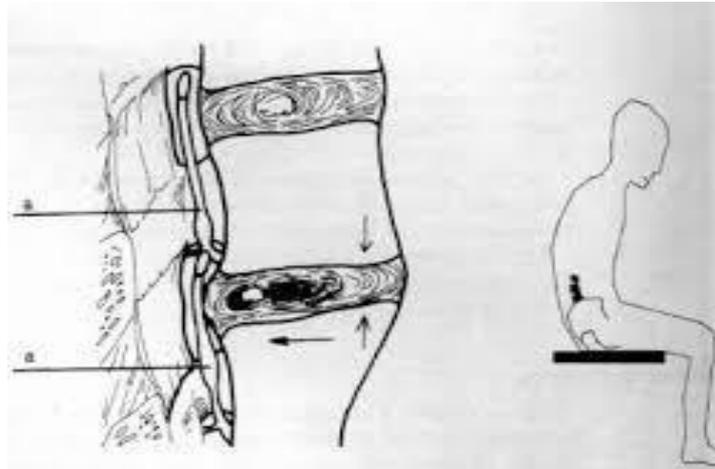
1. Sikap Kerja Berdiri

Sikap kerja berdiri merupakan sikap kerja yang sering dilakukan saat bekerja. Berat tubuh akan ditopang oleh satu atau dua kaki. Aliran berat tubuh mengalir pada kedua kaki menuju tanah karena adanya gaya gravitasi bumi. Kestabilan tubuh saat berdiri dipengaruhi oleh posisi kedua kaki. Nyeri punggung bagian bawah (*low back pain*) adalah salah satu masalah pada sikap kerja berdiri dengan sikap punggung condong ke depan. Sikap kerja berdiri terlalu lama akan mengakibatkan pengumpulan darah di vena. Karena aliran darah berlawanan dengan gravitasi, kejadian ini dapat mengakibatkan pembengkakan pergelangan kaki.

2. Sikap Kerja Duduk

Sikap kerja duduk mengakibatkan munculnya keluhan pada punggung bagian bawah karena pada saat duduk otot bagian paha tertarik dan bertentangan dengan bagian pinggul. Akibatnya tulang pelvis akan miring ke belakang dan tulang belakang bagian lumbar L3/L4 akan

mengendur. Kondisi ini membuat sisi depan *intervertebral disk* tertekan dan sekelilingnya melebar. Hal ini menyebabkan nyeri pada punggung bagian bawah dan menjalar ke kaki.



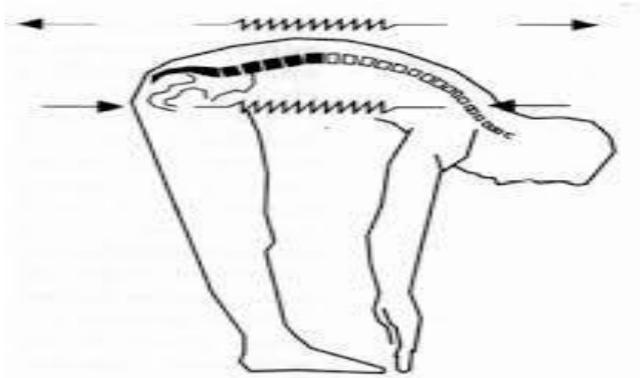
Gambar 2.10 Kondisi *intervertebral disk* bagian lumbar pada saat duduk

Sumber : Bridger (1995)

Ketegangan dan rasa sakit saat bekerja dengan sikap duduk dapat dikurangi dengan merancang tempat duduk yang baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa posisi duduk tanpa sandaran menaikkan tekanan pada *intervertebral disk* sebanyak $\frac{1}{3}$ atau $\frac{1}{2}$ lebih banyak dari posisi berdiri (Bridger RS, 1995).

3. Sikap Kerja Membungkuk

Salah satu sikap kerja yang tidak nyaman dan juga sering menimbulkan rasa sakit adalah sikap kerja membungkuk. Posisi ini menimbulkan ketidaknyamanan karena tidak adanya keseimbangan dan tidak menjaga kestabilan tubuh saat bekerja. Sikap kerja membungkuk yang dilakukan berulang dan dalam waktu yang lama akan mengakibatkan pekerja mengalami nyeri pada punggung bagian bawah (*low back pain*).

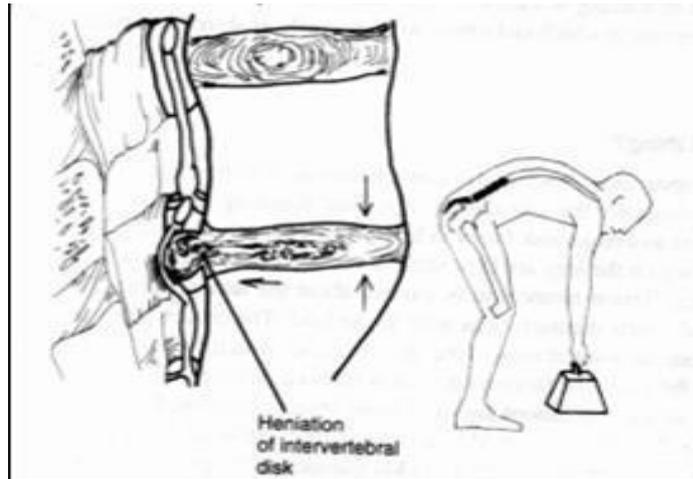


Gambar 2.11 Mekanisme rasa nyeri pada saat membungkuk
 Sumber : Bridger (1995)

Pada saat membungkuk tulang belakang bergerak ke sisi depan tubuh. Otot perut dan bagian depan *intervertebral disk* pada bagian lumbar mengalami tekanan. Pada bagian ligamen sisi belakang dari *intervertebral disk* justru mengalami regangan. Kondisi ini menyebabkan nyeri pada punggung bagian bawah (*low back pain*).

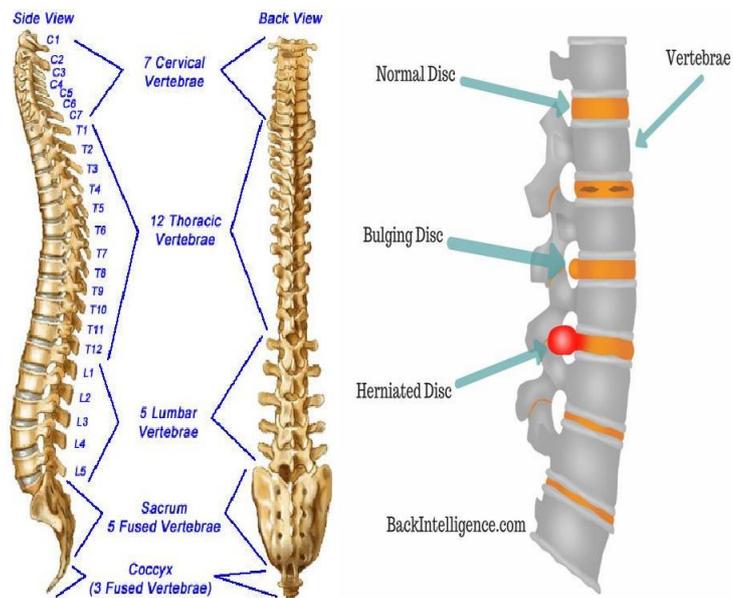
4. Pengangkatan Beban

Pengangkatan beban memberikan kontribusi besar dalam kecelakaan kerja pada bagian punggung. Penelitian yang dilakukan oleh NIOSH memperlihatkan sebuah statistik yang menyatakan bahwa dua per tiga dari kecelakaan akibat tekanan secara berlebihan berkaitan dengan aktivitas menaikkan/mengangkat barang (*lifting load activity*). Pengangkatan beban yang melebihi kekuatan manusia menyebabkan penggunaan tenaga yang besar pula atau *over exertion*. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Benard dan Fine (1997) menyimpulkan bahwa *over exertion* adalah penyebab cedera punggung paling besar, persentasenya sekitar 64%-74%. Adapun pengangkatan beban akan mempengaruhi lumbar, dimana akan ada penekanan pada bagian L5/S1. Penekanan pada daerah ini mempunyai batas tertentu untuk menahan tekanan.



Gambar 2.12 Pengaruh sikap kerja pengangkatan yang salah
 Sumber : Bridger (1995)

Intervertebral disk pada bagian L5/S1 lebih banyak menahan tekanan dibandingkan tulang belakang. Bila pengangkatan yang dilakukan melebihi kemampuan maka akan menyebabkan *disc herniation* akibat lapisan pembungkus *intervertebral disk* pada bagian L5/S1 pecah.



Gambar 2.13 (a) Tulang L5/S1, (b) *Hernia Disk* pada L5/S1

Sumber : Bridger (1995)

Maka untuk mengetahui besar momen gaya yang diberikan pada L5/S1, rumus yang digunakan adalah Persamaan 2.1.

$$\sum TL_{5/S1} = 0$$

$$(Fm \times E) - \sum(W \times d) = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

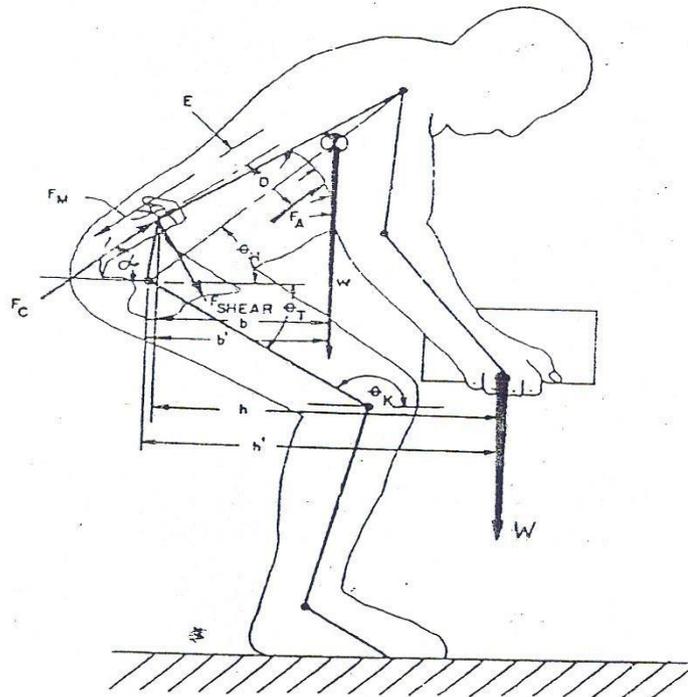
Keterangan:

F_m : Gaya tekan pada otot tulang belakang (N)

E : Jarak tegak lurus otot tulang belakang ke pusat S1 (cm) = 6 cm

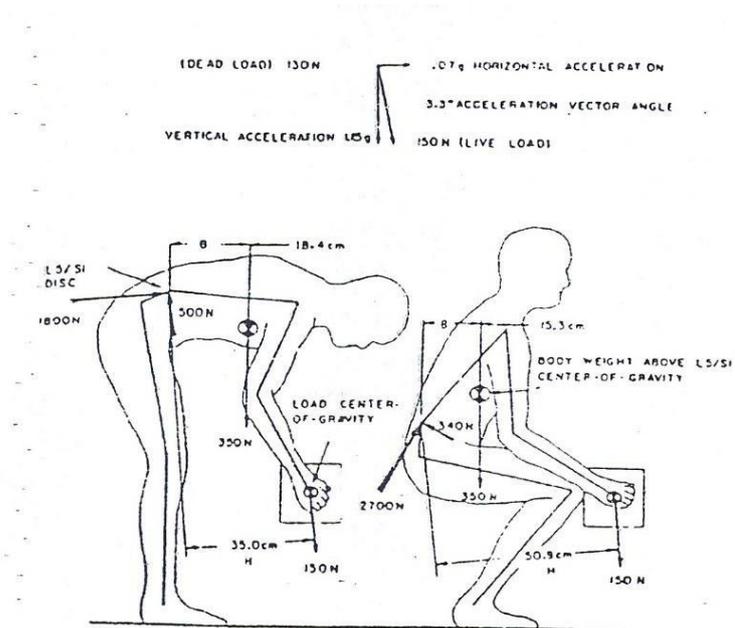
W : Berat bagian tubuh (kepala, lengan dan batang tubuh) serta berat beban yang diangkat (N)

d : Jarak horizontal antara pusat L5/S1 ke pusat bagian tubuh (kepala, lengan, dan batang tubuh) serta jarak L5/S1 ke pusat massa benda (cm)



Gambar 2.14 Jarak antara L5/S1 dengan titik berat

Sumber : Nurmiyanto (2004)



Gambar 2.15 Perbedaan gaya terhadap L5/S1 pada dua postur yang berbeda
 Sumber : Nurmianto (2004)

Untuk mengetahui besar momen gaya yang diberikan pada L5/S1, rumus yang digunakan adalah Persamaan 2.2.

$$M_h = b' \cdot w + h' \cdot W$$

$$PA = 10^{-4} [43 - 0,36 (\Theta_h + \Theta_T)] [M_h]^{1,8}$$

$$FA = PA \times 465$$

$$F_m \cdot E = b \cdot w + h \cdot W - D \cdot FA$$

$$F_m = \frac{bw+hW-D \cdot FA}{E}$$

$$F_c = (w + W) \sin \alpha - FA +$$

$$FM \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

M_h : Nilai atau momen pada pinggul (N/m)

b : Jarak L5/S1 ke pusat massa badan (cm)

h : Jarak sumbu pikul ke pusat masa beban (cm)

w : Beban (N)

PA : Untuk memprediksi secara empiris terhadap tekanan perut (N/cm²)

Θ_h : Sudut inklinasi badan relatif terhadap horizontal ($^{\circ}$)

Θ_T : Sudut inklinasi kaki relatif terhadap horizontal ($^{\circ}$)

FA : Tekanan perut (N)

F_m : Gaya pada otot dengan mempertimbangkan nilai momen pada L5/S1 (N)

E : Jarak dari otot spinal erector ke L5/S1 (cm) = 5cm

F_c : Gaya kompresi (N)

Pada perhitungan momen gaya diperlukan berat bagian tubuh seperti yang telah disebutkan pada Persamaan 2.2, bagian tubuh yang dimaksud adalah kepala (*head*), lengan (*arms*), dan batang tubuh (*trunk*). Berat bagian tubuh tersebut dapat ditentukan dengan melihat Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Body segment weight*

Main Segments as % of Total Body Weight	Individual Segment as % of Main Segment
Head and Neck = 8,4%	Head = 7,8% , Neck = 26,2%
Torso = 50%	Thorax = 43,8% , Lumbar = 29,4% , Pelvis = 26,8%
One Total Arm = 5,1%	Upper Arm = 54,9% , Forearm = 33,3% , Hand = 11,8%
One Total Leg = 15,7%	Thigh = 63,7% , Shank = 27,4% , Foot = 8,9%

2.8 Batas Beban Yang Boleh Diangkat

Batasan angkat untuk operator diperlukan untuk menciptakan suasana kerja yang aman dan sehat. Negara bagian benua Amerika sudah menetapkan batas angkat yang digunakan untuk pabrik dan sistem bisnis manufaktur lainnya. Batasan angkat ini dipakai sebagai batasan angkat secara Internasional (Pratiwi, 2011). Adapun variabelnya adalah sebagai berikut:

1. Pria usia 16 tahun maksimum angkat 14 kg.
2. Pria usia antara 16 sampai 18 tahun maksimum angkat 16 kg.
3. Pria usia 18 tahun ke atas tidak ada batas angkat.
4. Wanita usia antara 16 sampai 18 tahun maksimum angkat 11 kg.
5. Wanita usia lebih dari 18 tahun maksimum angkat 16 kg.

Batasan angkat di Indonesia di tetapkan melalui Peraturan Menteri Tenaga Kerja Transmigrasi dan Koperasi No. PER/01/Men/1978 tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja dalam bidang Penebangan dan Pengangkutan Kayu. Beban angkat ditetapkan dengan dasar perhitungan $5/7$ dikali berat badan, contohnya seorang lelaki dengan berat badan 70 kg berarti beban yang dapat diangkat sebesar 50 kg. Batasan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Batasan angkat untuk orang Indonesia

Aktivitas Mengangkat	Dewasa		Tenaga Kerja Muda	
	Laki-laki (kg)	Wanita (kg)	Laki-laki (kg)	Wanita (kg)
Sekali-kali	40	10	15	10-12
Terus-menerus	15-18	10	10-15	6-9

Sumber : Suma'mur (1998)

Batasan angkat ini dapat membantu untuk mengurangi rasa nyeri, ngilu pada tulang belakang. Di samping itu akan mengurangi ketidaknyamanan kerja pada tulang belakang terutama bagi operator kerja berat. Kondisi keselamatan dan kesehatan kerja di Amerika pada tahun 1997 juga telah mengeluarkan peraturan yang berkaitan dengan tata cara pengangkatan material/beban kerja.

Tabel 2.4 Tindakan yang harus dilakukan sesuai batas angkat

Batasan Angkat (Kg)	< 16	16-34	34-50	> 50
Tindakan	Tidak ada tindakan khusus yang perlu diadakan	Prosedur administrasi dibutuhkan untuk mengidentifikasi ketidakmampuan seseorang dalam mengangkat beban tanpa mengganggu resiko yang berbahaya kecuali dengan perantara alat bantu tertentu	Sebaiknya operator yang terpilih dan terlatih, menggunakan sistem pemindahan material secara terlatih, dan harus di bawah pengawasan <i>Supervisor</i>	Harus memakai peralatan mekanis, operator yang terlatih dan terpilih, pernah mengikuti pelatihan K3 dalam industri dan harus di bawah pengawasan ketat

Sumber : Suma'mur (1998)

Tabel 2.5 Tindakan yang harus dilakukan sesuai batas angkat level

Level	Batas Angkat (Kg)	Tindakan
1	< 16	Tidak diperlukan tindakan khusus
2	16-34	Tidak diperlukan alat untuk mengangkat dan ditekankan pada metode angkat
3	34-50	Tidak diperlukan alat dalam mengangkat dan dipilih <i>job redesign</i>
4	> 50	Harus dibantu dengan peralatan mekanis

Sumber : Suma'mur (1998)

2.9 Biomekanika Kerja

Biomekanika adalah aplikasi ilmu mekanika teknik untuk analisa sistem kerangka otot manusia. Biomekanika mempelajari manusia dari segi kemampuan-kemampuannya seperti kekuatan, daya tahan, kecepatan, dan ketelitian. Hubungan antara manusia, pekerja dengan mesin serta peralatan-peralatan dan lingkungan kerja dapat dilihat sebagai hubungan yang unik karena interaksi antara hal-hal diatas yang membentuk suatu sistem kerja tidak terlampau sederhana bahkan melibatkan berbagai disiplin ilmu (Nurmianto, 2003, h5).

Biomekanika kerja adalah salah satu bagian dari ilmu ergonomi dimana kita mempelajari dari segala aktivitas kita mulai dari yang ringan sampai dengan yang berat, data-data yang didapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang baik dalam menyusun suatu perkerjaan manusia dengan memperhatikan kapan pekerja itu lelah, bagaimana keadaan tekanan darahnya pada saat sedang lelah, dan lain-lain dengan menggunakan beberapa metode baik yang langsung (fisiologi) atau dengan menentukan waktu standar atau suatu cabang ilmu yang berhubungan dengan lingkungan fisik disekitar tempat kerja, yang bertujuan untuk menyelidiki manusia dari segi kemampuan-kemampuannya, seperti kekuatan, daya tahan, kecepatan dan ketelitian. Lingkungan fisik disini menunjukkan semua keadaan yang terdapat disekitar tempat kerja yang akan mempengaruhi operator tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung.

Disamping itu untuk mendapatkan inklinasi (kemiringan) sudut posisi kaki atau tangan relatif terhadap horisontal agar gaya maksimum dapat diterapkan maka kondisi berikut haruslah dapat dipenuhi:

1. Analisa biomekanika secara global dengan mempertimbangkan kondisi masing-masing otot.
2. Penyederhanaan model biomekanika yang berdasarkan pada sistem sambungan tulang untuk memprediksi beban pada ruas tulang belakang untuk mengangkat benda kerja.

2.10 Otot

Otot adalah organ yang terpenting dalam sistem gerak tubuh. Otot dapat bekerja secara statis (*postural*) dan dinamis (*rythmic*). Pada kerja otot dinamis, kontraksi dan relaksasi terjadi silih berganti sedangkan pada kerja otot statis otot menetap dan berkontraksi untuk suatu periode tertentu. Pada kerja otot statis pembuluh darah tertekan oleh penambahan tekanan dalam otot akibat kontraksi sehingga mengakibatkan peredaran darah dalam otot terganggu. Otot yang bekerja statis tidak memperoleh oksigen dan glukosa dari darah dan harus menggunakan cadangan yang ada. Selain itu metabolisme tidak dapat diangkut keluar akibat peredaran darah terganggu sehingga sisa metabolisme tersebut menumpuk dan menimbulkan rasa nyeri. Pekerjaan statis menyebabkan kehilangan energi yang tidak perlu.

Keluhan *musculoskeletal* adalah keluhan pada otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai pada yang sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama, maka dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen, dan tendon. Keluhan hingga kerusakan ini disebut juga *musculoskeletal disorders* (MSDs) atau cedera pada sistem *musculoskeletal*.

2.11 Keluhan Otot Rangka

Struktur otot-rangka (*musculoskeletal*) manusia dibentuk oleh komponen utama, seperti tulang, ligamen, tendon, otot, dan sendi. Fungsi utama sistem otot-rangka adalah menyokong dan melindungi anggota tubuh, mempertahankan posisi tubuh, dan menghasilkan gerakan. Keluhan *musculoskeletal* adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan

sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama, akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon.

Beban kerja fisik yang melewati batas kemampuan dapat membawa resiko gangguan pada sistem otot-rangka. Gangguan yang mungkin terjadi dapat dibagi atas dua bentuk, yakni cedera akibat pembebanan yang tiba-tiba atau kelainan sistem otot-rangka dalam jangka panjang. Kelainan otot-rangka dalam jangka panjang diakibatkan oleh pembebanan yang berlebih secara berulang-ulang. Berbagai istilah digunakan untuk penamaannya, seperti *musculoskeletal disorders* (MSDs), *repetitive strain injuries* (RSI) atau *cumulative trauma disorders* (CTD), yang pada intinya mengacu pada kelainan yang terjadi pada jaringan tubuh, seperti otot, saraf, tendon, ligamen, atau sendi tulang belakang akibat pembebanan yang terus-menerus (Iridiastadi dan Yassierli, 2014).

Secara garis besar keluhan otot dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu keluhan sementara (*reversible*) merupakan keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun demikian keluhan tersebut akan segera hilang apabila pembebanan dihentikan dan keluhan menetap (*persistent*) yang merupakan keluhan otot yang bersifat menetap. Walaupun pembebanan kerja telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih terus berlanjut.

Studi tentang MSDs pada berbagai jenis industri telah banyak dilakukan dan hasil studi menunjukkan bahwa bagian otot yang sering dikeluhkan adalah otot rangka (skeletal) yang meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang, dan otot-otot bagian bawah. Di antara keluhan otot skeletal tersebut yang banyak dialami oleh pekerja adalah otot bagian pinggang (*low back pain=LBP*). Keluhan otot skeletal pada umumnya terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Sebaiknya, keluhan otot kemungkinan tidak terjadi apabila kontraksi otot hanya berkisar antara 15 – 20% dari kekuatan otot maksimum. Namun apabila kontraksi otot melebihi 20%, maka peredaran darah ke otot berkurang menurut tingkat kontraksi yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme

karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang menyebabkan timbulnya rasa nyeri otot (Tarwaka dan Sudiajeng, 2004).

Faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keluhan otot skeletal adalah (Tarwaka dan Sudiajeng, 2004):

1. Peregangan otot yang berlebihan

Peregangan otot yang berlebihan (*over exertion*) pada umumnya sering dikeluhkan oleh pekerja dimana aktivitas kerjanya menuntut pengerahan tenaga yang besar seperti aktivitas mengangkat, mendorong, menarik dan menahan beban yang berat. Peregangan otot yang berlebihan ini terjadi karena pengerahan tenaga yang diperlukan melampaui kekuatan optimum otot. Apabila hal serupa sering dilakukan, maka dapat mempertinggi resiko terjadinya keluhan otot, bahkan dapat menyebabkan terjadinya cedera otot skeletal.

2. Aktivitas berulang

Aktivitas berulang adalah pekerjaan yang dilakukan secara terus menerus seperti pekerjaan mencangkul, membelah kayu besar, angkut-angkut dsb. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus menerus tanpa memperoleh kesempatan untuk relaksasi.

3. Sikap kerja tidak alamiah

Sikap kerja tidak alamiah adalah sikap kerja yang menyebabkan posisi bagian-bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiah, misalnya pergerakan tangan terangkat, punggung terlalu membungkuk, kepala terangkat, dsb. Semakin jauh posisi bagian tubuh dari pusat gravitasi tubuh, maka semakin tinggi pula resiko terjadinya keluhan otot skeletal.

4. Fakto sekunder

Faktor ini meliputi :

- a. Tekanan

Terjadi tekanan langsung pada jaringan otot yang lunak, sebagai contoh pada saat tangan harus memegang alat, maka jaringan otot tangan yang lunak akan menerima tekan langsung dari pegangan alat dan apabila hal ini sering terjadi dapat menyebabkan rasa nyeri otot yang menetap

b. Getaran

Getaran dan frekuensi tinggi akan menyebabkan kontraksi otot bertambah. Kontraksi statis ini menyebabkan peredaran darah tidak lancar, penimbunan asam laktat meningkat dan akhirnya timbul rasa nyeri pada otot.

c. Mikroklimat

Paparan suhu dingin yang berlebihan dapat menurunkan kelincahan, kepekaan dan kekuatan pekerja sehingga gerakan pekerja menjadi lambat, sulit bergerak yang disertai dengan menurunnya kekuatan otot. Demikian juga dengan paparan udara yang panas. Beda suhu lingkungan dengan suhu tubuh yang terlampaui besar menyebabkan sebagian energi yang ada dalam tubuh akan dimanfaatkan oleh tubuh untuk beradaptasi dengan lingkungan tersebut. Apabila hal ini tidak diimbangi pasokan energi yang cukup, maka akan terjadi kekurangan suplai oksigen ke otot menurun, proses metabolisme karbohidrat terhambat dan terjadi penimbunan asam laktat yang dapat menimbulkan nyeri pada otot.

6. Faktor penyebab individu

Beberapa ahli menjelaskan bahwa umur, jenis kelamin, kebiasaan merokok, aktivitas fisik, kekuatan fisik, dan ukuran tubuh juga dapat menjadi penyebab terjadinya keluhan otot skeletal.

7. Penyebab kombinasi

Resiko terjadinya keluhan otot skeletal akan semakin meningkat apabila dalam melakukan tugasnya pekerja dihadapkan pada beberapa faktor resiko dalam waktu yang bersamaan, misalnya pekerja harus melakukan aktivitas mengangkat beban di bawah tekanan panas matahari.

Langkah-langkah untuk mengatasi keluhan *musculoskeletal* sebagai berikut:

1. Rekayasa Teknik

Rekayasa teknik dilakukan melalui pemilihan beberapa alternatif sebagai berikut:

- a. Eliminasi, yaitu menghilangkan sumber bahaya yang ada. Hal ini jarang dapat dilakukan mengingat kondisi dan tuntutan pekerjaan yang mengharuskan menggunakan peralatan yang ada.
- b. Substitusi, yaitu mengganti alat/bahan lama dengan alat/bahan baru yang aman, menyempurnakan proses produksi dan menyempurnakan prosedur penggunaan peralatan.
- c. Partisi, yaitu melakukan pemisahan antara sumber bahaya dengan pekerja, contohnya memisahkan ruang mesin yang bergetar dengan ruang kerja lainnya.
- d. Ventilasi, yaitu dengan menambah ventilasi untuk mengurangi resiko sakit, misalnya akibat suhu udara yang terlalu panas.

2. Rekayasa Manajemen

Rekayasa manajemen dapat dilakukan melalui tindakan sebagai berikut :

a. Pendidikan dan pelatihan

Melalui pendidikan dan pelatihan, pekerja menjadi lebih memahami lingkungan dan alat kerja sehingga diharapkan lebih inovatif dalam upaya pencegahan resiko sakit akibat kerja.

b. Pengaturan waktu kerja istirahat yang seimbang

Menyesuaikan kondisi lingkungan kerja dan karakteristik pekerjaan sehingga dapat mencegah paparan yang berlebihan terhadap sumber bahaya.

c. Pengawasan yang intensif

Melalui pengawasan yang intensif dapat dilakukan pencegahan secara lebih dini terhadap kemungkinan terjadinya resiko sakit akibat kerja.

Di Indonesia, sikap kerja ini lebih banyak disebabkan oleh adanya ketidaksesuaian antara dimensi alat dan stasiun kerja dengan ukuran tubuh pekerja. Sebagai negara berkembang, sampai saat ini Indonesia masih tergantung pada perkembangan teknologi negara-negara maju, khususnya dalam pengadaan peralatan industri. Mengingat bahwa dimensi peralatan tersebut didesain tidak berdasarkan ukuran tubuh orang Indonesia, maka pada saat pekerja Indonesia harus mengoperasikan peralatan tersebut, terjadilah sikap kerja tersebut. Sebagai

contoh, pengoperasian mesin-mesin produksi di suatu pabrik yang diimpor dari Amerika ataupun Eropa akan menjadi masalah bagi sebagian besar pekerja di Indonesia. Hal tersebut disebabkan karena negara pengekspor di dalam mendesain mesin-mesin tersebut hanya didasarkan pada antropometri dari populasi pekerja negara yang bersangkutan, yang pada kenyataannya ukuran tubuhnya lebih besar dari pekerja di Indonesia. Sudah dapat dipastikan, bahwa kondisi tersebut akan menyebabkan sikap paksa pada waktu pekerja mengoperasikan mesin. Pekerjaan dengan beban yang berat dan perancangan alat yang tidak ergonomis mengakibatkan pengerahan tenaga yang berlebihan dan postur yang salah seperti memutar dengan membungkuk dan membawa beban adalah merupakan resiko terjadinya keluhan *musculoskeletal* dan kelelahan (Kurnianto dan Mulyono, 2014).

2.12 Metode *Recommended Weigh Limit (RWL)* dan *Lifting Indeks (LI)*

Waters dan Bhattacharya (1996) melakukan pengukuran terhadap resiko musculoskeletal disorder (MSDs) dengan metode analitik.

Metode analitik dilakukan berdasarkan rekomendasi NIOSH tentang estimasi terjadinya peregangan otot yang berlebihan (*over exertion*) atas dasar karakteristik pekerjaan. Hal ini dilakukan dengan melakukan perhitungan *Recommended Weight Limit (RWL)* dan *Lifting Indeks (LI)*. RWL merupakan hasil utama dari *The revised 1991 NIOSH lifting equation*. NIOSH telah mengembangkan suatu persamaan dalam menghitung RWL untuk tugas pengangkatan yang spesifik, dimana pekerja dapat bekerja dalam waktu tertentu tanpa timbulnya peningkatan resiko terkena cedera punggung bagian bawah atau *low back pain*. Untuk hal tersebut dilakukan pendekatan terhadap batas beban yang diperbolehkan diangkat, yang meliputi:

- a. Batasan Legal (*Legal Limitations*)
- b. Batasan Biomekanika (*Biomechanical Limitations*)
- c. Batasan Fisiologi (*Physiological Limitations*)
- d. Batasan Psiko-fisik (*Psycho-physical Limitations*)

Tabel 2.6 Batasan angkat beban menurut NIOSH

Aspek	Kriteria	Nilai
Biomekanika	Gaya tekan maksimum di L5/S1	3,4 KN
Fisiologi	Energi maksimum	2,2 - 4,7 Kkal/menit
Psikofisik	Berat maksimum yang dapat diterima	Diterima oleh 75% wanita dan 90% pria

Sumber : Muslimah (2008)

Dalam melakukan evaluasi terhadap suatu pekerjaan pengangkatan beban secara manual, NIOSH membuat suatu persamaan yang dapat membantu dalam memberikan suatu nilai beban angkat secara teoritis yang disarankan untuk mengangkat benda, yang disebut dengan RWL. Berikut adalah tabel formulasi RWL.

Tabel 2.7 Formulasi RWL

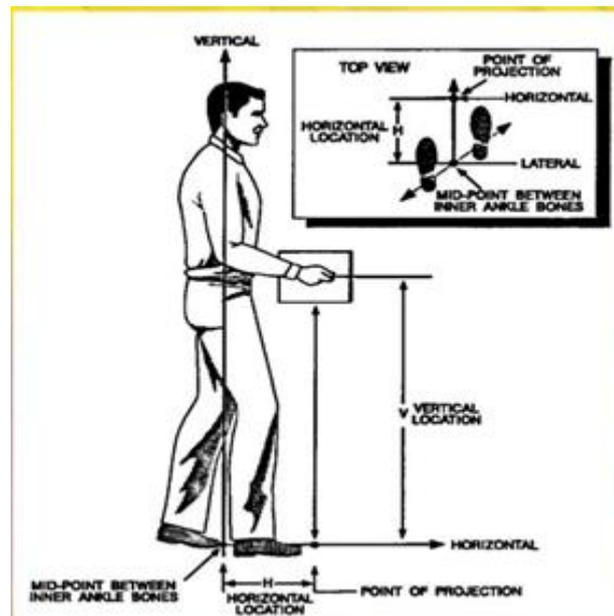
Komponen	Metrik
LC : Konstanta pembebanan	23 kg
HM : Faktor pengali horizontal	(25/H)
VM : Faktor pengali vertical	$VM = 1 - (0,003 V - 75)$
DM : Faktor pengali perpindahan	$DM = 0,82 + (4,5/D)$
AM : Faktor pengali asimetrik	$AM = 1 - (0,0032A)$
FM : Faktor pengali frekuensi	Dari tabel 2.10
CM : faktor pengali kopling	Dari tabel 2.9

Sumber : Muslimah (2008)

Persamaan RWL didefinisikan dalam Persamaan 2.3.

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \dots \dots \dots (2.3)$$

Pada Gambar 2.16 menunjukkan *horizontal location* dan *vertikal location* pada posisi pengangkatan beban.



Gambar 2.16 Posisi pengangkatan
 Sumber : Bridger (1995)

Keterangan:

H : Jarak horizontal antara beban dengan pekerja (*Horizontal location*)

V : Jarak vertikal antara lantai dengan pegangan (*Vertical location*)

D : Jarak lintasan dari empat awal ke tempat yang dituju (*destination*)

A : Sudut putar pada saat memindahkan beban (*Angle of asymmetric*)

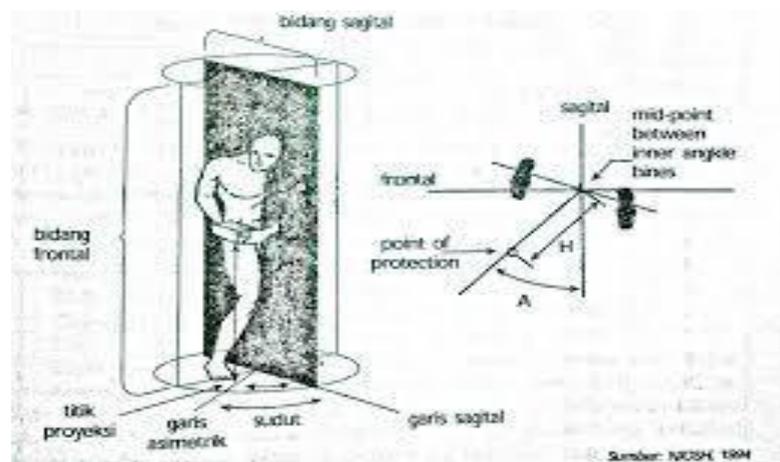
F : Frekuensi dan durasi dari pengangkatan (*Frequency of lifting*)

C : Klasifikasi pegangan tangan (*Coupling*)

Berdasarkan Gambar 2.16, jarak horizontal adalah jarak antara titik tengah mata kaki dengan proyeksi titik tengah benda, sedangkan jarak vertikal adalah jarak titik tengah benda dari lantai.

Sudut asimetrik yang digunakan dalam perhitungan RWL merupakan sudut yang dibentuk antara garis asimetrik dan pertengahan garis sagital. Garis asimetrik adalah garis horizontal yang menghubungkan titik tengah garis yang menghubungkan kedua mata kaki bagian dalam dan proyeksi titik tengah beban pada lantai. Dan garis sagital adalah garis yang melalui titik tengah kedua mata kaki bagian dalam dan berada pada bidang sagital.

Bidang sagital adalah bidang yang membagi tubuh menjadi dua bagian, kanan dan kiri saat posisi tubuh netral (tangan berada di depan tubuh dan tidak ada perputaran pada bahu dan kaki). Pengukuran sudut asimetrik dalam perhitungan RWL dilakukan di dua lokasi pengukuran, yaitu lokasi *origin* dan *destination*. Model pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sudut asimetrik
Sumber : Nurmianto (2004)

Komite NIOSH juga membuat konsensus bahwa untuk *coupling* yang kurang baik maka faktor pengurangnya tidak dari 10%. Jadi nilai faktor pengali (CM) adalah 1,00 atau 0,9 tergantung ketinggian vertikal dan kualitas *coupling*. Kategori kualitas *coupling* adalah baik, cukup atau kurang. Sedangkan kategori ketinggian ada <75 atau ≥ 75 (30 inchi). Adapun kriteria masing-masing *coupling* adalah sebagai berikut:

1. Kriteria *good*
 - a. *Kontainer* atau *box* merupakan desain optimal, pegangan bahannya tidak licin.
 - b. Benda di dalamnya tidak mudah tumpah.
 - c. Tangan dapat dengan nyaman meraih *box* tersebut.
2. Kriteria *fair*
 - a. *Kontainer* atau *box* tidak mempunyai pegangan.
 - b. Tangan tidak dapat meraih dengan mudah.

3. Kriteria *poor*

- a. *Box* tidak mempunyai *handle* atau pegangan.
- b. Sulit dipegang (licin, tajam dan lain-lain).
- c. Berisi barang yang tidak stabil (pecah, mudah jatuh, tumpah dan lain-lain).
- d. Memerlukan sarung tangan untuk mengangkatnya.

Besar faktor pengali *coupling* selengkapnya disajikan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor pengali *coupling*

<i>Coupling Type</i>	$V < 75 \text{ cm}$	$V \geq 75 \text{ cm}$
<i>Good</i> (baik)	1,00	1,00
<i>Fair</i> (sedang)	0,95	1,00
<i>Poor</i> (buruk)	0,90	0,90

Sumber : Pratiwi (2011)

Untuk persamaan yang dibuat tahun 1991 telah dilakukan penetapan faktor pengali frekuensi dalam bentuk tabel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.10. Pada Tabel 2.10 didasarkan pada dua set data, yaitu:

1. Data frekuensi pengangkatan dibawah 4 angkatan permenit menggunakan data psiko-fisik dari Waters dan Bhattacharya (1996) untuk memperoleh nilai FM.
2. Data dengan frekuensi diatas 4 angkatan permenit menggunakan persamaan dalam memprediksi pengeluaran energi pada pengangkutan beban untuk memperoleh nilai FM.

Tabel 2.9 Faktor pengali frekuensi

<i>Fork Lift/min</i>	<i>Work Duration</i>					
	≤ 1 jam		1-2 jam		2-8 jam	
	$V < 75$	$V \geq 75$	$V < 75$	$V \geq 75$	$V < 75$	$V \geq 75$
0.2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0.5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
> 15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber : Pratiwi (2011)

Lifting index menyediakan perkiraan relatif untuk tingkat tekanan fisik yang dikaitkan dengan tugas pengangkatan manual yang spesifik. Perkiraan dari tingkat tekanan fisik ditetapkan berdasarkan hubungan antara berat beban yang diangkat dan batas berat yang direkomendasikan (Mas'idah, 2009). *Lifting indeks* (LI) juga merupakan estimasi sederhana terhadap resiko cedera yang dilakukan oleh *over exertion*. LI dirumuskan dalam Persamaan 2.4.

$$LI = \frac{\text{Load weigh}}{RWL} = \frac{L}{RWL} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

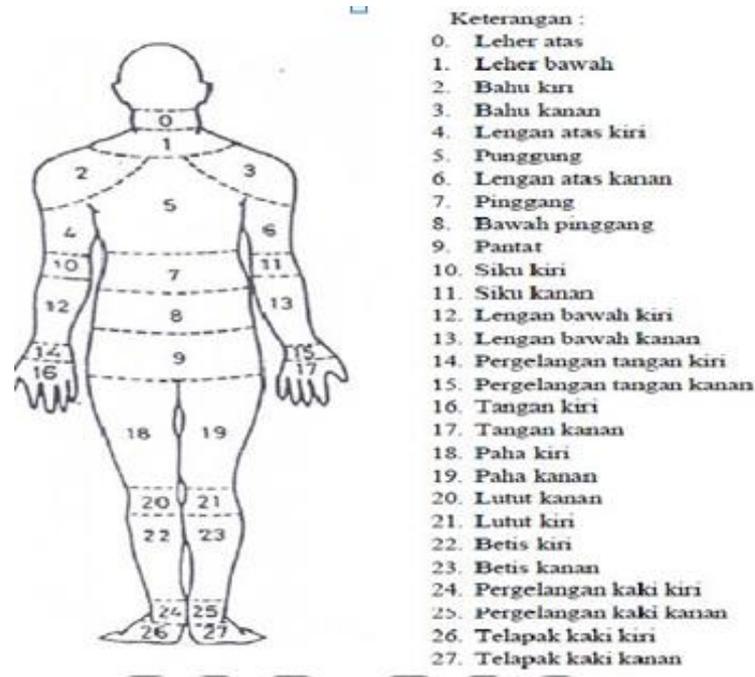
L : Massa objek yang diangkat (kg)

Jika $LI > 1$, berat beban yang diangkat melebihi batas pengangkatan yang direkomendasikan maka aktivitas tersebut mengandung resiko cedera tulang belakang. Jika $LI < 1$, berat beban yang diangkat tidak melebihi batas pengangkatan yang direkomendasikan maka aktivitas tersebut tidak mengandung resiko cedera tulang belakang (Waters dan Bhattacharya, 1996). Namun, diberikan sebuah batas toleransi untuk nilai LI, jika setelah dilakukan perbaikan kerja nilai LI belum mencapai 3 (Mas'idah, 2009).

2.13 Nordic Body Map (NBM)

Kuesioner *Nordic Body Map* merupakan salah satu bentuk kuesioner *checklist* ergonomi. Berntuk lain dari *checklist* ergonomi adalah *checlist International Labour Organizatin (ILO)*. Namun kuesioner *Nordic Body Map* adalah kuesioner yang paling sering digunakan untuk mengetahui ketidaknyamanan pada para pekerja, dan kuesioner ini paling sering digunakan karena sudah terstandarisasi dan tersusun rapi. (Kroemer, 2001)

Nordic Body Map merupakan salah satu dari metode pengukuran subyektif untuk mengukur rasa sakit otot para pekerja. Untuk mengetahui letak rasa sakit atau ketidaknyamanan pada tubuh pekerja digunakan *body map* (Wilson and Corlett, 1995). Pembagian bagian-bagian tubuh serta keterangan dari bagian-bagian tubuh tersebut dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 *Nordic Body Map*

(Sumber: Corlett, 1992 dalam Tarwaka, dkk. 2004)

Pengisian kuesioner *Nordic Body Map* ini bertujuan untuk mengetahui bagian tubuh dari pekerja yang terasa sakit sebelum dan sesudah melakukan pekerjaan pada stasiun kerja. Dengan melihat dan menganalisis peta tubuh (NBM) akan dapat diestimasi jenis dan tingkat keluhan otot skeletal yang dirasakan oleh pekerja.

Penilaian dengan menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* dapat dilakukan dengan berbagai cara; misalnya dengan menggunakan 2 jawaban sederhana yaitu “YA” (ada keluhan atau rasa sakit pada otot skeletal) dan ‘TIDAK’ (tidak ada keluhan atau tidak ada rasa sakit pada otot skeletal). Tetapi lebih utama menggunakan desain penilaian (misalnya : 4 skala likert). Apabila digunakan desain penilaian dengan skala likert, maka setiap skor atau nilai haruslah mempunyai definisi operasional yang jelas dan mudah dipahami oleh responden (Tarwaka dan Sudiajeng, 2004). Contoh desain penilaian dengan 4 skala likert, sebagai berikut:

1. Skor 1 = tidak ada keluhan/kenyerian atau tidak ada rasa sakit sama sekali yang dirasakan oleh pekerja (tidak sakit).

2. Skor 2 = dirasakan sedikit adanya keluhan atau kenylerian pada otot skeletal (agak sakit).
3. Skor 3 = responden merasakan adanya keluhan/kenyerian atau sakit pada otot skeletal (sakit).
4. Skor 4 = responden merasakan keluhan sangat sakit atau sangat nyeri pada otot skeletal (sangat sakit).

Untuk mengetahui besar persentase keluhan yang dirasakan, maka dapat digunakan Persamaan 2.5.

$$\frac{\text{Jumlah jawaban pada bobot yang bersangkutan}}{\text{Jumlah seluruh responden}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

2.14 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Tuhumena dkk (2014) juga menggunakan *Kuisoner Nordic Body Map* untuk melihat bagian tubuh mana saja yang mengalami keluhan oleh pekerja las. Postur kerja dinilai menggunakan metode *BRIEF Survey*. *Software Manequin Pro* digunakan untuk melakukan analisis biomekanika. Perbaikan yang dilakukan agar dapat memperbaiki postur kerja dengan membuat fasilitas kerja las yang lebih ergonomis. Indikator penurunan resiko cedera ditunjukkan dengan penurunan besar momen (Nm) yang diterima oleh bagian tulang belakang.

Bastian (2016) melakukan penelitian tentang VCM (*Voice Call Magnet*) Hand Tool di Western Digital (Thailand) Co., Ltd yang memproduksi *Hardisk* internal dan eksternal. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan menggunakan *kuisoner Nordic Body Map* terhadap 4 pekerja pada proses CO2. Tujuan dari penelitian tersebut untuk melakukan analisis biomekanika dan postur kerja terhadap bagian tangan pekerja. Penilaian postur pekerja menggunakan RULA, sedangkan bentuk perbaikan yang dilakukan adalah dengan merancang fasilitas baru berupa *VCM Hand Tool*.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis adalah dengan menggunakan pendekatan biomekanika untuk perbaikan postur kerja karyawan pada rantai produksi untuk meminimalisir resiko cedera pada aktivitas *manual material handling* dan dapat tercapainya kenyamanan kerja.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di CV Dwi Jasa Logam yang merupakan sebuah perusahaan dibidang pengecoran logam, produk yang dihasilkan berupa *part* untuk pembuatan mesin molen, yang terletak di daerah Ngowo, Kecamatan Ceper, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah, Indonesia. Objek yang menjadi fokus penelitian adalah postur kerja dari aktivitas *manual material handling* karyawan yang berjumlah 2 orang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2019

3.2 Pengumpulan Data

Untuk mempermudah penelitian maka harus didukung dengan data yang berhubungan dengan penelitian. Data yang akan digunakan pada penelitian kali ini, adalah:

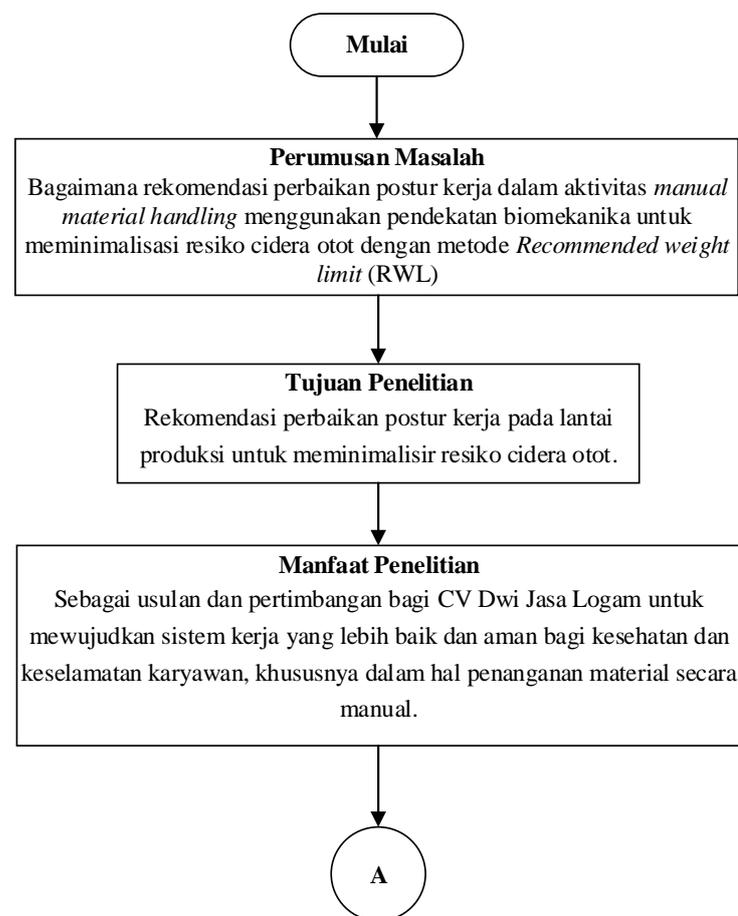
1. Jarak horizontal antara beban dengan pekerja (H) yang di dapat menggunakan meter ukur.
2. Jarak vertikal antara lantai dengan pegangan (V) yang di dapat menggunakan meter ukur.
3. Jarak lintasan dari tempat awal ke tempat yang dituju (D) yang di dapat menggunakan meter ukur.
4. Sudut putar pada saat memindahkan beban (A) yang di dapat menggunakan alat ukur busur.
5. Berat bagian tubuh (w) yang di dapat menggunakan neraca massa.
6. Jarak antara pusat L5/S1 ke pusat bagian tubuh serta ke pusat massa benda (d) yang di dapat menggunakan mistar.
7. Jarak L5/S1 ke pusat massa badan (b) yang di dapat menggunakan mistar.
8. Jarak sumbu pikul ke pusat masa beban (h) yang di dapat menggunakan mistar.
9. Sudut inklinasi badan relatif terhadap horizontal (Θ_h) yang di dapat menggunakan alat ukur busur.
10. Sudut inklinasi kaki relatif terhadap horizontal (Θ_T) yang di dapat

menggunakan alat ukur busur.

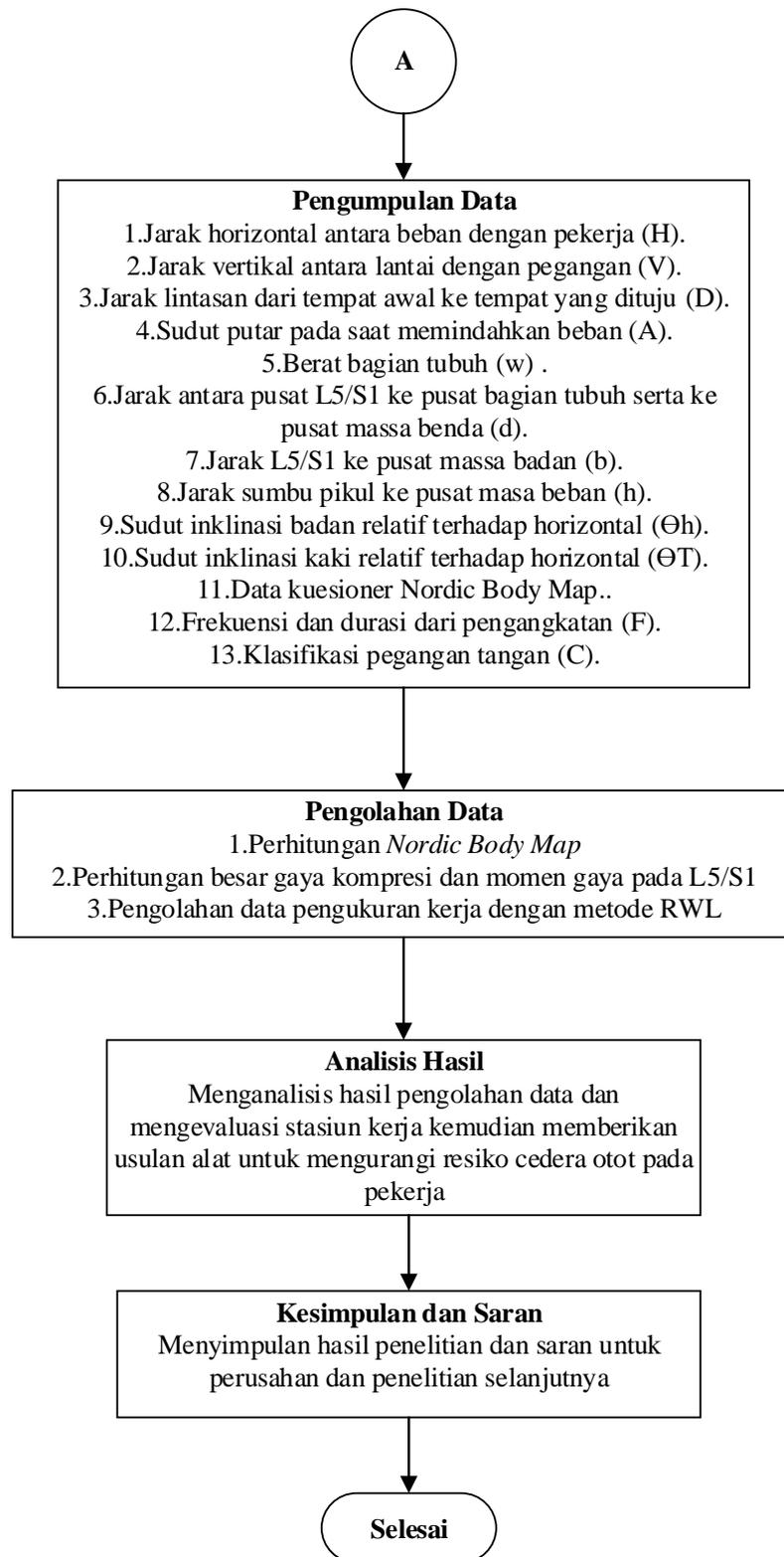
11. Data kuesioner Nordic Body Map, berfungsi untuk mengetahui posisi titik lelah otot pada pekerja dengan cara mengisi skoring tabel kuesioner.
12. Frekuensi dan durasi dari pengangkatan (F) yang di dapat dari jumlah pengangkatan beban per menit dan durasi kerja.
13. Klasifikasi pegangan tangan (C) berdasarkan kriteria masing-masing coupling.

3.3 Kerangka Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah seperti yang tertuang pada kerangka penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka penelitian



Gambar 3.1 Kerangka penelitian (Lanjutan)

3.4 Pengolahan Data

Dalam melakukan perbaikan postur kerja karyawan pada aktivitas pengangkatan *pulley* di stasiun kerja pengecoran untuk dibawa ke stasiun kerja permesinan, maka diperlukan tahap sebagai berikut:

1. Perhitungan *Nordic Body Map*

Metode *Nordic Body Map* yaitu metode penilaian yang sangat subjektif, artinya keberhasilan metode ini sangat tergantung dari kondisi dan situasi yang dialami karyawan pada saat dilakukannya penilaian dan juga tergantung dari keahlian dan pengalaman observer yang bersangkutan. Kuesioner *Nordic Body Map* yang telah disebarakan kepada 25 orang responden, selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat persentase keluhan sakit pada bagian tubuh tertentu yang dirasakan saat melakukan aktivitas pengangkatan *pulley*. Perhitungan persentase tersebut menggunakan Persamaan 2.5.

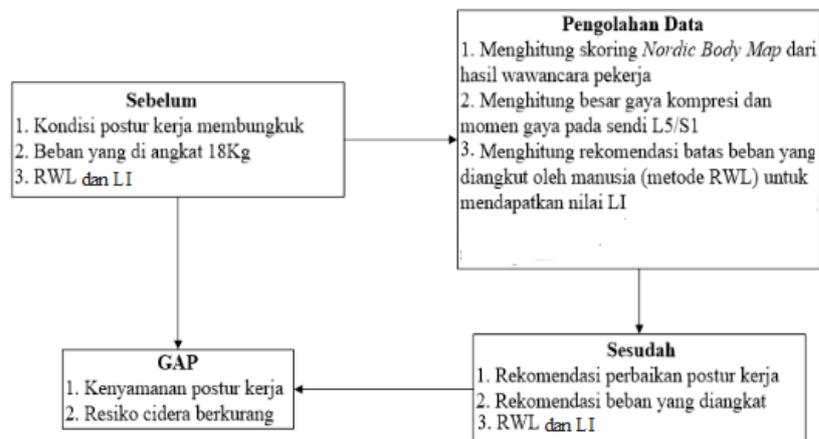
2. Besar gaya kompresi dan momen gaya pada sendi L5/S1

Perhitungan besar gaya kompresi dan momen gaya pada L5/S1 dengan perhitungan berat bagian tubuh seperti kepala, lengan dan batang tubuh. Selanjutnya data lainnya yang telah diperoleh pada pengumpulan data disubstitusikan ke dalam Persamaan 2.1 dan 2.2. Besar momen gaya yang didapatkan untuk 2 orang karyawan tersebut selanjutnya akan disesuaikan dengan kriteria besar momen gaya L5/S1 sesuai standar NIOSH, dimana besar momen kurang lebih yang diperbolehkan adalah sebesar 3,4KN atau 3400N.

3. Pengolahan data pengukuran kerja dengan metode RWL

Metode RWL merupakan rekomendasi batas beban yang dapat diangkut oleh manusia tanpa menimbulkan cedera meskipun pekerjaan tersebut dilakukan secara berulang dan dalam jangka waktu yang cukup lama. Pengolahan data RWL untuk kedua titik pengangkatan dimulai dengan menghitung faktor pengali horizontal, pengali vertikal, faktor pengali

frekuensi di kedua titikan pengangkatan yaitu titik origin dan destination menggunakan Persamaan 2.3 dan 2.4 untuk mengetahui apakah pengangkatan beban tersebut menimbulkan cedera atau tidak. Jika nilai $LI < 1$, maka pengangkatan beban tersebut tidak beresiko cedera dan sebaliknya jika $LI > 1$ maka pengangkatan beban tersebut beresiko cedera.



Gambar 3.2 Hubungan antara variabel penelitian

3.5 Analisis Hasil

Setelah seluruh data diperoleh maka dilakukan analisa hasil dengan memperhatikan nilai LI yang dihitung. Apabila nilai $LI < 1$ maka aktivitas yang dilakukan termasuk dalam kriteria baik namun jika $LI > 1$ maka aktivitas berpotensi menimbulkan cedera sehingga perlu dilakukan perbaikan yang akan menghindari cedera pada karyawan.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pada bagian akhir dari penelitian ini ditarik sebuah kesimpulan dan saran sesuai hasil pengolahan data. Kesimpulan dan saran tersebut berupa usulan perbaikan postur kerja dan usulan fasilitas kerja yang akan dibuat, dengan harapan kesimpulan dan saran ini dapat dijadikan *Standart Operating Procedur* (SOP) pada bagian aktivitas *manual material handling* di CV Dwi Jasa Logam.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data Kuesioner

Penyebaran kuesioner diberikan kepada 2 pekerja di stasiun pembubutan CV Dwi Jasa Logam. Pada tahap ini hasil dari kuesioner menyangkut data informasi diri responden, keadaan dan data keluhan biomekanis responden. Data diri kuesioner responden yang disebarkan untuk mengetahui data diri responden yang kemudian digolongkan menjadi beberapa data, jenis kelamin, usia lama kerja yang dapat dilihat pada lembar Lampiran A.

a. Data kuesioner tentang data diri pekerja

Data kuesioner tentang data diri pekerja berdasarkan jenis kelamin, yaitu 2 orang pekerja laki-laki. Proses produksi permesinan dikerjakan 2 orang di stasiun pembubutan yang dapat dilihat pada lembar Lampiran A.

Penyajian data kuesioner data diri responden berdasarkan nama responden, usia, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan dan lama kerja dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data diri kuesioner responden

No	Nama Responden	Usia (tahun)	Jenis Kelamin	Berat Badan (Kg)	Tinggi Badan (Cm)	Lama Kerja
1.	Arfik	26	Laki-laki	65	165	4
2.	Katno	42	Laki-laki	75	170	7

b. Data kuesioner biomekanis pekerja

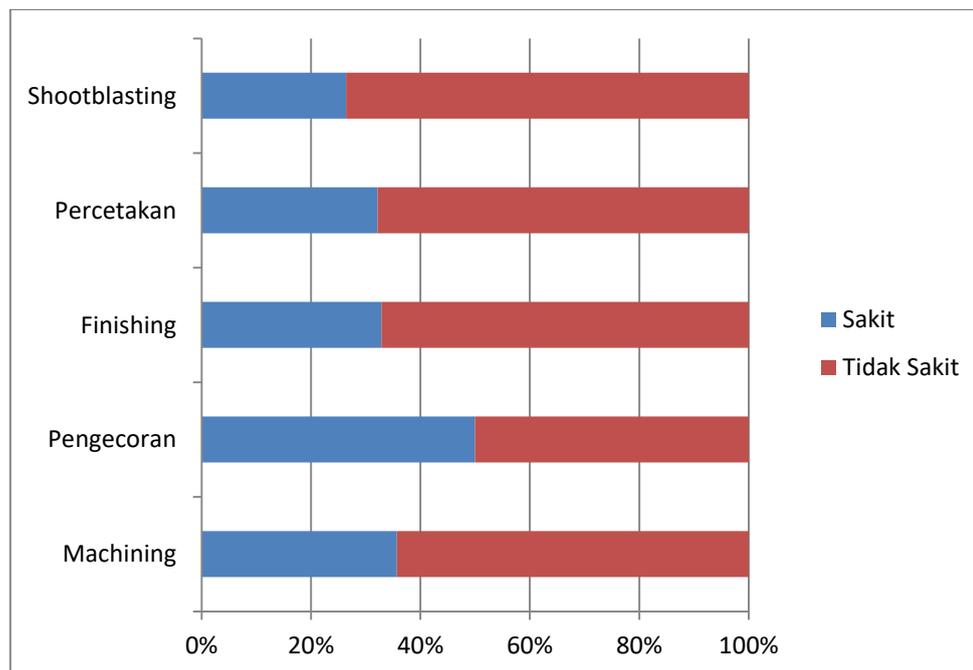
Kuesioner tentang data keluhan biomekanis adalah pengolahan lanjutan dari hasil data wawancara awal terhadap pekerja di CV Dwi Jasa Logam. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui lebih detail tingkat keluhan *Musculokeletal Disorder* (MSDs) dengan menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) yang dapat dilihat pada lembar Lampiran A. Data rekapitulasi kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) dapat dilihat pada Tabel 4.2.

	<i>Shootblasting</i>	<i>Percetakan</i>	<i>Finishing</i>	<i>Pengecoran</i>	<i>Machining</i>
Tidak Sakit	73.57%	67.86%	67.14%	59.29%	64.29%
Sakit	26.43%	32.14%	32.86%	40.71%	35.71%

Tabel 4.2 Rekapitulasi kuesioner *Nordic Body Map* (NBM)

Data keluhan tertinggi yaitu stasiun kerja pengecoran pada aktivitas kerja ini, pekerja mengangkat *pulley* dari stasiun kerja pengecoran ke stasiun kerja permesinan dalam posisi membungkuk dengan berat *pulley* yang beratnya 18 kg. Adapun rekap data tingkat keluhan untuk aktivitas kerja pengecoran dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Hasil persentase pada Tabel 4.2 diperjelas dengan diagram batang untuk mengetahui tingkat keluhan pada 5 stasiun kerja di CV Dwi Jasa Logam. Berikut adalah diagram batang dari hasil persentase kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Persentase keluhan pekerja

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Pengukuran Dimensi Pekerja

Pengukuran dimensi pekerja berfungsi untuk mengetahui sudut-sudut dan jarak beban angkut yang dilakukan pekerja saat bekerja. Gambar dimensi pekerja dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.2 Pengukuran dimensi pekerja 1 dalam pengangkatan *pulley* pada stasiun kerja pengecoran



Gambar 4.3 Pengukuran dimensi pekerja 1 dalam peletakan *pulley* pada stasiun kerja permesinan

Berdasarkan dimensi pekerja tersebut didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data pengukuran biomekanika

Pekerja	Aktifitas	Berat Badan (Kg)	T	b (m)	h (m)	k	θ_H	θ_T
1	Pengangkatan	65	90^0	0,16	0,36	140,25 ⁰	32,33 ⁰	42,68 ⁰
1	Peletakan	65	90^0	0,20	0,46	150,86 ⁰	80,51 ⁰	32,67 ⁰
2	Pengangkatan	75	90^0	0,25	0,54	144,45 ⁰	37,97 ⁰	46,96 ⁰
2	Peletakan	75	89,37 ⁰	0,14	0,48	155,26 ⁰	49,94 ⁰	38,55 ⁰

4.2.2 Perhitungan Gaya Kompresi pada Sendi L5/S1

Perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 untuk menentukan batas aman atau tidak aman pekerja dalam aktifitas pengangkatan beban. Penentuan ini ditentukan berdasarkan Persamaan 2.1. Hasil perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi gaya kompresi pada sendi L5/S1 dari 2 pekerja dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil rekapitulasi perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1

Pekerja	Aktifitas	β	α	ML5/S 1	PA	FA	FM	F C
1	Pengangkatan	44,85 0	84,85 0	168,98	2200	101,5 1	3156,25	3031,19
1	Peletakan	46,12 ⁰	86,12	212,91	400	21,69	4210,53	3405,38
2	Pengangkatan	45,37 ⁰	85,37	283,74	4300	200,43	5233,91	4555,74
2	Peletakan	45,99 ⁰	85,99	189,62	1900	87,02	3600,98	2675,21

Contoh perhitungan:

- Perhitungan nilai β dan α pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 \beta &= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2 \\
 &= -17,5 - 0,12 (90^0) + 0,23 (140,25^0) + 0,0012 (90^0) (140,25^0) \\
 &\quad + 0,005(90^0)^2 - 0,00075 (140,25^0)^2 \\
 &= 44,85^0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 40^{\circ} + \beta \\
 &= 40^{\circ} + 44,85^{\circ} \\
 &= 84,85^{\circ}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan ML5/S1 pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

ML5/S1 = Momen badan + Momen benda

$$\begin{aligned}
 &= b \cdot m \cdot g_{bw} + h \cdot m \cdot g_{load} \\
 &= (0,16 \times 65 \times 9,8) + (0,36 \times 18 \times 9,8) \\
 &= 168,98 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan PA pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 PA &= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T)) (ML5/S1)^{1,8}) / 0,0075 \\
 &= (10^{-4} (43 - 0,36 (32,33 + 42,68)) (168,98)^{1,8}) / 0,0075 \\
 &= 2200 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan FA pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 FA &= PA \times AA \\
 &= 2200 \text{ N/m}^2 \times 0,0465 \text{ m}^2 \\
 &= 101,51 \text{ N}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan FM pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 FM &= (b \cdot m \cdot g_{bw} + h \cdot m \cdot g_{load} - D(FA)) / E \\
 &= ((0,16 \times 65 \times 9,8) + (0,36 \times 20 \times 9,8) - 11(101,51)) / 5 \\
 &= 3156,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan FC pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 FC &= \text{Cos } \alpha \cdot m \cdot g_{bw} + \text{Cos } \alpha \cdot m \cdot g_{load} - FA + FM \\
 &= (\text{Cos } 84,85^{\circ} \times 65 \times 9,8) + (\text{Cos } 84,85^{\circ} \times 18 \times 9,8) - 101,51 + \\
 &\quad 3156,25 \\
 &= 3031,19 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan biomekanika pada pekerja 1 aktifitas pengangkatan didapatkan hasil gaya kompresi pada sendi L5/S1 sebesar 3031,19 N.

4.2.3 Pengukuran Jarak L5/S1 Pekerja

Pengukuran jarak L5/S1 pekerja berfungsi untuk mengetahui jarak horizontal antara pusat L5/S1 ke bagian tubuh (kepala, lengan, dan batang tubuh) serta jarak L5/S1 ke pusat massa benda.. Gambar jarak L5/S1 pekerja dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.4 Pengukuran jarak L5/S1 pekerja 1 dalam pengangkatan *pulley* pada stasiun kerja pengecoran



Gambar 4.4 Pengukuran jarak L5/S1 pekerja 1 dalam peletakan *pulley* pada stasiun kerja permesinan

Hasil perhitungan titik berat lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan Jarak L5/S1 pekerja tersebut didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan momen gaya pada sendi L5/S1 yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil rekapitulasi titik segmen tubuh dan jarak L5/S1 ke pusat

Pekerja	Berat Badan (Kg)	Titik Berat (N)				Jarak Pusat L5/S1 ke Pusat				E
		Wt	Wh	Wa	Wb	Dt	Dh	Da	Db	
1	65	318,5	53,51	32,49	176,4	41,49	41,49	33,02	37,25	6
1	65	318,5	53,51	32,49	176,4	46,55	43,51	36,41	44,38	6
2	75	367,5	61,74	37,49	176,4	41,33	49,64	31,98	57,58	6
2	75	367,5	61,74	37,49	176,4	41,96	44,39	33,08	56,89	6

Contoh perhitungan:

- Perhitungan titik berat *trunk* pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$= 50\% \times \text{berat badan} \times \text{gaya gravitasi bumi}$$

$$= 50\% \times 65 \times 9,8$$

$$= 318,5 \text{ N}$$
- Perhitungan titik berat *head* pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$= 8,4\% \times \text{berat badan} \times \text{gaya gravitasi bumi}$$

$$= 8,4\% \times 65 \times 9,8$$

$$= 53,51 \text{ N}$$
- Perhitungan titik berat *arm* pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$= 5,1\% \times \text{berat badan} \times \text{gaya gravitasi bumi}$$

$$= 5,1\% \times 65 \times 9,8$$

$$= 32,49 \text{ N}$$
- Perhitungan titik berat *arm* pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$= 5,1\% \times \text{berat badan} \times \text{gaya gravitasi bumi}$$

$$= 5,1\% \times 65 \times 9,8$$

$$= 32,49 \text{ N}$$

5. Perhitungan titik berat beban pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan
 = massa benda x gaya gravitasi bumi
 = 18 x 9,8
 = 176,4 N

Dari perhitungan biomekanika pada pekerja 1 aktifitas pengangkatan didapatkan hasil titik berat beban sebesar 176,4 N.

4.2.4 Perhitungan Momen Gaya pada Sendi L5/S1

Perhitungan momen gaya pada sendi L5/S1 untuk menentukan batas aman atau tidak aman pekerja dalam aktifitas pengangkatan beban. Penentuan ini ditentukan berdasarkan Persamaan 2.2. Hasil perhitungan momen gaya pada sendi L5/S1 lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi momen gaya pada sendi L5/S1 dari tiga pekerja dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil rekapitulasi perhitungan momen gaya pada sendi L5/S1

Pekerja	Aktifitas	Momen Gaya (N)
1	Pengangkatan	3846,4
1	Peletakan	4360,99
2	Pengangkatan	4934,93
2	Peletakan	4906,8
	Total	18048,42
	Rata-rata	4512,1

Contoh perhitungan:

1. Perhitungan momen gaya pada sendi L5/S1 pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\sum T_{L5/S1} = 0$$

$$(F_m \times E) - \sum(W \times d) = 0$$

$$(F_m \times 6) - \{(318,5 \times 41,49) + (53,51 \times 41,49) + (32,49 \times 33,02) + (176,4 \times 37,25)\} = 0$$

$$F_m = 23078,41 / 6 = 3846,4$$

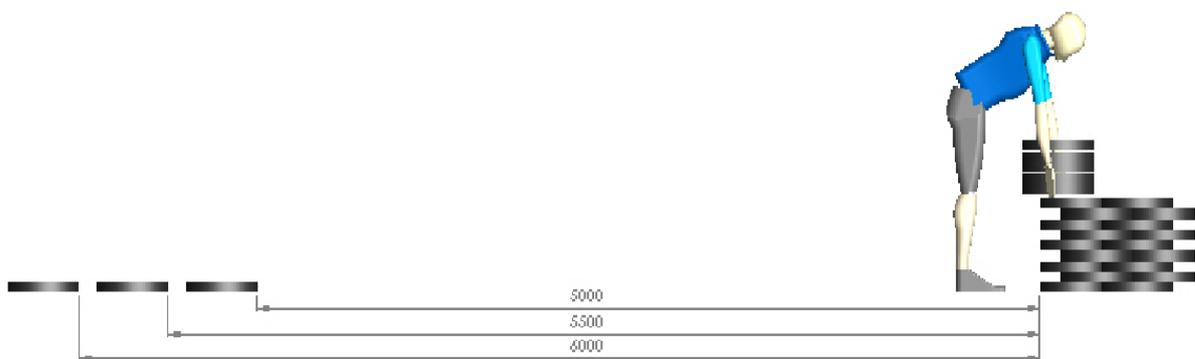
2. Perhitungan rata-rata momen gaya pada sendi L5/S1 2 pekerja saat aktifitas pengangkatan dan peletakan

$$\begin{aligned}\sum Fm &= 3846,4 + 4360,998 + 4934,932 + 4906,084 / 4 \\ &= 18048,42 / 4 \\ &= 4512,1\text{N}\end{aligned}$$

Dari perhitungan biomekanika pada pekerja 1 aktifitas pengangkatan didapatkan hasil momen gaya pada L5/S1 sebesar 3846,4 N dengan rata-rata 2 pekerja sebesar 4512,1 N yang melebihi batas standar angkat beban NIOSH sebesar 3400 N.

4.2.5 Perhitungan RWL dan LI

Perhitungan *Recommended Weight Limit* (RWL) untuk mengetahui dimana pekerja dapat bekerja dalam waktu tertentu tanpa timbulnya peningkatan resiko cedera punggung bagian bawah atau *low back pain*. *Lifting Index* (LI) untuk memperhitungkan tingkat tekanan fisik yang dikaitkan dengan tugas pengangkatan manual yang spesifik. Penentuan ini ditentukan berdasarkan Persamaan 2.3 dan 2.4. Berdasarkan layout Gambar 4.10 didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan RWL dan LI yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.6 *Layout* stasiun pengecoran

Tabel 4.7 Data pengukuran RWL dan LI berdasarkan *layout*

Posisi		Berat (kg)	Hand Action				Jarak (cm)	A		F	Durasi (jam)	C
Pekerja	Layer		O		D			O	D			
			H	V	H	V						
1	1	18	38	12,5	44,5	12,5	5000	180	180	0,55	± 3 jam	1
	2	18	38	12,5	44,5	25	5500	180	180	0,55	± 3 jam	1
	3	18	38	12,5	44,5	37,5	6000	180	180	0,55	± 3 jam	1
2	1	18	58	12,5	57	12,5	5000	180	180	0,55	± 3 jam	1
	2	18	58	12,5	57	25	5500	180	180	0,55	± 3 jam	1
	3	18	58	12,5	57	37,5	6000	180	180	0,55	± 3 jam	1

Hasil perhitungan data RWL dan LI lainnya dapat dilihat pada Lampiran C. Hasil rekapitulasi data untuk perhitungan RWL dan LI dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil rekapitulasi data perhitungan RWL dan LI

Posisi		Berat	LC	Objek						Tujuan					
Pekerja	Layer			HM	VM	DM	AM	FM	CM	HM	VM	DM	AM	FM	CM
1	1	18	23	0,66	0,81	0,83	0,42	0,55	1	0,56	0,81	0,83	0,42	0,55	1
	2	18	23	0,66	0,81	0,83	0,42	0,55	1	0,56	0,85	0,83	0,42	0,55	1
	3	18	23	0,66	0,81	0,83	0,42	0,55	1	0,56	0,89	0,83	0,42	0,55	1
2	1	18	23	0,43	0,81	0,83	0,42	0,55	1	0,44	0,81	0,83	0,42	0,55	1
	2	18	23	0,43	0,81	0,83	0,42	0,55	1	0,44	0,85	0,83	0,42	0,55	1
	3	18	23	0,43	0,81	0,83	0,42	0,55	1	0,44	0,89	0,83	0,42	0,55	1

Contoh perhitungan:

- Perhitungan faktor pengali horizontal (HM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{HM} &= 25 / \text{H} \\ &= 25 / 38 \\ &= 0,66 \end{aligned}$$

- Perhitungan faktor pengali vertikal (VM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{VM} &= 1 - (0,003|V - 75|) \\ &= 1 - (0,003|12,5 - 75|) \\ &= 1 - (0,003|-62,5|) \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

3. Perhitungan faktor pengali perpindahan (DM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} DM &= 0,82 + (4,5 / D) \\ &= 0,82 + (4,5 / 500) \\ &= 0,83 \end{aligned}$$

4. Perhitungan faktor pengali asimetrik (AM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} AM &= 1 - (0,0032A) \\ &= 1 - (0,0032 \times 180) \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

5. Perhitungan faktor pengali horizontal (HM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} HM &= 25 / H \\ &= 25 / 44,5 \\ &= 0,56 \end{aligned}$$

6. Perhitungan faktor pengali vertikal (VM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} VM &= 1 - (0,003|V - 75|) \\ &= 1 - (0,003|12,5 - 75|) \\ &= 1 - (0,003|-62,5|) \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

7. Perhitungan faktor pengali perpindahan (DM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} DM &= 0,82 + (4,5 / D) \\ &= 0,82 + (4,5 / 500) \\ &= 0,83 \end{aligned}$$

8. Perhitungan faktor pengali asimetrik (AM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} AM &= 1 - (0,0032A) \\ &= 1 - (0,0032 \times 180) \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan RWL dan LI lainnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Hasil rekapitulasi perhitungan RWL dan LI dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan RWL dan LI

Pekerja	Posisi <i>Layer</i>	Berat (kg)	Objek		Tujuan	
			RWL	LI	RWL	LI
1	1	18	2,38	7,57	2,03	8,87
	2	18	2,37	7,58	2,12	8,49
	3	18	2,37	7,59	2,21	8,13
2	1	18	1,56	11,56	1,58	11,36
	2	18	1,56	11,57	1,66	10,87
	3	18	1,55	11,58	1,73	10,82
		Total	11,79	57,45	11,33	58,24
		Rata-rata	1,97	9,58	1,89	9,69

Contoh perhitungan:

1. Perhitungan RWL objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned}
 RWL &= LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \\
 &= 23 \times 0,66 \times 0,81 \times 0,83 \times 0,42 \times 0,55 \times 1 \\
 &= 2,38
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan LI objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned}
 LI &= L / RWL \\
 &= 18 / 2,38 \\
 &= 7,57
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan RWL tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned}
 RWL &= LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \\
 &= 23 \times 0,56 \times 0,81 \times 0,83 \times 0,42 \times 0,55 \times 1 \\
 &= 2,03
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan LI tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned}
 LI &= L / RWL \\
 &= 18 / 2,03 \\
 &= 8,87
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan rata-rata RWL objek 2 pekerja

$$\begin{aligned}
 \sum RWL &= 11,79 / 6 \\
 &= 1,97
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan rata-rata LI objek 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum LI &= 57,45 / 6 \\ &= 9,58\end{aligned}$$

7. Perhitungan rata-rata RWL tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum RWL &= 11,33 / 6 \\ &= 1,89\end{aligned}$$

8. Perhitungan rata-rata LI tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum LI &= 58,24 / 6 \\ &= 9,69\end{aligned}$$

9. Perhitungan RWL objek dan tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\text{RWL Objek 2 pekerja} + \text{RWL Tujuan 2 pekerja} &= 1,97 + 1,89 / 2 \\ &= 1,93\end{aligned}$$

10. Perhitungan LI objek dan tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\text{LI Objek 2 pekerja} + \text{LI Tujuan 2 pekerja} &= 9,58 + 9,69 / 2 \\ &= 9,64\end{aligned}$$

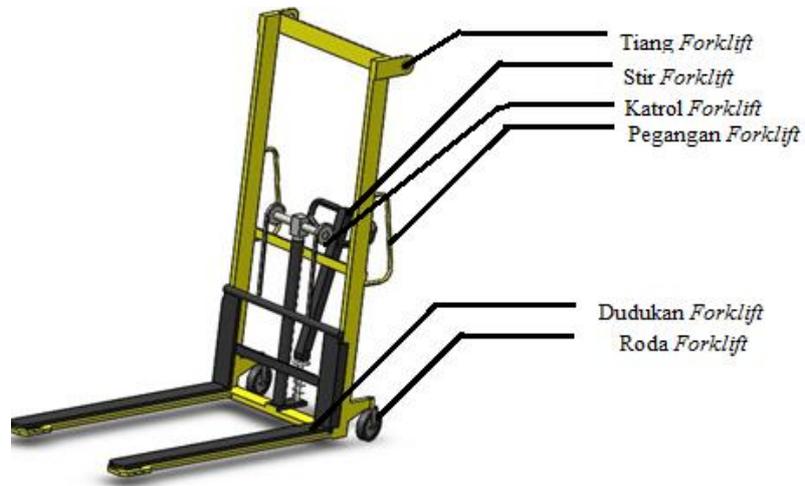
Dari perhitungan biomekanika pada pekerja 1 *layer* 1 didapatkan hasil *Recommended Weight Limit* (RWL) sebesar 2,38 dan *Lifting Index* (LI) sebesar 7,57 dengan rata-rata RWL 2 pekerja sebesar 1,93 dan LI sebesar 9,64 yang melebihi batas pengangkatan direkomendasikan NIOSH sebesar 1.

4.2.6 Menentukan Usulan Fasilitas Kerja

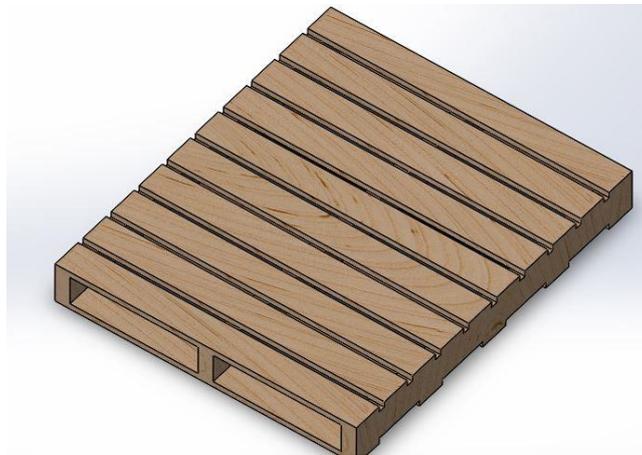
Dari perhitungan biomekanika di atas rata-rata RWL 2 pekerja sebesar 1,93 dan LI sebesar 9,64 yang melebihi batas pengangkatan direkomendasikan NIOSH sebesar 1.

Maka dari itu peneliti menyarankan usulan fasilitas kerja berupa *forklift* dan *pallet* untuk meminimalisir resiko cedera.

Kegunaan forklift tersebut untuk membantu pekerja memindahkan barang dari stasiun kerja pengecoran ke stasiun kerja permesinan, dengan lengan forklift yang bisa naik turun sesuai kebutuhan pekerja, kapasitas maksimal beban yang bisa diangkat sebesar 2000kg.



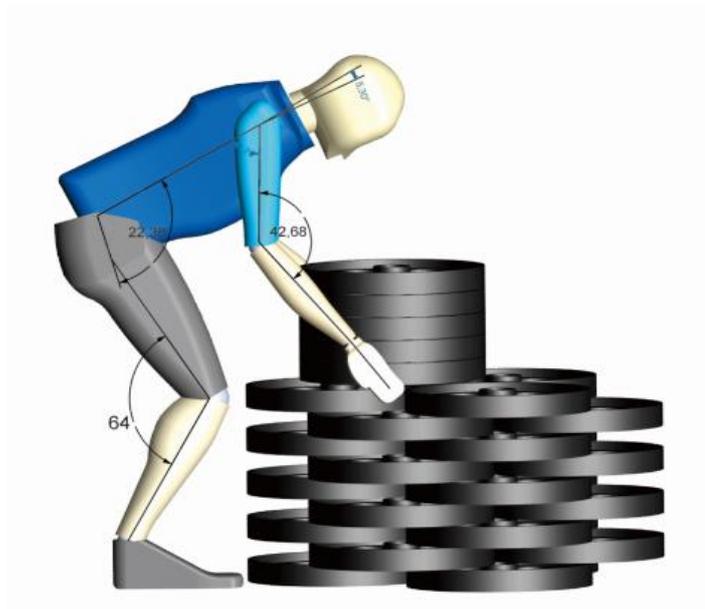
Gambar 4.7 Usulan fasilitas kerja *forklift*



Gambar 4.8 Usulan fasilitas kerja *pallet*

4.2.7 Pengukuran Dimensi Pekerja Sesudah Usulan Perbaikan

Pengukuran dimensi pekerja sesudah usulan perbaikan untuk mengetahui sudut-sudut dan jarak beban angkut yang dilakukan pekerja saat bekerja. Gambar dimensi pekerja sesudah usulan perbaikan dalam pengangkatan *pulley* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.9 Pengukuran dimensi pekerja 1 sesudah usulan perbaikan dalam pengangkatan *pulley* pada stasiun kerja pengecoran



Gambar 4.10 Pengukuran pekerja 1 sesudah usulan perbaikan dalam peletakan *pulley* pada stasiun kerja pengecoran

Berdasarkan dimensi pekerja sesudah usulan perbaikan tersebut didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 yang dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data pengukuran biomekanika sesudah usulan perbaikan

Pekerja	Aktifitas	Berat Badan (Kg)	T	b (cm)	h (cm)	k	θ_H	θ_T
1	Pengangkatan	65	5,79 ⁰	0,16	0,54	64 ⁰	22,38 ⁰	42,68 ⁰
1	Peletakan	65	6 ⁰	0	0,30	0 ⁰	29	46 ⁰
2	Pengangkatan	75	7,29 ⁰	0,25	0,48	0 ⁰	46,96 ⁰	46,96 ⁰
2	Peletakan	75	7,65 ⁰	0	0,34	0 ⁰	13 ⁰	53 ⁰

4.2.8 Perhitungan Gaya Kompresi pada Sendi L5/S1 Sesudah Usulan Perbaikan

Perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 sesudah usulan perbaikan untuk menentukan batas aman atau tidak aman pekerja dalam aktifitas pengangkatan beban. Penentuan ini ditentukan berdasarkan Persamaan 2.1. Hasil perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 sesudah usulan perbaikan lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil rekapitulasi gaya kompresi pada sendi L5/S1 dari tiga pekerja dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil rekapitulasi perhitungan gaya kompresi pada sendi L5/S1 sesudah usulan perbaikan

Pekerja	Aktifitas	β	α	M_H	P_A	F_A	F_m	F_c
1	Pengangkatan	-5,95	34,07	189,34	3300	152,47	3451,28	3659,92
1	Peletakan	-18,04	21,96	53,26	300	12,7	1037,15	1048,25
2	Pengangkatan	-18,11	21,89	256,93	2700	123,97	4865,88	4828,2
2	Peletakan	-18,13	21,87	59,98	400	18,92	1157,89	1239,24

Contoh perhitungan:

1. Perhitungan nilai β dan α pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned} \beta &= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2 \\ &= -17,5 - 0,12 (5,79^0) + 0,23 (64^0) + 0,0012 (5,79^0) (0^0) + \\ &\quad 0,005(5,79^0)^2 - 0,00075 (0^0)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -5,95^0 \\
 \alpha &= 40^0 + \beta \\
 &= 40^0 + (-5,95^0) \\
 &= 34,07^0
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan M_H pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

M_H = Momen badan + Momen benda

$$\begin{aligned}
 &= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g \\
 &= (0,16 \times 65 \times 9,8) + (0,54 \times 18 \times 9,8) \\
 &= 189,34 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan P_A pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 P_A &= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 0,0075 \\
 &= (10^{-4} (43 - 0,36 (22,38 + 42,68))(189,43)^{1,8}) / 0,0075 \\
 &= 3300 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan F_A pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 F_A &= P_A \times AA \\
 &= 3300 \text{ N/m}^2 \times 0,0465 \text{ m}^2 \\
 &= 152,47 \text{ N}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan F_m pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 F_m &= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(F_A)) / E \\
 &= ((0,16 \times 65 \times 9,8) + (0,54 \times 18 \times 9,8) - 11(152,47)) / 5 \\
 &= 3451,28 \text{ N}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan F_c pekerja 1 saat aktifitas pengangkatan

$$\begin{aligned}
 F_c &= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_m \\
 &= (\sin 34,07^0 \times 65 \times 9,8) + (\sin 34,07^0 \times 20 \times 9,8) - 152,47 + \\
 &\quad 3451,28 \\
 &= 3659,93 \text{ N}
 \end{aligned}$$

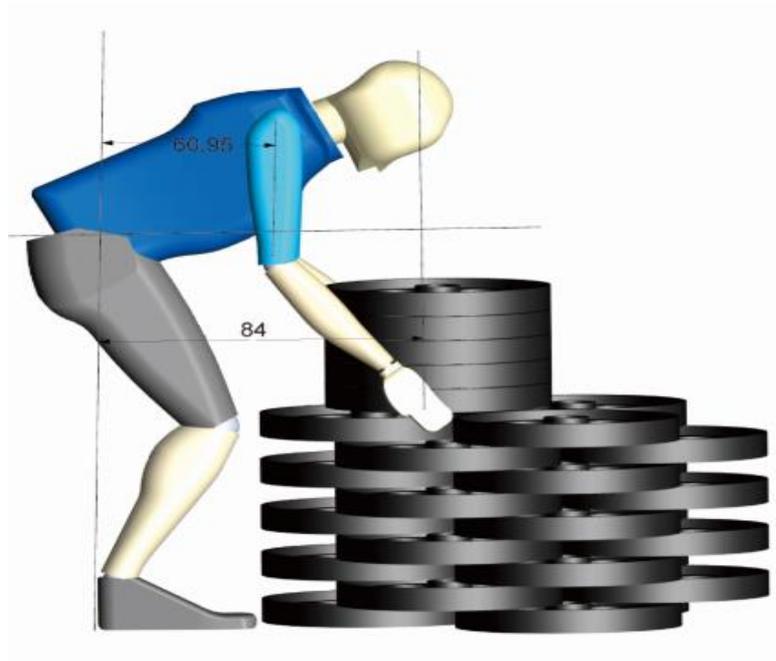
7. Perhitungan rata-rata F_c 2 pekerja saat aktifitas pengangkatan dan peletakan

$$\begin{aligned}
 \sum F_c &= 3659,92 + 1048,25 + 4828,2 + 239,24 / 4 \\
 &= 2693,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

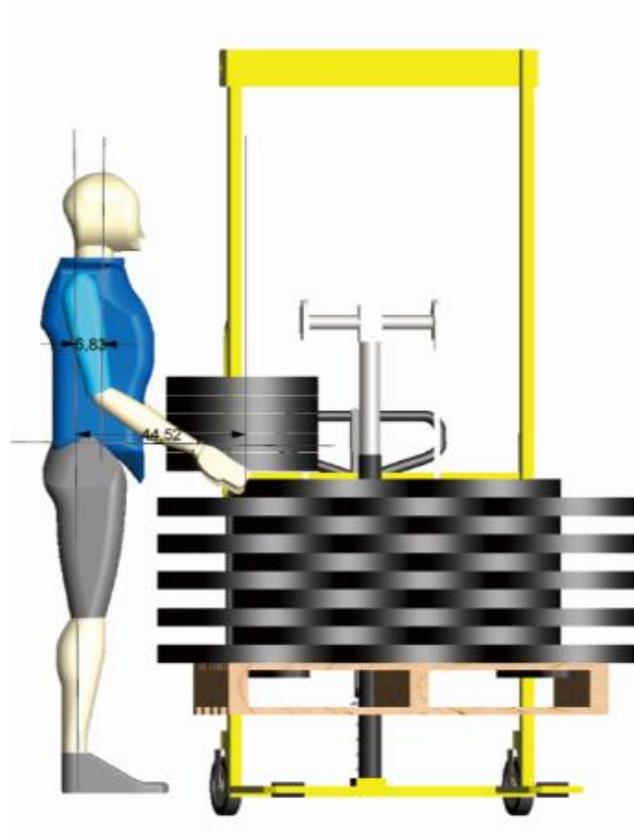
Dari perhitungan biomekanika pada pekerja 1 aktifitas pengangkatan sesudah usulan perbaikan didapatkan hasil gaya kompresi pada sendi L5/S1 sebesar 3659,93 N. Dengan rata-rata gaya kompresi pada pada sendi L5/S1 2 pekerja sebesar 2693,9 N yang dibawah batas maksimum angkat beban NIOSH sebesar 6500 N.

4.2.9 Pengukuran Jarak L5/S1 Pekerja Sesudah Usulan Perbaikan

Pengukuran jarak L5/S1 pekerja sesudah usulan berfungsi untuk mengetahui jarak horizontal antara pusat L5/S1 ke bagian tubuh (kepala, lengan, dan batang tubuh) serta jarak L5/S1 ke pusat massa benda.. Gambar jarak L5/S1 sesudah usulan pekerja dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.11 Pengukuran jarak L5/S1 pekerja 1 sesudah usulan dalam pengangkatan *pulley* pada stasiun kerja pengecoran



Gambar 4.12 Pengukuran jarak L5/S1 pekerja 1 sesudah usulan dalam peletakan *pulley* pada stasiun kerja pengecoran

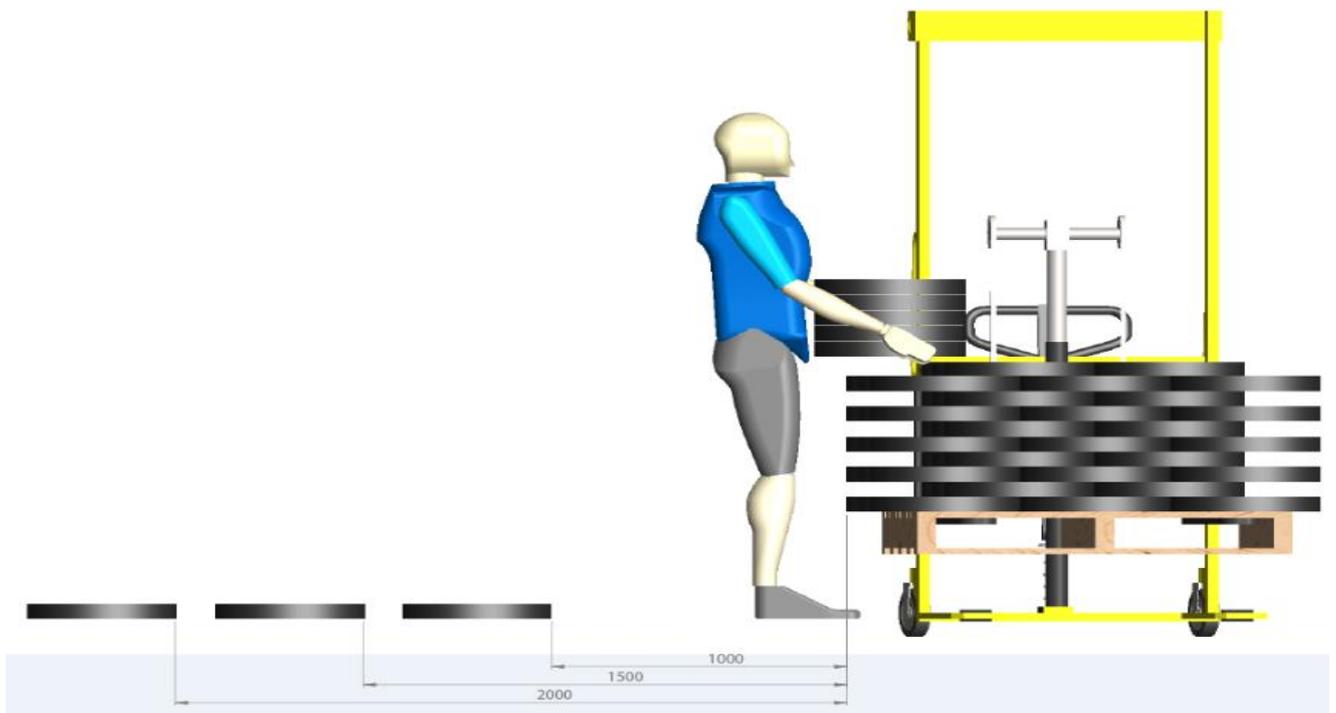
Hasil perhitungan titik berat lainnya dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan Jarak L5/S1 pekerja tersebut didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan momen gaya pada sendi L5/S1 yang dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil rekapitulasi titik segmen tubuh dan jarak L5/S1 ke pusat setelah usulan perbaikan.

Pekerja	Berat Badan (Kg)	Titik Berat (N)				Jarak Pusat L5/S1 ke Pusat				E
		Wt	Wh	Wa	Wb	Dt	Dh	Da	Db	
1	65	318,5	53,51	32,49	176,4	41,49	60,95	60,95	84	6
1	65	318,5	53,51	32,49	176,4	0	6,83	0	44,77	6
2	75	367,5	61,74	37,49	176,4	41,33	42,66	40,5	50,77	6
2	75	367,5	61,74	37,49	176,4	0	10,26	0	57	6

4.2.10 Perhitungan RWL dan LI Sesudah Usulan Perbaikan

Perhitungan *Recommended Weight Limit* (RWL) sesudah usulan perbaikan untuk mengetahui dimana pekerja dapat bekerja dalam waktu tertentu tanpa timbulnya peningkatan resiko cedera punggung bagian bawah atau *low back pain*. *Lifting Index* (LI) sesudah usulan perbaikan untuk memperhitungkan tingkat tekanan fisik yang dikaitkan dengan tugas pengangkatan manual yang spesifik. Penentuan ini ditentukan berdasarkan Persamaan 2.2 dan 2.3. Berdasarkan layout Gambar 4.13 didapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan RWL dan LI sesudah usulan perbaikan yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.



Gambar 4.13 *Layout* stasiun pengecoran sesudah usulan perbaikan

Tabel 4.13 Data pengukuran RWL dan LI berdasarkan *layout* sesudah usulan perbaikan

Posisi		Berat (kg)	Hand Action				Jarak (cm)	A		F	Durasi (jam)	C
Pekerja	Layer		O		D			O	D			
			H	V	H	V						
1	1	18	38	12,5	34	0	100	180	180	0,55	± 3 jam	1
	2	18	38	12,5	34	0	150	180	180	0,55	± 3 jam	1
	3	18	38	12,5	34	0	200	180	180	0,55	± 3 jam	1
2	1	18	58	12,5	31	0	100	180	180	0,55	± 3 jam	1
	2	18	58	12,5	31	0	150	180	180	0,55	± 3 jam	1
	3	18	58	12,5	31	0	200	180	180	0,55	± 3 jam	1

Hasil perhitungan data RWL dan LI sesudah usulan perbaikan lainnya dapat dilihat pada Lampiran C. Hasil rekapitulasi data untuk perhitungan RWL dan LI dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil rekapitulasi data perhitungan RWL dan LI sesudah usulan perbaikan

Posisi		Berat (kg)	LC	Objek						Tujuan					
Pekerja	Layer			HM	VM	DM	AM	FM	CM	HM	VM	DM	AM	FM	CM
1	1	18	23	0,66	0,81	5,32	0,42	0,55	1	0,74	0,78	5,32	0,42	0,55	1
	2	18	23	0,66	0,81	5,32	0,42	0,55	1	0,74	0,78	5,32	0,42	0,55	1
	3	18	23	0,66	0,81	5,32	0,42	0,55	1	0,74	0,78	5,32	0,42	0,55	1
2	1	18	23	0,43	0,81	5,32	0,42	0,55	1	0,81	0,78	5,32	0,42	0,55	1
	2	18	23	0,43	0,81	5,32	0,42	0,55	1	0,81	0,78	5,32	0,42	0,55	1
	3	18	23	0,43	0,81	5,32	0,42	0,55	1	0,81	0,78	5,32	0,42	0,55	1

Contoh perhitungan:

- Perhitungan faktor pengali horizontal (HM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned}
 \text{HM} &= 25 / H \\
 &= 25 / 3 \\
 &= 0,66
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan faktor pengali vertikal (VM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{VM} &= 1 - (0,003|V - 75|) \\ &= 1 - (0,003|12,6 - 75|) \\ &= 1 - (0,003|-62,5|) \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

3. Perhitungan faktor pengali perpindahan (DM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{DM} &= 0,82 + (4,5 / D) \\ &= 0,82 + (4,5 / 100) \\ &= 5,32 \end{aligned}$$

4. Perhitungan faktor pengali asimetrik (AM) objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{AM} &= 1 - (0,0032A) \\ &= 1 - (0,0032 \times 180) \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

5. Perhitungan faktor pengali horizontal (HM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{HM} &= 25 / H \\ &= 25 / 34 \\ &= 0,74 \end{aligned}$$

6. Perhitungan faktor pengali vertikal (VM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{VM} &= 1 - (0,003|V - 75|) \\ &= 1 - (0,003|0 - 75|) \\ &= 1 - (0,003|-75|) \\ &= 0,78 \end{aligned}$$

7. Perhitungan faktor pengali perpindahan (DM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{DM} &= 0,82 + (4,5 / D) \\ &= 0,82 + (4,5 / 100) \\ &= 5,32 \end{aligned}$$

8. Perhitungan faktor pengali asimetrik (AM) tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{AM} &= 1 - (0,0032A) \\ &= 1 - (0,0032 \times 180) \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan RWL dan LI lainnya dapat dilihat pada Lampiran C. Hasil rekapitulasi perhitungan RWL dan LI dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil rekapitulasi perhitungan RWL dan LI sesudah usulan perbaikan

Posisi		Berat (kg)	Objek		Tujuan	
Pekerja	Layer		RWL	LI	RWL	LI
1	1	18	15,25	1,18	16,26	1,11
	2	18	15,25	1,18	16,26	1,11
	3	18	15,25	1,18	16,26	1,11
2	1	18	9,99	1,8	17,83	1,01
	2	18	9,99	1,8	17,83	1,01
	3	18	9,99	1,8	17,83	1,01
		Total	75,74	8,94	102,28	6,36
		Rata-rata	12,62	1,49	17,05	1,06

Contoh perhitungan:

1. Perhitungan RWL objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{RWL} &= \text{LC} \times \text{HM} \times \text{VM} \times \text{DM} \times \text{AM} \times \text{FM} \times \text{CM} \\ &= 23 \times 0,66 \times 0,81 \times 5,32 \times 0,41 \times 0,55 \times 1 \\ &= 15,12 \end{aligned}$$

2. Perhitungan LI objek pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{LI} &= \text{L} / \text{RWL} \\ &= 18 / 15,25 \\ &= 1,18 \end{aligned}$$

3. Perhitungan RWL tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{RWL} &= \text{LC} \times \text{HM} \times \text{VM} \times \text{DM} \times \text{AM} \times \text{FM} \times \text{CM} \\ &= 23 \times 0,74 \times 0,78 \times 5,32 \times 0,42 \times 0,55 \times 1 \\ &= 16,26 \end{aligned}$$

4. Perhitungan LI tujuan pekerja 1 *layer* 1

$$\begin{aligned} \text{LI} &= \text{L} / \text{RWL} \\ &= 18 / 16,26 \\ &= 1,11 \end{aligned}$$

5. Perhitungan rata-rata RWL objek 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum RWL &= 75,74 / 6 \\ &= 12,62\end{aligned}$$

6. Perhitungan rata-rata LI objek 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum LI &= 8,94 / 6 \\ &= 1,49\end{aligned}$$

7. Perhitungan rata-rata RWL tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum RWL &= 102,28 / 6 \\ &= 17,05\end{aligned}$$

8. Perhitungan rata-rata LI tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\sum LI &= 6,35 / 6 \\ &= 1,06\end{aligned}$$

9. Perhitungan RWL objek dan tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\text{RWL Objek 2 pekerja} + \text{RWL Tujuan 2 pekerja} &= 12,62 + 17,6 / 2 \\ &= 14,84\end{aligned}$$

10. Perhitungan LI objek dan tujuan 2 pekerja

$$\begin{aligned}\text{LI Objek 2 pekerja} + \text{LI Tujuan 2 pekerja} &= 1,49 + 1,06 / 2 \\ &= 1,27\end{aligned}$$

Dari perhitungan pada pekerja 1 *layer* 1 sesudah usulan perbaikan didapatkan hasil *Recommended Weight Limit* (RWL) sebesar 12,62 dan *Lifting Index* (LI) sebesar 1,49 dengan rata-rata RWL 2 pekerja sebesar 14,84 dan LI sebesar 1,27 yang melebihi batas pengangkatan direkomendasikan NIOSH sebesar 1.

4.3 Analisis Hasil

Analisis hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis Hasil RWL dan LI

Hasil observasi awal yang dilakukan terdapat 2 orang operator yang melakukan aktivitas pengangkatan *pulley* dengan mengangkat dari tempat yang satu ke tempat yang lainnya dengan berat 18 kg dan durasi kerja 3 jam pengangkatan per hari. Pekerjaan tersebut dilakukan dengan posisi tubuh

membungkuk. Hasil penelitian ini didapatkan perhitungan momen gaya dan LI untuk aktifitas pengangkatan dan peletakkan pada pekerja 1 dan pekerja 2,. Rata-rata nilai momen gaya yang didapatkan adalah 4512,1N atau lebih dari 3400 N yang berarti aktifitas dengan kategori berat. Sedangkan untuk nilai LI didapatkan nilai 9,64 atau nilai $LI > 1$, berat beban yang diangkat melebihi batas pengangkatan yang direkomendasikan maka aktivitas tersebut mengandung resiko cedera tulang belakang.

2. Analisis Hasil Usulan Fasilitas Kerja

Berdasarkan nilai momen gaya dan LI yang telah didapatkan, maka usulan perbaikan fasilitas kerja diperlukan untuk mendapatkan kondisi kerja yang baik sehingga pekerja dapat melakukan aktivitas dengan nyaman dan menghasilkan produk yang optimal serta meminimalisasi resiko cedera otot.

3. Analisis Hasil RWL dan LI Sesudah Usulan Perbaikan

Hasil dari usulan perbaikan fasilitas kerja didapatkan perhitungan momen gaya dan LI untuk aktifitas pengangkatan dan peletakkan pada pekerja 1 dan pekerja 2, setelah usulan perbaikan. Rata-rata nilai momen gaya yang didapatkan adalah 2693,9 N atau kurang dari 6500 N yang berarti aktifitas dengan kategori aman dan minimum resiko cedera tulang belakang. Sedangkan untuk nilai LI didapatkan nilai 1,27 atau nilai tersebut turun sebanyak 8,37 dari kondisi awal sebelum adanya usulan perbaikan fasilitas kerja.

4. Usulan Alternatif LI Menggunakan Faktor Pengali Frekuensi (FM)

Berdasarkan Durasi Pengangkatan

Berdasarkan perhitungan LI sesudah usulan perbaikan, nilai LI melebihi batas pengangkatan yang direkomendasikan, yaitu 1,27. Hal ini membutuhkan usulan alternatif LI berdasarkan durasi pengangkatan karena nilai $LI > 1$. Perbandingan usulan alternatif LI dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Hasil rekapitulasi data perhitungan usulan alternatif LI menggunakan FM dari durasi pengangkatan

Pekerja	Fork Lift/min	Work Duration (Lifting Index)					
		≤ 1 jam		1-2 jam		2-8 jam	
		Objek	Tujuan	Objek	Tujuan	Objek	Tujuan
1	3	0,74	0,69	0,82	0,77	1,18	1,11
2	3	0,74	0,69	0,82	0,77	1,18	1,11
	Total	1,4	1,38	1,64	1,64	2,36	2,21
	Rata-rata	0,74	0,69	1,82	1,82	0,77	1,11

Perhitungan pada Tabel 4.18 dapat dilihat pada Lampiran C didapatkan nilai LI dengan durasi pengangkatan 1-2 jam bernilai 0,80 dan nilai LI dengan durasi pengangkatan di bawah 1 jam bernilai 0,71. Hal tersebut menunjukkan nilai LI yang tidak melebihi batas pengangkatan yang direkomendasikan adalah nilai LI dengan durasi pengangkatan di bawah 1 jam. Alternatif ini tidak dapat diaplikasikan pada keadaan perusahaan dikarenakan durasi pengangkatan di bawah 1 jam. Hal tersebut menyebabkan penurunan total jam kerja sehingga menurunkan kuantitas produksi pada CV Dwi Jasa Logam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil dapat diambil kesimpulan bahwa usulan perbaikan fasilitas kerja menggunakan pendekatan Biomekanika sesuai ukuran pekerja pada CV Dwi Jasa Logam yaitu :

- a. Postur kerja pada stasiun pengecoran dari membungkuk menjadi berdiri yang bertujuan meminimalisir resiko cedera otot dengan nilai momen gaya sebelum perbaikan 4512,1 N dan sesudah perbaikan 2693,9 N dengan selisih 1818,2 N. Nilai LI sebelum perbaikan 9,61 dan sesudah perbaikan 1,27 dengan selisih 8,34.
- b. Usulan perbaikan fasilitas kerja adalah *fork lift* yang bisa naik dan turun dengan dimensi panjang 102,92 cm, lebar 76,29 cm dan tinggi 192,2cm.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian yang akan datang sebagai berikut:

1. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menghitung kelelahan beban kerja menggunakan pendekatan fisiologi.

Hasil penelitian ini diharapkan sebagai bahan pertimbangan untuk CV Dwi Jasa Logam untuk perbaikan fasilitas kerja pada stasiun kerja pengecoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Iridiastadi, H., & Yassierli. (2014). *Ergonomi Suatu Pengantar*. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya.
- Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. B., Kroemer, K. E. (2004). *Ergonomics : How to Design for Ease and Efficiency*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Kurnianto, R. Y., & Mulyono. (2014). *Gambaran Postur Kerja Dan Resiko Terjadinya Muskuloskeletal Pada Pekerja Bagian Welding Di Area Workshop Bay 4.2 PT. Alstom Power Energy Systems Indonesia, The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health and Environment*, Vol. 1 No.2, hal 61-72.
- Mas'idah, E. (2009). *Analisa Manual Material Handling (MMH) dengan Menggunakan Metode Biomekanika untuk Mengidentifikasi Resiko Cidera Tulang Belakang*. Semarang : Fakultas Teknologi Industri, Universitas Sultan Agung.
- Muslimah, E. (2008). *Analisis Manual Material Handling (MMH) Menggunakan Metode NIOSH Equation di Gudang BULOG (Badan Urusan Logistik)*. Surakarta : Jurusan Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nurmianto, E. (1991). *Ergonomi Konsep Dasar Dan Aplikasinya*. Prima Printing, Surabaya.
- Nurmianto, E. (2003). *Ergonomi Konsep Dasar Dan Aplikasinya*. Surabaya: Guna Widya.
- Nurmianto, E. (2004). *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Edisi Pertama. Surabaya : PT. Guna Widya.
- Pratiwi, I. (2011). *Analisis Manual Material Handling Menggunakan NIOSH Equation*. Surakarta : Jurusan Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Roy, Heran-Le. (1999). *Manual Handling and Related Occupation Hazard*. (dalam Al Bugis, 2009)
- Sanders, Mark., and Ernest McCormick. (1993). *Human Factors in Engineering and Design 7th Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Suhadri, B. (2008). *Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi Industri*. Departemen Pendidikan Nasional
- Suma'mur. 1998. *Perusahaan dan Kesehatan Kerja*, Jakarta: CV. Haji masagung.
- Sutalaksana, dkk.(1979). *Teknik dan Tata Cara Kerja*. Bandung : Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung.
- Tarwaka, S. H., & Sudiajeng, L. (2004). *Ergonomi untuk keselamatan, kesehatan kerja dan produktivitas*. Surakarta : Universitas Islam Batik Surakarta.
- Tarwaka, Solichul H.B, Lilik S. 2004. *Ergonomi untuk Keselamatan Kerja dan Produktivitas*. Surakarta: Uniba Press
- Tayyari, F. 1997. *Occupational Ergonomics*. London: Chapman and Hall.

- Waters, T. R., & Bhattacharya, A. (1996). *Physiological Aspects of Neuromuscular Function*. Dalam: Bhattacharya, A. & McGlothlin, J. D., eds. *Occupational Ergonomics*. Marcel Dekker Inc.
- Wignjosoebroto, S. (1995). *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu, Teknik Analisis Untuk Peningkatan Produktivitas Kerja*. Edisi Pertama. Jakarta : PT. Guna Widya.
- Wignjosoebroto, S. (2000). *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*. Edisi Pertama. Surabaya : PT. Guna Widya
- Wilson, J.R., and Corlett E.N.(1995), *Evaluation of Human Work*, Taylor and Franchis Ltd, Medicine 13, no 1-14

LAMPIRAN A

1. Kuesioner Data Varian

Kepada:

Yth. Responden

Di Tempat

Dengan Hormat,

Saya:

Nama : Arvandi Ari Pradiska

NPM : 122140064

Jurusan : Teknik Industri

Fakultas : Teknik Industri

Universitas : Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Mengharapkan partisipasi Bapak/Ibu dalam pengisian kuesioner ini untuk menjadi responden. Atas kesediaan dan waktu yang diberikan, saya ucapkan terimakasih.

Yogyakarta,

Hormat saya,

Arvandi Ari Pradiska

KUESIONER
NORDIC BODY MAP

Identitas Diri

Nama :

Jenis Kelamin : L / P

Umur : Tahun

Jawablah pertanyaan berikut ini dengan memberi tanda ()
pada kolom pertanyaan sesuai kondisi/perasaan saudara.

No	Jenis Keluhan	Sebelum Kerja		Sesudah Kerja	
		Ya	Tidak	Ya	Tidak
0	Sakit/kaku di leher bagian atas				
1	Sakit/kaku di leher bagian bawah				
2	Sakit di bahu kiri				
3	Sakit di bahu kanan				
4	Sakit pada lengan atas kiri				
5	Sakit di punggung				
6	Sakit pada lengan atas kanan				
7	Sakit pada pinggang				
8	Sakit pada bokong				
9	Sakit pada pantat				
10	Sakit pada siku kiri				
11	Sakit pada siku kanan				
12	Sakit pada lengan bawah kiri				
13	Sakit pada lengan bawah kanan				
14	Sakit pada pergelangan tangan kiri				
15	Sakit pada pergelangan tangan kanan				
16	Sakit pada tangan kiri				
17	Sakit pada tangan kanan				
18	Sakit pada paha kiri				
19	Sakit pada paha kanan				
20	Sakit pada lutut kiri				
21	Sakit pada lutut kanan				
22	Sakit pada betis kiri				
23	Sakit pada betis kanan				
24	Sakit pada pergelangan kaki kiri				
25	Sakit pada pergelangan kaki kanan				
26	Sakit pada kaki kiri				
27	Sakit pada kaki kanan				

LAMPIRAN B

1. Perhitungan Gaya Kompresi pada Sendi L5/S1

1.1 Perhitungan nilai β dan α

Pekerja	Aktifitas	Nilai	
		β	α
1	Peletakan	$= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2$ $= -17,5 - 0,12 (90^0) + 0,23 (150,86^0) + 0,0012 (90^0) (150,86^0) +$ $0,005(90^0)^2 - 0,00075 (150,86^0)^2$ $= 46,12^0$	$= 40^0 + \beta$ $= 40^0 + 46,12^0$ $= 86,12^0$
2	Pengangkatan	$= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2$ $= -17,5 - 0,12 (90^0) + 0,23 (144,45^0) + 0,0012 (90^0) (144,45^0) +$ $0,005(90^0)^2 - 0,00075 (144,45^0)^2$ $= 45,37^0$	$= 40^0 + \beta$ $= 40^0 + 45,37^0$ $= 85,37^0$
	Peletakan	$= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2$ $= -17,5 - 0,12 (89,37^0) + 0,23 (155,26^0) + 0,0012 (89,37^0) (155,26^0) +$ $0,005(89,37^0)^2 - 0,00075 (155,26^0)^2$ $= 45,99^0$	$= 40^0 + \beta$ $= 40^0 + 45,99^0$ $= 85,99^0$

1.2 Perhitungan M_H dan P_A

Pekerja	Aktifitas	M_H	P_A
1	Peletakan	$= \text{Momen badan} + \text{Momen benda}$ $= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g$ $= (0,20 \times 65 \times 9,8) + (0,46 \times 18 \times 9,8)$ $= 212,91 \text{ Nm}$	$= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 75$ $= (10^{-4} (43 - 0,36 (80,51 + 32, 67))(212,91)^{1,8}) / 75$ $= 0,04 \text{ N/cm}^2$
2	Pengangkatan	$= \text{Momen badan} + \text{Momen benda}$ $= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g$ $= (0,25 \times 75 \times 9,8) + (0,54 \times 18 \times 9,8)$ $= 283,74 \text{ Nm}$	$= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 75$ $= (10^{-4} (43 - 0,36 (37,97 + 46,96))(283,74)^{1,8}) / 75$ $= 0,43 \text{ N/cm}^2$
	Peletakan	$= \text{Momen badan} + \text{Momen benda}$ $= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g$ $= (0,14 \times 75 \times 9,8) + (0,48 \times 18 \times 9,8)$ $= 189,62 \text{ Nm}$	$= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 75$ $= (10^{-4} (43 - 0,36 (49,94 + 38,55))(189,62)^{1,8}) / 75$ $= 0,19 \text{ N/cm}^2$

1.3 Perhitungan F_A dan F_M

Pekerja	Aktifitas	F_A	F_M
1	Peletakan	$= P_A \times AA$ $= 0,04 \text{ N/cm}^2 \times 465 \text{ cm}^2$ $= 21,69 \text{ N}$	$= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(FA)) / E$ $= ((20,6 \times 65 \times 9,8) + (46,31 \times 18 \times 9,8) - 11(21,69)) / 5$ $= 4210,53 \text{ N}$
2	Pengangkatan	$= P_A \times AA$ $= 0,43 \text{ N/cm}^2 \times 465 \text{ cm}^2$ $= 200,43 \text{ N}$	$= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(FA)) / E$ $= ((25,51 \times 75 \times 9,8) + (54,56 \times 18 \times 9,8) - 11(200,43)) / 5$ $= 5233,91 \text{ N}$

Pekerja	Aktifitas	F_A	F_M
2	Peletakan	$= P_A \times AA$ $= 0,19 \text{ N/cm}^2 \times 465 \text{ cm}^2$ $= 87,02 \text{ N}$	$= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(FA)) / E$ $= ((14,02 \times 75 \times 9,8) + (48,87 \times 18 \times 9,8) - 11(87,02)) / 5$ $= 3600,98 \text{ N}$

1.4 Perhitungan F_C

Pekerja	Aktifitas	F_C
1	Peletakan	$= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_m$ $= (\sin 86,12^\circ \times 65 \times 9,8) + (\sin 86,12^\circ \times 18 \times 9,8) - 21,69 + 3405,38$ $= 3405,38 \text{ N}$
2	Pengangkatan	$= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_m$ $= (\sin 85,37^\circ \times 75 \times 9,8) + (\sin 85,37^\circ \times 18 \times 9,8) - 200,43 + 5233,91$ $= 4555,74 \text{ N}$
	Peletakan	$= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_m$ $= (\sin 85,99^\circ \times 75 \times 9,8) + (\sin 82,28^\circ \times 18 \times 9,8) - 87,02 + 3600,98$ $= 2675,21 \text{ N}$
Total		$= 3031,19 + 30405,38 + 4555,74 + 2675,21$ $= 13667,52$
Rata-rata		$= 43304,62 / 4$ $= 3416,88$

2. Perhitungan Gaya Kompresi pada Sendi L5/S1 Sesudah Usulan Perbaikan

2.1 Perhitungan nilai β dan α

Pekerja	Aktifitas	Nilai	
		β	α
1	Peletakan	$= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2$ $= -17,5 - 0,12 (6) + 0,23 (0^0) + 0,0012 (6^0) (0^0) + 0,005(6)^2 - 0,00075 (0^0)^2$ $= -18,04^0$	$= 40^0 + \beta$ $= 40^0 + (-18,04^0)$ $= 21,96^0$
2	Pengangkatan	$= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2$ $= -17,5 - 0,12 (7,92^0) + 0,23 (25^0) + 0,0012 (7,92^0) (25^0) + 0,005(7,92^0)^2 - 0,00075 (25^0)^2$ $= -18,11^0$	$= 40^0 + \beta$ $= 40^0 + (-18,11^0)$ $= 21,89^0$
	Peletakan	$= -17,5 - 0,12T + 0,23K + 0,0012TK + 0,005T^2 - 0,00075 K^2$ $= -17,5 - 0,12 (7,65^0) + 0,23 (0^0) + 0,0012 (7,65^0) (0^0) + 0,005(7,65^0)^2 - 0,00075 (0^0)^2$ $= -18,13^0$	$= 40^0 + \beta$ $= 40^0 + (-18,13^0)$ $= 21,87^0$

2.2 Perhitungan M_H dan P_A

Pekerja	Aktifitas	M_H	P_A
1	Peletakan	$= \text{Momen badan} + \text{Momen benda}$ $= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g$ $= (0,01 \times 65 \times 9,8) + (0,30 \times 18 \times 9,8)$ $= 53,26 \text{ Nm}$	$= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 75$ $= (10^{-4} (43 - 0,36 (29 + 46))(53,26)^{1,8}) / 75$ $= 0,03 \text{ N/cm}^2$
2	Pengangkatan	$= \text{Momen badan} + \text{Momen benda}$ $= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g$ $= (0,25 \times 75 \times 9,8) + (0,48 \times 18 \times 9,8)$ $= 256,93 \text{ Nm}$	$= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 75$ $= (10^{-4} (43 - 0,36 (46,96 + 46,96))(256,93)^{1,8}) / 75$ $= 0,27 \text{ N/cm}^2$
	Peletakan	$= \text{Momen badan} + \text{Momen benda}$ $= b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g$ $= (0,01 \times 75 \times 9,8) + (0,34 \times 18 \times 9,8)$ $= 59,98 \text{ Nm}$	$= (10^{-4} (43 - 0,36 (\theta_H + \theta_T))(M_H)^{1,8}) / 75$ $= (10^{-4} (43 - 0,36 (13 + 53))(59,98)^{1,8}) / 75$ $= 0,04 \text{ N/cm}^2$

2.3 Perhitungan F_A dan F_M

Pekerja	Aktifitas	F_A	F_M
1	Peletakan	$= P_A \times AA$ $= 0,03 \text{ N/cm}^2 \times 465 \text{ cm}^2$ $= 12,7 \text{ N}$	$= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(FA)) / E$ $= ((0,1 \times 65 \times 9,8) + (30,19 \times 18 \times 9,8) - 11(12,7)) / 5$ $= 1037,15 \text{ N}$
2	Pengangkatan	$= P_A \times AA$ $= 0,27 \text{ N/cm}^2 \times 465 \text{ cm}^2$ $= 123,97 \text{ N}$	$= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(FA)) / E$ $= ((0,25 \times 75 \times 9,8) + (48,43 \times 18 \times 9,8) - 11(123,97)) / 5$ $= 4865,88 \text{ N}$
	Peletakan	$= P_A \times AA$ $= 0,04 \text{ N/cm}^2 \times 465 \text{ cm}^2$ $= 18,92 \text{ N}$	$= (b \cdot m_{bw} \cdot g + h \cdot m_{load} \cdot g - D(FA)) / E$ $= ((0,1 \times 75 \times 9,8) + (34 \times 18 \times 9,8) - 11(18,92)) / 5$ $= 1157,89 \text{ N}$

2.4 Perhitungan F_C

Pekerja	Aktifitas	F_C
1	Peletakan	$= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_M$ $= (\sin 21,96^\circ \times 65 \times 9,8) + (\sin 21,96^\circ \times 18 \times 9,8) - 12,7 + 1037,15$ $= 1048,25 \text{ N}$
2	Pengangkatan	$= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_M$ $= (\sin 21,89^\circ \times 75 \times 9,8) + (\sin 22,89^\circ \times 20 \times 9,8) - 123,97 + 4865,88$ $= 4828,2 \text{ N}$
	Peletakan	$= \sin \alpha \cdot m_{bw} \cdot g + \sin \alpha \cdot m_{load} \cdot g - F_A + F_M$ $= (\sin 21,87^\circ \times 75 \times 9,8) + (\sin 21,87^\circ \times 18 \times 9,8) - 18,92 + 1157,89$ $= 1239,24 \text{ N}$
	Total	$= 3659,92 + 1048,25 + 4828,2 + 1239,24$ $= 10775,61$
	Rata-rata	$= 10775,61 / 4$ $= 2693,9$

LAMPIRAN C

Perhitungan *Recommended Weight Limit (RWL)* dan *Lifting Index (LI)*

2.5 Perhitungan Faktor Pengali Horizontal (HM), Faktor Pengali Vertikal (VM), Faktor Pengali Perpindahan (DM), dan Faktor Pengali Asimetrik (AM) Objek

Pekerja	Layer	HM	VM	DM	AM
1	2	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 38$	$= 1 - (0,003 12,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 550)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,66$	$= 1 - (0,003 -62,5)$ $= 0,81$	$= 0,83$	$= 0,42$
	3	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 38$	$= 1 - (0,003 12,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 600)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,66$	$= 1 - (0,003 -62,5)$ $= 0,81$	$= 0,83$	$= 0,42$
2	1	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 58$	$= 1 - (0,003 12,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 500)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,43$	$= 1 - (0,003 -62,5)$ $= 0,81$	$= 0,83$	$= 0,42$
	2	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 58$	$= 1 - (0,003 12,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 550)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,43$	$= 1 - (0,003 -62,5)$ $= 0,81$	$= 0,83$	$= 0,42$
	3	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 58$	$= 1 - (0,003 12,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 600)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,43$	$= 1 - (0,003 -62,5)$ $= 0,81$	$= 0,83$	$= 0,42$

2.6 Perhitungan Faktor Pengali Horizontal (HM), Faktor Pengali Vertikal (VM), Faktor Pengali Perpindahan (DM), dan Faktor Pengali Asimetrik (AM) Tujuan

Pekerja	Layer	HM	VM	DM	AM
1	2	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 44,5$	$= 1 - (0,003 25 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 550)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,56$	$= 1 - (0,003 -50)$ $= 0,85$	$= 0,83$	$= 0,42$
	3	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 44,5$	$= 1 - (0,003 37,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 600)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,56$	$= 1 - (0,003 -37,5)$ $= 0,89$	$= 0,83$	$= 0,42$
2	1	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 57$	$= 1 - (0,003 12,5 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 600)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$
		$= 0,44$	$= 1 - (0,003 -62,5)$ $= 0,81$	$= 0,83$	$= 0,42$
	2	$= 25 / H$	$= 1 - (0,003 V - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / D)$	$= 1 - (0,0032A)$
		$= 25 / 57$	$= 1 - (0,003 25 - 75)$	$= 0,82 + (4,5 / 550)$	$= 1 - (0,0032 \times 180)$

$$= 0,44 \quad = 1 - (0,003|-50|) \quad = 0,83 \quad = 0,42$$

$$= 0,85$$

Pekerja	Layer	HM	VM	DM	AM
		= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
2	3	= 25 / 57	= 1 - (0,003 37,5 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 600)	= 1 - (0,0032 x 180)
		= 0,44	= 1 - (0,003 -37,5)	= 0,83	= 0,42
			= 0,89		

2.7 Perhitungan RWL dan LI Objek serta RWL dan LI Tujuan

Pekerja	Layer	RWL		LI	
		Objek	Tujuan	Objek	Tujuan
1	2	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,66 x 0,81 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 2,37	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,56 x 0,85 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 2,12	= L / RWL = 18 / 2,37 = 7,58	= L / RWL = 18 / 2,12 = 8,49
	3	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,66 x 0,81 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 2,37	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,56 x 0,89 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 2,21	= L / RWL = 18 / 2,37 = 7,59	= L / RWL = 18 / 2,21 = 8,13
2	1	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,43 x 0,81 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 1,56	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,44 x 0,81 x 0,83 x 0,42 x 0,18 x 1 = 1,58	= L / RWL = 18 / 1,56 = 11,56	= L / RWL = 18 / 1,58 = 11,36
	2	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,43 x 0,81 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 1,56	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,44 x 0,85 x 0,83 x 0,42 x 0,18 x 1 = 1,66	= L / RWL = 18 / 1,56 = 11,57	= L / RWL = 18 / 1,66 = 10,87
	3	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,43 x 0,81 x 0,83 x 0,42 x 0,55 x 1 = 1,55	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,44 x 0,89 x 0,83 x 0,42 x 0,18 x 1 = 1,73	= L / RWL = 18 / 1,55 = 11,58	= L / RWL = 18 / 1,73 = 10,42
Rata-rata		= 2,38 + 2,37 + 2,37 + 1,56 + 1,56 + 1,55 = 11,29 / 6 = 1,97	= 2,03 + 2,12 + 2,21 + 1,58 + 1,66 + 1,73 = 11,33 / 6 = 1,89	= 7,57 + 7,58 + 7,59 + 11,56 + 11,57 + 11,58 = 57,45 / 6 = 9,58	= 8,87 + 8,49 + 8,13 + 11,36 + 10,86 + 10,42 = 58,14 / 6 = 9,69

2.8 Perhitungan Rata-rata RWL Objek dan Tujuan 2 Pekerja

$$\text{RWL Objek 2 pekerja} + \text{RWL Tujuan 2 pekerja} = 1,97 + 1,89 / 2$$

$$= 1,93$$

2.9 Perhitungan Rata-rata LI Objek dan Tujuan 2 Pekerja

$$\text{LI Objek 2 pekerja} + \text{LI Tujuan 2 pekerja} = 9,58 + 9,69 / 2$$

$$= 9,64$$

2.10 Perhitungan Faktor Pengali Horizontal (HM), Faktor Pengali Vertikal (VM), Faktor Pengali Perpindahan (DM), dan Faktor Pengali Asimetrik (AM) Objek Sesudah Usulan Perbaikan

Pekerja	Layer	HM	VM	DM	AM
1	2	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 38	= 1 - (0,003 12,5 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
		= 0,66	= 1 - (0,003 -62,5)	= 0,85	= 0,42
			= 0,81		
	3	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 38	= 1 - (0,003 12,5 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
= 0,66		= 1 - (0,003 -62,5)	= 5,32	= 0,42	
		= 0,81			
2	1	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 58	= 1 - (0,003 12,5 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
		= 0,43	= 1 - (0,003 -62,5)	= 5,32	= 0,42
			= 0,81		
	2	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 58	= 1 - (0,003 12,5 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
		= 0,43	= 1 - (0,003 -62,5)	= 5,32	= 0,42
			= 0,81		
	3	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
= 25 / 58		= 1 - (0,003 12,5 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)	
= 0,43		= 1 - (0,003 -62,5)	= 5,32	= 0,42	
		= 0,81			

2.11 Perhitungan Faktor Pengali Horizontal (HM), Faktor Pengali Vertikal (VM), Faktor Pengali Perpindahan (DM), dan Faktor Pengali Asimetrik (AM) Tujuan Sesudah Usulan Perbaikan

Pekerja	Layer	HM	VM	DM	AM
1	2	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 34	= 1 - (0,003 0 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
		= 0,74	= 1 - (0,003 -75)	= 5,32	= 0,42
			= 0,78		
	3	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 34	= 1 - (0,003 0 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
= 0,74		= 1 - (0,003 -75)	= 5,32	= 0,42	
		= 0,78			
2	1	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 31	= 1 - (0,003 0 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
		= 0,81	= 1 - (0,003 -75)	= 5,32	= 0,42
			= 0,78		
	2	= 25 / H	= 1 - (0,003 V - 75)	= 0,82 + (4,5 / D)	= 1 - (0,0032A)
		= 25 / 31	= 1 - (0,003 0 - 75)	= 0,82 + (4,5 / 1)	= 1 - (0,0032 x 180)
= 0,81		= 1 - (0,003 -75)	= 5,32	= 0,42	
		= 0,78			

$$\begin{aligned}
3 &= 25 / H &= 1 - (0,003|V - 75|) &= 0,82 + (4,5 / D) &= 1 - (0,0032A) \\
&= 25 / 31 &= 1 - (0,003|0 - 75|) &= 0,82 + (4,5 / 1) &= 1 - (0,0032 \times 180) \\
&= 0,81 &= 1 - (0,003|-75|) &= 5,32 &= 0,42 \\
& &= 0,78 & &
\end{aligned}$$

2.12 Perhitungan RWL dan LI Objek serta RWL dan LI Tujuan Sesudah Usulan Perbaikan

Pekerja	Layer	RWL		LI	
		Objek	Tujuan	Objek	Tujuan
1	2	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= L / RWL	= L / RWL
		= 23 x 0,66 x 0,81 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 23 x 0,74 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 18 / 15,25	= 18 / 16,26
		= 15,25	= 16,26	= 1,18	= 1,11
	3	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= L / RWL	= L / RWL
		= 23 x 0,66 x 0,81 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 23 x 0,74 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 18 / 15,25	= 18 / 16,26
		= 15,25	= 16,26	= 1,18	= 1,11
2	1	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= L / RWL	= L / RWL
		= 23 x 0,43 x 0,81 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 23 x 0,81 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 18 / 9,99	= 18 / 17,83
		= 9,99	= 17,83	= 1,8	= 1,01
	2	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= L / RWL	= L / RWL
		= 23 x 0,43 x 0,81 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 23 x 0,81 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 18 / 9,99	= 18 / 17,83
		= 9,99	= 17,83	= 1,8	= 1,01
3	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM	= L / RWL	= L / RWL	
	= 23 x 0,43 x 0,81 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 23 x 0,81 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,55 x 1	= 18 / 9,99	= 18 / 17,83	
	= 9,99	= 17,83	= 1,8	= 1,01	
Rata-rata		= 15,25 + 15,25 + 15,25 + 9,99 + 9,99 + 9,99	= 16,26 + 16,26 + 16,26 + 17,83 + 17,83 + 17,83	= 1,18 + 1,18 + 1,18 + 1,8 + 1,8 + 1,8	= 1,11 + 1,11 + 1,11 + 1,01 + 1,01 + 1,01
		= 75,74 / 6	= 102,28 / 6	+ 1,8	+ 1,01
		= 12,62	= 17,05	= 8,94 / 6	= 6,35 / 6
				= 1,49	= 1,06

2.13 Perhitungan Rata-Rata RWL Objek dan Tujuan Sesudah Usulan Perbaikan 2 Pekerja

$$\begin{aligned}
\text{RWL Objek 2 pekerja} + \text{RWL Tujuan 2 pekerja} &= 12,62 + 17,05 / 2 \\
&= 14,84
\end{aligned}$$

2.14 Perhitungan Rata-rata LI Objek dan Tujuan Sesudah Usulan Perbaikan 2 Pekerja

$$\begin{aligned}
\text{LI Objek 2 pekerja} + \text{LI Tujuan 2 pekerja} &= 1,49 + 1,06 / 2 \\
&= 1,27
\end{aligned}$$

2.15 Perhitungan RWL dan LI Objek serta Tujuan Alternatif Durasi Kerja 1-2 Jam

Pekerja	Work Duration (1-2 jam)			
	RWL		LI	
	Objek	Tujuan	Objek	Tujuan
1	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,66 x 0,81 x 5,32 x 0,42 x 0,79 x 1 = 21,91	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,74 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,79 x 1 = 23,36	= L / RWL = 18 / 21,91 = 0,82	= L / RWL = 18 / 23,36 = 0,77
2	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,43 x 0,81 x 5,32 x 0,42 x 0,79 x 1 = 14,35	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,81 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,79 x 1 = 25,62	= L / RWL = 18 / 18,26 = 1,25	= L / RWL = 18 / 18,46 = 0,70
Rata-rata	= 21,91 + 14,35 / 2 = 36,26 / 2 = 18,13	= 23,36 + 25,62 / 2 = 48,97 / 2 = 24,49	= 0,82 + 1,25 / 2 = 2,07 / 2 = 1,04	= 0,77 + 0,7 / 2 = 1,47 / 2 = 0,74

2.16 Perhitungan Rata-rata RWL Objek dan Tujuan Alternatif Durasi Kerja 1-2 Jam 2 Pekerja

$$\begin{aligned} \text{RWL Objek 2 pekerja} + \text{RWL Tujuan 2 pekerja} &= 18,13 + 24,49 / 2 \\ &= 21,31 \end{aligned}$$

2.17 Perhitungan Rata-rata LI Objek dan Tujuan Alternatif Durasi Kerja 1- 2 Jam 2 Pekerja

$$\begin{aligned} \text{LI Objek 2 pekerja} + \text{LI Tujuan 2 pekerja} &= 1,04 + 0,74 / 2 \\ &= 0,89 \end{aligned}$$

2.18 Perhitungan RWL dan LI Objek serta Tujuan Alternatif Durasi Kerja ≤ 1 Jam

Pekerja	Work Duration (≤ 1 jam)			
	RWL		LI	
	Objek	Tujuan	Objek	Tujuan
1	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,66 x 0,81 x 5,32 x 0,42 x 0,88 x 1 = 24,40	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,74 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,88 x 1 = 26,02	= L / RWL = 18 / 24,40 = 0,74	= L / RWL = 18 / 26,02 = 0,69
2	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,43 x 0,81 x 5,32 x 0,42 x 0,88 x 1 = 15,99	= LC x HM x VM x DM x AM x FM x CM = 23 x 0,81 x 0,78 x 5,32x 0,42 x 0,88 x 1 = 28,53	= L / RWL = 18 / 15,99 = 1,13	= L / RWL = 18 / 28,53 = 0,63
Rata-rata	= 24,4 + 15,99 / 2 = 40,39 / 2 = 20,19	= 26,02 + 28,53 / 2 = 54,55 / 2 = 27,28	= 0,74 + 1,13 / 2 = 1,87 / 2 = 0,94	= 0,69 + 0,63 / 2 = 1,32 / 2 = 0,66

2.19 Perhitungan Rata-rata RWL Objek dan Tujuan Alternatif Durasi Kerja \leq 1 Jam 2 Pekerja

$$\begin{aligned} \text{RWL Objek 2 pekerja} + \text{RWL Tujuan 2 pekerja} &= 20,19 + 27,28 / 2 \\ &= 23,74 \end{aligned}$$

2.20 Perhitungan Rata-rata LI Objek dan Tujuan Alternatif Durasi Kerja \leq 1 Jam 2 Pekerja

$$\begin{aligned} \text{LI Objek 2 pekerja} + \text{LI Tujuan 2 pekerja} &= 0,94 + 0,66 / 2 \\ &= 0,8 \end{aligned}$$