

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai ergonomi kerja dan penanganan keluhan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) banyak dilakukan di berbagai sektor industri dan usaha, baik skala besar maupun UMKM. Hasil dari berbagai studi menunjukkan bahwa intervensi yang tepat, meskipun sederhana, mampu memberikan dampak signifikan terhadap kenyamanan, efisiensi, dan keselamatan kerja. Temuan tersebut relevan untuk diterapkan di Temanggoeng *Coffee*, yang menghadapi tantangan berupa proses kerja manual berdurasi panjang serta postur kerja yang tidak ergonomis.

Alghadir (2023) menunjukkan bahwa penerapan metode rasional dalam desain ulang fasilitas kerja secara signifikan menurunkan beban biomekanik. Pendekatan ini menjadi acuan dalam perancangan solusi ergonomis di Temanggoeng *Coffee*. Penelitian Nurjanah (2021) pada pengrajin batik juga menggunakan metode rasional dan terbukti berhasil menurunkan keluhan fisik serta memperbaiki postur kerja melalui penggunaan alat bantu ergonomis. Dua penelitian ini menegaskan bahwa metode rasional dapat diimplementasikan dengan efektif pada usaha kecil yang dengan pekerjaan manual dan repetitif.

Putriningtyas (2018) membuktikan bahwa rancangan alat bantu yang disesuaikan dengan karakteristik tubuh pekerja dapat menurunkan keluhan otot dan meningkatkan efisiensi kerja, seperti yang diterapkan pada pekerja pembelahan bambu di UMKM Alifa Craft. Penelitian oleh Malahayati & Putera (n.d) menekankan pentingnya pelatihan ergonomi serta penyediaan alat bantu untuk memperbaiki postur kerja petani kopi Gayo. Sementara itu, Rizkyansyah (2022) merancang tas pemetik kopi berbasis antropometri yang efektif mengurangi keluhan otot punggung dan bahu. Prinsip-prinsip dari studi tersebut menjadi pertimbangan dalam merancang alat bantu yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Sakti & Hardiningtyas (2024) meneliti risiko kerja manual pada industri *shuttlecock* dan merekomendasikan redesain stasiun kerja serta pemberian waktu istirahat untuk mengurangi keluhan MSDs. Temuan ini dapat diadaptasi pada proses sortasi di Temanggoeng *Coffee* yang berlangsung 6-8 jam per hari. Muhammad

Fikri Boy et al. (2023) merancang fasilitas kerja polishing dengan tambahan mesin dan kursi ergonomis yang terbukti mengurangi keluhan otot akibat pekerjaan repetitif.

Amri et al. (2015) menekankan pentingnya perancangan meja dan kursi berbasis antropometri dalam mengurangi keluhan punggung akibat postur membungkuk saat bekerja, seperti yang terjadi pada industri kopi. Penelitian Kurniawan et al. (n.d.) tentang *raised floor* untuk barista juga menunjukkan bahwa penyesuaian tinggi area kerja dapat meningkatkan kenyamanan kerja. Prinsip tersebut dapat diterapkan pada perancangan alat bantu untuk proses sortasi di Temanggoeng *Coffee*.

Febidiyanti & Septianto (2021) menggunakan metode ROSA dan NBM untuk menilai risiko ergonomi pada pengguna komputer. Meskipun objek penelitiannya berbeda, pendekatan ini tetap relevan untuk menganalisis keluhan pekerja dalam proses sortasi manual. Putri et al. (2024) dan Syahrir et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan alat bantu seperti *pallet dispenser*, *lift table hydraulic*, dan penyesuaian meja kerja dapat menurunkan risiko cedera otot serta meningkatkan kenyamanan kerja.

Nurmutia (2019) menerapkan metode AHP untuk merancang alat kerja ergonomis berbasis teknologi di era Industri 4.0. Pendekatan ini menunjukkan bagaimana pengambilan keputusan yang sistematis dapat diterapkan dalam proses perancangan fasilitas kerja. Hutabarat & Artana (2011) menggunakan metode *Zero-One* untuk menentukan desain meja ergonomis berdasarkan kriteria kenyamanan, kepraktisan, dan estetika. Rachman (2019) merancang sistem pendukung keputusan berbasis desktop untuk mempermudah evaluasi kinerja karyawan. Ketiga pendekatan tersebut menjadi rujukan dalam proses pemilihan dan penilaian alternatif rancangan alat bantu di penelitian ini.

Penelitian dari Nusantara & Jakaria (2022) menggunakan metode *Zero-One* dalam mengevaluasi proses pemilihan pemasok untuk meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan dalam desain produk. Nugroho et al. (2023) menerapkan analisis *Cost Benefit Analysis* untuk menilai kelayakan finansial usaha kopi, dan hasilnya menunjukkan bahwa investasi terhadap alat bantu ergonomis memiliki dampak jangka panjang secara ekonomi.

Seluruh *literature review* yang digunakan mendukung bahwa pendekatan ergonomi berbasis metode rasional, data antropometri, dan evaluasi postur kerja

dapat secara efektif mengurangi risiko MSDs serta meningkatkan kenyamanan dan produktivitas kerja. Penelitian ini memanfaatkan temuan-temuan tersebut untuk merancang solusi ergonomis yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi aktual di Temanggoeng Coffee.

Tabel 2.1. merupakan ringkasan dari tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian ini.



Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka

Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil penelitian
Alghadir (2023)	Pekerja industri pengolahan pangan.	Risiko Biomekanik pada proses pengemasan manual.	Metode <i>Assessment of Repetitive Task (ART) Tool</i> dan desain fasilitas dengan Metode Rasional.	Desain ulang fasilitas kerja dengan metode rasional menurunkan beban biomekanik secara signifikan.
Nurjanah (2021)	Pengrajin batik di Jawa Tengah.	Keluhan MSDs akibat posisi kerja statis dan repetitif	Metode <i>Nordic Body Map (NBM)</i> dan perancangan alat bantu dengan Metode Rasional.	Rancangan alat bantu berbasis metode rasional menurunkan keluhan MSDs dan memperbaiki <i>postur</i> kerja.
Putriningtyas (2018)	Pekerja pembelahan bambu di UMKM Alifa Craft	Keluhan <i>Musculoskeletal Disorders</i> akibat alat kerja manual.	Identifikasi keluhan menggunakan NBM dan perancangan alat bantu dengan Metode Rasional.	Rancangan alat pembelah bambu menurunkan keluhan otot dan meningkatkan efisiensi kerja.
Malahayati & Putera, n.d.	Petani Kopi Gayo Arabika di Desa Kenawat Redelong Kabupaten Bener Meriah.	Risiko kelelahan dan <i>Musculoskeletal Disorders</i> akibat posisi kerja yang kurang ergonomis.	Metode <i>Nordic Body Map (NBM)</i>	Memberikan perbaikan terkait pelatihan tentang ergonomi kepada petani, mengembangkan alat bantu ergonomis, serta meningkatkan kesadaran petani akan pentingnya menjaga <i>postur</i> kerja yang benar.
Rizkyansyah (2022)	Petani kopi di Desa Arul Item.	Keluhan <i>Musculoskeletal Disorders</i> akibat <i>postur</i> kerja yang tidak ergonomis saat proses pemetikan kopi.	Metode <i>Rapid Entire Body Assessment (REBA)</i> dan <i>Nordic Body Map (NBM)</i> .	Perancangan alat bantu pendukung berupa tas yang dirancang dengan prinsip antropometri menyesuaikan kebutuhan pekerja.
Sakti & Hardiningtyas (2024)	UD Mustika Shuttlecock	Risiko MSDs akibat material handling secara manual dengan tenaga manusia melibatkan pergerakan <i>postur</i> tubuh bagian atas (tangan, lengan, leher, dan punggung).	Metode <i>Assessment of Repetitive Tasks (ART) Tool</i>	Rekomendasi perbaikan terhadap keluhan MSDs adalah dengan mengurangi frekuensi pergerakan, merubah <i>postur</i> kerja dengan redesain stasiun kerja, dan memberikan jeda istirahat selama 5 – 10 menit.

Tabel 2.1. Lanjutan

Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil penelitian
Muhammad Fikri Boy et al. (2023)	CV. X di Kabupaten Bandung	Keluhan operator di bagian <i>polishing</i> pada bagian tubuh tertentu akibat aktivitas manual dan repetitif.	<i>Metode Nordic Body Map (NBM)</i> dan <i>Assessment of Repetitive Tasks (ART) Tool</i> .	Desain fasilitas kerja yang diusulkan meliputi meja <i>polishing</i> yang dilengkapi dengan alat bantu berupa mesin ampelas serta kursi yang memiliki sandaran punggung.
Amri et al. (2015)	CV. Kopi Tunah Kolak Jaya.	<i>Postur</i> kerja tidak ergonomis seperti membungkuk dan tanpa fasilitas kerja pendukung menyebabkan keluhan pekerja pada posisi tubuh bagian belakang.	<i>Metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i> .	Perancangan fasilitas kerja pendukung berupa meja dan kursi yang dirancang menggunakan prinsip antropometri menggunakan data persentil 95 th .
Kurniawan et al., n.d.	Usaha Coffe Shop Dapue Kopi Roastery	Operator melakukan sikap kerja yang tidak ergonomis dan fasilitas kerja yang kurang.	<i>Metode Nordic Body Map (NBM)</i> dan <i>OWAS (Ovako Working Analysis System)</i> .	Perancangan <i>Raised Floor</i> untuk mempermudah operator saat melakukan pekerjaan.
Febliidiyanti & Septianto (2021)	Laboratorium Teknik Industri di Tangerang Selatan, Jawa Barat.	Keluhan akibat tingginya pemakaian komputer di area kerja terjadi karena masalah peralatan atau fasilitas.	<i>Metode Rapid Office Strain Assessment (ROSA)</i> dan <i>Nordic Body Map (NBM)</i>	Solusi yang diberikan yaitu perbaikan <i>postur</i> kerja terhadap pemakai komputer dengan nilai akhir ROSA sebesar 8 yang berpotensi mengakibatkan cedera otot saat melakukan aktivitas kerja memakai komputer.
Putri et al. (2024)	PT DNL Warehouse	Risiko gangguan MSDs akibat beberapa insiden yang terjadi pada pekerja warehouse selama bekerja untuk melakukan load barang.	<i>Metode Manual Handling Assessment Chart (MAC) Tool & Rapid Entire Body Assessment (REBA)</i>	Penerapan alat bantu material handling seperti pallet dispensers dan <i>lift table hydraulic</i> .
Syahrir et al., (2024)	Pabrik Tahu Kediri Samarinda	Keluhan MSDs pada pekerja karena proses produksi masih dilakukan secara manual,	<i>Metode Novel Ergonomic Postural Assessment (NERPA)</i>	Usulan perbaikan penambahan meja pada tahap perendaman, perbaikan <i>postur</i> saat pemasakan, penambahan tangga pijakan pada penyaringan, pemberian alat pengaduk penggumpalan dan penambahan ketinggian meja pemotongan.

Tabel 2.1. Lanjutan

Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil penelitian
Nurmutia (2019)	Pekerja di era Revolusi Industri 4.0	Peran ergonomi di era revolusi industri 4.0, dengan menggunakan metode pengambilan keputusan.	<i>Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)</i>	Perancangan alat kerja ergonomis berbasis IoT (<i>Internet of Things</i>).
Hutabarat & Artana (2011)	Cafe Hotspot Lesehan	Meja pada cafe hotspot lesehan yang tidak ergonomis untuk meletakkan makanan, minuman dan laptop.	Metode Pembobotan	Metode zero-one digunakan untuk memilih alternatif solusi desain meja berdasarkan beberapa kriteria seperti kenyamanan, personal, praktis, dan estetika.
Rachman (2019)	PT. Asia Penta Garmen	Kendala yang dihadapi oleh kepala bagian kesulitan memilih karyawan terbaik karena jumlah karyawan dan banyak hambatan mengenai prosedur kerja serta, hubungan atasan-karyawan.	<i>Metode Simple Additive Weighting</i>	Menerapkan sistem informasi penunjang keputusan berbasis desktop untuk meningkatkan akurasi dalam perolehan hasil penilaian karyawan dan memudahkan laporan hasil kinerja karyawan,
Nusantara & Jakaria (2022)	PT . BPFC	Waktu perancangan produk kemasan obat yang relatif lama dan tidak efektif.	<i>Metode Zero-One</i>	Evaluasi kerja dilakukan ketika akan memilih pemasok, khususnya untuk bahan pokok, kecuali dalam kondisi darurat atau untuk pengambilan bahan baku dalam jumlah kecil yang tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil akhir kemasan.
Nugroho et al. (2023)	Petani Kopi Arabika di Desa Sudalarang	Belum ada analisis kelayakan usaha karena usia pertanian yang relatif masih muda.	<i>Metode Cost Benefit Analysis</i>	Hasil analisis kelayakan menunjukkan bahwa proyek layak untuk dijalankan, dengan nilai NPV positif sebesar Rp26.661.511, IRR sebesar 22,9% yang melebihi tingkat diskonto yang berlaku, B/C Ratio sebesar 1,6 yang lebih dari satu, serta <i>payback period</i> selama 5 tahun.

2.2. Dasar Teori

Penelitian ini menggunakan beberapa teori yang mendasari analisis permasalahan dan solusi pada Temanggoeng *Coffee* antara lain :

- A. Teori pada Mata Kuliah Ergonomika dan Psikologi Industri (TIND18303) pada sub topik analisis *postur* kerja menggunakan NBM, *ART Tool* dan risiko *Musculoskeletal Disorders* serta sub topik beban kerja fisik.
- B. Teori pada Mata Kuliah Rekayasa dan Desain (TIND12202) pada sub topik perancangan menggunakan metode rasional.
- C. Teori pada Mata Kuliah Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja (TIND46602) pada sub topik bahaya ergonomi.

Penjelasan lebih rinci mengenai dasar teori dari setiap mata kuliah yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut.

2.2.1. Ergonomi (TIND18303)

Ergonomi adalah ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dan elemen-elemen sisten lainnya, dengan tujuan untuk meningkatkan kesejahteraan dan kinerja manusia dalam lingkungan kerjanya. Istilah ergonomi berasal dari bahasa Yunani, yaitu "*ergon*" yang berarti kerja dan "*nomos*" yang berarti hukum atau aturan. Menurut *International Ergonomic Association*, ergonomi mencakup aspek anatomi, fisiologi, psiikologi, teknik, manajemen, dan desain.

Ergonomi melibatkan tiga komponen utama yang dijadikan sebagai objek meliputi manusia, lingkungan, dan mesin yang saling berinteraksi satu sama lain. Interaksi ketiga komponen tersebut menghasilkan sistem kerja yang saling terkait (Bridger, 2003). Ergonomi meneliti tentang hubungan manusia dengan lingkungan kerjanya, lingkungan kerja merupakan aspek di sekitar manusia bekerja yang dinamakan sistem kerja.

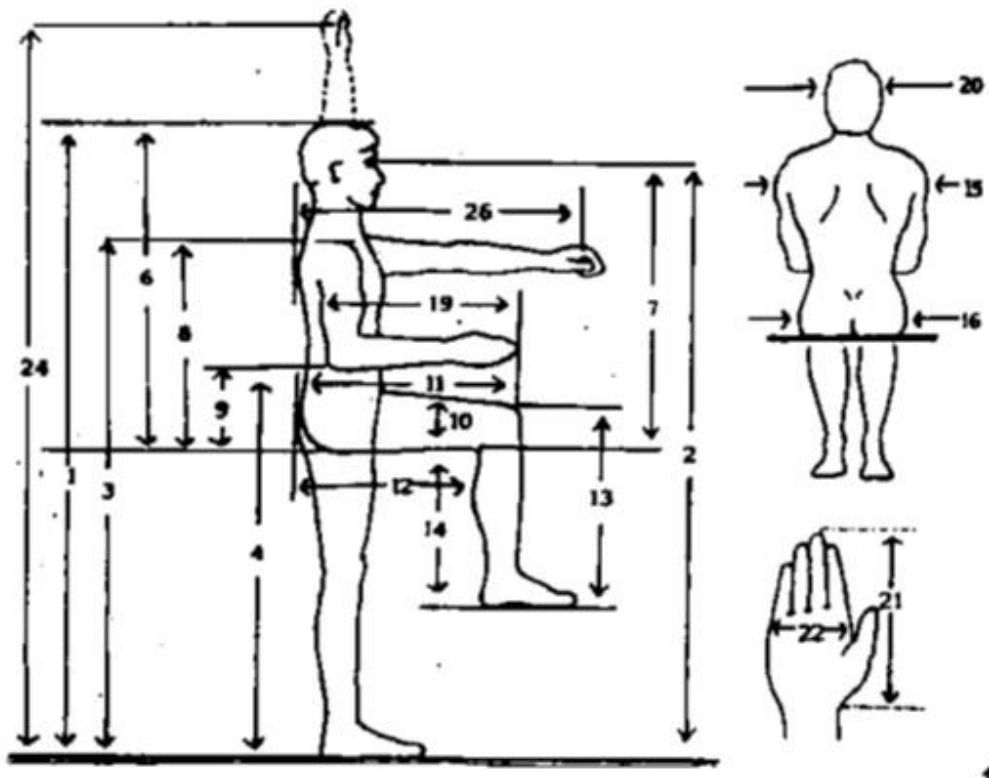
A. Antropometri

Antropometri adalah ilmu yang mempelajari dimensi dan proporsi tubuh untuk diterapkan dalam perancangan fasilitas kerja agar sesuai dengan karakteristik fisik pengguna. Menurut Kroemer (2021), data antropometri sangat penting dalam ergonomi untuk memastikan bahwa desain suatu sistem dapat mengakomodasi variasi ukuran tubuh manusia, sehingga mengurangi risiko kelelahan, cedera dan meningkatkan kenyamanan serta produktivitas kerja.

Antropometri dibagi menjadi dua jenis utama yaitu antropometri statis dan antropometri dinamis, dengan penjelasan sebagai berikut.

- i. Antropometri statis meliputi pengukuran tubuh dalam posisi diam, seperti tinggi badan, panjang lengan dan lebar bahu.
- ii. Antropometri dinamis berkaitan dengan rentang gerak tubuh, seperti jangkauan tangan dan sudut gerak sendi.

Dalam praktiknya, perancangan berbasis antropometri biasanya menggunakan data persentil ke-5 hingga ke-95 untuk memastikan alat atau fasilitas dapat digunakan oleh sebagian besar populasi pekerja. Penerapan prinsip antropometri dalam desain kerja dapat menurunkan risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) dan meningkatkan efisiensi kerja, karena alat dan lingkungan kerja menjadi lebih sesuai dengan kebutuhan fisik pengguna. Gambar 2.1 merupakan bagian tubuh manusia yang diukur dalam pengambilan data antropometri.



Gambar 2.1. Dimensi Antropometri

(Sumber : soloabadi.com)

Keterangan Gambar :

1. Tinggi tubuh dalam posisi tegak
2. Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak
3. Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak
4. Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak
5. Tinggi kepala tangan yang terjulur dalam posisi berdiri tegak (tidak ditunjukkan pada gambar)
6. Tinggi tubuh dalam posisi duduk
7. Tinggi mata dalam posisi duduk
8. Tinggi bahu dalam posisi duduk
9. Tinggi siku dalam posisi duduk
10. Tebal atau lebar paha
11. Panjang paha (dari pantat sampai ujung lutut)
12. Panjang paha (dari pantat sampai bagian belakang lutut/betis)
13. Tinggi lutut dalam posisi duduk
14. Tinggi popliteal duduk
15. Lebar bahu
16. Lebar pinggul
17. Lebar dada (tidak ditunjukkan pada gambar)
18. Lebar perut (tidak ditunjukkan pada gambar)
19. Panjang siku (posisi ujung jari tegak lurus)
20. Lebar kepala
21. Panjang telapak tangan
22. Lebar telapak tangan
23. Lebar tangan
24. Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak
25. Tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk tegak (tidak ditunjukkan pada gambar)
26. Panjang jangkauan tangan ke depan (dari bahu sampai ujung jari)

B. Kuesioner *Nordic Body Map* (NBM)

Nordic Body Map (NBM) merupakan penilaian yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi keluhan terkait MSDs pada pekerja. Penelitian NBM pada awalnya dilakukan oleh Wilson dan Corlett (1995) untuk mengukur rasa sakit pada otot pekerja. Metode ini menggunakan gambar tubuh manusia yang diklasifikasi menjadi beberapa bagian, sehingga responden dapat menandai area

yang mengalami rasa sakit atau tidak nyaman. Kuesioner NBM mencakup 28 bagian otot pada tubuh meliputi bagian :

- i. Leher
- ii. Bahu
- iii. Punggung atas
- iv. Siku
- v. Punggung bawah
- vi. Pergelangan tangan
- vii. Pinggang
- viii. Lutut
- ix. Tumit atau kaki.

Setiap bagian tubuh dinilai berdasarkan tingkat keluhan dengan skor antara 1-4, dengan skor antara 1 (tidak ada keluhan) hingga 4 (sangat sakit).

C. Lembar *Assessment of Repetitive Tasks (ART) Tool*

Assessment of Repetitive Tasks (ART) Tool adalah metode penilaian risiko ergonomi yang dikembangkan oleh *Health and Safety Executive (HSE)* Inggris untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko *Musculoskeletal Disorders* pada pekerjaan yang melibatkan gerakan berulang, khususnya pada lengan dan tangan. *ART Tool* digunakan untuk menilai pekerjaan manual yang memiliki karakteristik gerakan berulang, penggunaan kekuatan otot, *postur* tidak netral, dan durasi kerja yang panjang (HSE, 2012).

Penilaian dengan *ART Tool* dilakukan melalui empat tahapan utama yaitu langkah A, B, C, dan D yang masing-masing mengevaluasi aspek berbeda dari aktivitas kerja :

i. Frekuensi gerakan

Pada langkah A, penilaian difokuskan pada seberapa sering gerakan berulang dilakukan oleh pekerja selama siklus kerja. Frekuensi gerakan yang tinggi akan meningkatkan skor risiko, karena semakin sering otot digunakan tanpa jeda, semakin besar kemungkinan terjadinya kelelahan otot dan cedera.

ii. Kekuatan yang digunakan

Langkah B mengevaluasi besarnya kekuatan yang diperlukan untuk melakukan tugas. Semakin besar kekuatan yang digunakan secara berulang, semakin tinggi risiko gangguan *Musculoskeletal Disorders*. Penilaian dilakukan dengan

mengamati apakah pekerja menggunakan tenaga kerja ringan, sedang, atau berat saat melakukan aktivitas.

iii. *Postur dan pergelangan tangan*

Pada langkah C, *ART Tool* menilai *postur* lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan selama bekerja. *Postur* yang tidak netral seperti lengan terangkat, pergelangan tangan tertekuk, atau posisi jari yang tidak alami, akan meningkatkan skor risiko. Penilaian ini penting untuk mengidentifikasi potensi tekanan berlebih pada sendi dan otot.

iv. *Faktor Tambahan*

Langkah D mencakup faktor-faktor lain yang dapat memperburuk risiko, seperti durasi total aktivitas, adanya tekanan lokal pada tangan atau lengan, penggunaan sarung tangan yang tidak sesuai, serta adanya getaran dari alat kerja. Faktor-faktor ini dinilai secara terpisah dan ditambahkan pada skor total.

Setiap aspek pada langkah A, B, C, D diberi skor sesuai tingkat risikonya. Skor-skor tersebut kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total skor risiko dan digunakan untuk menentukan tingkat risiko (rendah, sedang, atau tinggi) dan memberikan rekomendasi perbaikan aktivitas kerja.

D. *Musculoskeletal Disorders Disorder (MSDs)*

Menurut *National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)*, MSDs merupakan gangguan yang berkaitan dengan jaringan otot, tendon, ligamen, kartilago, sistem syaraf, struktur tulang, dan pembuluh darah. Gangguan ini disebabkan oleh aktivitas kerja yang dilakukan oleh seseorang seperti penggunaan tenaga repetitif, pergerakan yang cepat, penggunaan tenaga besar, kontak dengan tekanan, *postur* janggal atau ekstrem, getaran dan temperatur yang rendah. Keluhan MSDs ditandai dengan gejala seperti nyeri, bengkak, kemerahan, panas, mati rasa, atau kehilangan daya koordinasi tangan, serta kesulitan untuk digerakkan.

Beberapa faktor yang dapat meningkatkan risiko MSDs akibat kerja antara lain :

i. *Aktivitas Kerja*

Aktivitas kerja yang repetitif dan intensif dapat menyebabkan beban statis pada otot skeletal.

ii. *Postur Kerja*

Postur kerja yang tidak ideal dapat meningkatkan risiko MSDs pada pekerja.

iii. *Body Mass Index* (BMI)

Tinggi badan dan berat badan dapat meningkatkan risiko MSDs terutama menyebabkan *Low Back Pain*.

iv. Kekuatan Otot

Pekerja yang memiliki kekuatan otot yang rendah memiliki risiko yang lebih tinggi mengalami MSDs dibandingkan pekerja yang memiliki kekuatan otot yang tinggi. MSDs memberikan dampak bagi produktivitas kerja karena keluhan sakit pada bagian tubuh tertentu dapat mengganggu performa kerja dan menurunkan efisiensi dalam melakukan pekerjaannya.

E. Konsumsi Energi

Konsumsi Energi dalam ergonomi kerja adalah jumlah energi yang dikeluarkan seseorang selama melakukan aktivitas fisik tertentu. Menurut Tarwaka (2015), konsumsi energi dapat digunakan untuk menilai beban kerja fisik dan menentukan apakah suatu pekerjaan tergolong ringan, sedang, atau berat.

Persamaan 2.1 merupakan perhitungan konsumsi energi (*Energy Expenditure*) regresi kuadratis yang mengaitkan energi dengan kecepatan denyut jantung (Astuti, 1985) :

$$Y = 1,80411 - 0,0229038X + 4,71733.10^{-4}X^2 \quad (2.1)$$

Setelah kecepatan denyut nadi dikonversikan ke energi, maka pengeluaran energi untuk kerja tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$KE = Y1 - Y0 \quad (2.2)$$

F. Produktivitas

Salah satu indikator penting dalam menilai keberhasilan intervensi ergonomis adalah peningkatan produktivitas kerja. Produktivitas diukur berdasarkan jumlah biji kopi yang berhasil disortasi per satuan waktu (kg/orang/jam) sebelum dan sesudah dilakukan intervensi (Wignjosoebroto, 2006).

Perhitungan produktivitas pekerja dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$Produktivitas = \frac{Output \left(\frac{kg}{jam} \right)}{Input \left(\frac{jam}{orang} \right)} \quad (2.3)$$

2.2.2. Rekayasa dan Desain (TIND12202)

Rekayasa desain adalah proses sistematis yang bertujuan untuk menciptakan solusi terhadap masalah yang ada, dengan menggunakan pendekatan ilmiah dan teknologi. Dalam rekayasa desain, metode rasional merupakan salah satu pendekatan yang sangat penting. Metode ini menekankan pada penggunaan langkah-langkah yang terstruktur untuk meningkatkan kualitas keputusan desain dan produk akhir.

A. Metode Rasional

Metode rasional adalah pendekatan sistematis dalam perancangan yang mengutamakan analisis dan evaluasi. Menurut Cross (2000), metode ini terdiri dari tujuh tahap utama yang membantu perancang dalam mencapai tujuan desain secara efektif. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap keputusan desain didasarkan pada data dan analisis yang kuat, bukan hanya intuisi atau pengalaman sebelumnya. Berikut merupakan penjelasan dari setiap tahapan pada metode rasional.

i. *Clarification of Objectives*

Pada tahap ini, perancang harus menjelaskan tujuan dari desain yang akan dilakukan.

ii. *Establishment of Function*

Perancang mengidentifikasi masalah yang dipecahkan melalui pengumpulan informasi dan observasi.

iii. *Setting Requirements*

Mengumpulkan data kebutuhan pengguna melalui wawancara, survei, atau observasi langsung dengan *stakeholder* terkait.

iv. *Generation of Alternatives*

Mengembangkan alternatif desain berdasarkan analisis kebutuhan.

v. *Evaluation of Alternatives*

Setelah alternatif dikembangkan, tahap evaluasi dilakukan untuk memilih solusi terbaik berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya.

vi. *Selection of the Best Alternatives*

Pemilihan alternatif solusi terbaik dari beberapa alternatif yang telah dievaluasi pada tahap sebelumnya.

vii. *Detailed Design and Implementation*

Setelah solusi terbaik dipilih, langkah selanjutnya adalah implementasi desain dalam produk nyata. Setelah itu dilakukan pengujian produk yang dihasilkan untuk memastikan bahwa produk memenuhi semua kriteria desain dan berfungsi sesuai dengan tujuan awal perancangan.

Metode rasional dalam rekayasa desain menyediakan kerangka kerja yang sistematis untuk mengatasi masalah kompleks melalui analisis dan pengembangan solusi berbasis data. Dengan mengikuti tahapan-tahapan tersebut, perancang dapat menghasilkan produk yang tidak hanya inovatif tetapi juga memenuhi kebutuhan pengguna secara efektif. Pendekatan ini, menekankan pentingnya kolaborasi lintas disiplin ilmu dan proses iteratif dalam mencapai hasil akhir yang optimal.

B. *Weighted Objective Method* (Matriks Pembobotan)

Matriks pembobotan merupakan suatu metode kuantitatif yang digunakan untuk menetapkan tingkat kepentingan relatif dari sejumlah kriteria dalam proses pengambilan keputusan. Konsep dasar dari matriks pembobotan adalah menyusun sebuah tabel perbandingan antar kriteria secara berpasangan untuk menilai tingkat kepentingan relatif satu kriteria terhadap lainnya. Setiap elemen dalam matriks merepresentasikan nilai *preferensi* atau bobot relatif antara dua kriteria, dan nilainya biasanya bersifat subjektif berdasarkan penilaian para ahli, pengguna, atau pihak yang berkepentingan. Menurut Heizer dan Render (2011) dalam bukunya *Operations Management*, pendekatan pembobotan seperti ini penting untuk membantu pengambil keputusan dalam mengevaluasi alternatif yang kompleks, terutama saat kriteria yang dibandingkan memiliki skala atau karakteristik yang berbeda-beda.

Tahapan dalam menyusun matriks pembobotan sebagai berikut.

- a. Mengidentifikasi seluruh kriteria yang akan dibandingkan.
- b. Menyusun matriks persegi yang menunjukkan perbandingan antara setiap kriteria dengan kriteria lainnya.
- c. Melakukan proses pengisian nilai perbandingan berdasarkan tingkat kepentingan relatif, biasanya menggunakan skala tertentu, misalnya skala 1–9 sebagaimana digunakan dalam metode perbandingan berpasangan.
- d. Melakukan normalisasi matriks, yaitu dengan cara membagi setiap elemen pada kolom dengan jumlah total kolom tersebut, sehingga bobot tiap kriteria bisa dihitung sebagai rata-rata nilai pada baris hasil normalisasi.

Langkah ini menghasilkan nilai bobot akhir dari masing-masing kriteria, yang selanjutnya dapat digunakan dalam proses evaluasi atau pengambilan keputusan.

2.2.3. Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja (TIND46602)

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan suatu disiplin ilmu yang berfokus pada perlindungan tenaga kerja dari risiko yang dapat mengancam keselamatan dan kesehatan di lingkungan kerja. K3 dapat didefinisikan sebagai serangkaian upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja, serta mengendalikan risiko di tempat kerja. Menurut Undang-undang No.1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, K3 adalah suatu usaha untuk menjamin keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan tenaga kerja dalam melaksanakan pekerjaan.

A. Tujuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

i. Meningkatkan keselamatan dan kesehatan pekerja

Pekerja yang bekerja di tempat kerja yang aman dan sehat akan terhindar dari kecelakaan dan penyakit.

ii. Meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja

Pekerja yang merasa aman dan nyaman dalam bekerja akan lebih produktif.

iii. Meningkatkan citra perusahaan

Perusahaan yang menerapkan K3 dengan baik akan memiliki citra yang positif di mata masyarakat.

iv. Meningkatkan kualitas hidup masyarakat

Masyarakat yang tinggal di sekitar tempat kerja yang menerapkan K3 dengan baik dan akan terhindar dari pencemaran lingkungan.

B. Jenis dan Potensi Bahaya

Potensi bahaya di tempat kerja dapat dikategorikan berdasarkan sumbernya menjadi beberapa jenis, yaitu:

i. Bahaya Fisik

1. Kebisingan

Paparan kebisingan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pendengaran, seperti tuli dan tinnitus.

2. Getaran

Paparan getaran yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada sistem saraf dan otot, seperti *carpal tunnel syndrome* dan *Raynaud's syndrome*.

3. Pencahayaan

Pencahayaannya yang tidak memadai atau berlebihan dapat menyebabkan kelelahan mata, sakit kepala, dan penurunan kinerja.

4. Radiasi

Paparan radiasi yang berlebihan dapat menyebabkan kanker, kerusakan sel, dan cacat lahir.

5. Suhu ekstrem

Paparan suhu yang terlalu panas atau terlalu dingin dapat menyebabkan heat stress, hypothermia, dan berbagai penyakit lainnya.

ii. Bahaya Kimia

1. Bahan kimia beracun

Bahan kimia beracun, seperti sianida, timbal, dan merkuri, dapat menyebabkan keracunan, kerusakan organ, dan bahkan kematian.

2. Debu

Paparan debu, seperti debu silika dan asbestos, dapat menyebabkan penyakit paru-paru, seperti *silicosis* dan *asbestosis*.

3. Uap dan gas

Uap dan gas berbahaya, seperti karbon monoksida dan klorin, dapat menyebabkan keracunan, sesak napas, dan bahkan kematian.

iii. Bahaya Biologi

1. Mikroorganisme

Mikroorganisme, seperti bakteri, virus, dan jamur, dapat menyebabkan penyakit menular, seperti infeksi saluran pernapasan, hepatitis, dan HIV/AIDS.

2. Serangga dan hewan

Gigitan dan sengatan serangga dan hewan, seperti nyamuk, ular, dan laba-laba, dapat menyebabkan penyakit dan bahkan kematian.

iv. Bahaya Ergonomi

1. Posisi kerja yang tidak ergonomis

Posisi kerja yang tidak ergonomis, seperti duduk atau berdiri dalam waktu lama, dapat menyebabkan kelelahan otot, nyeri sendi, dan *Musculoskeletal Disorders* lainnya.

2. Beban kerja yang berlebihan

Beban kerja yang berlebihan dapat menyebabkan kelelahan fisik dan mental, stres, dan penurunan kinerja.

v. Bahaya Psikososial

1. Stres kerja

Stres kerja yang berlebihan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan fisik dan mental, seperti *depresi*, kecemasan, dan insomnia.

2. Pelecehan dan intimidasi

Pelecehan dan intimidasi di tempat kerja dapat menciptakan lingkungan kerja yang tidak aman dan tidak sehat, dan dapat menyebabkan stres, kecemasan, dan *depresi* pada korban.

