

Implementasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Rumah Sakit dengan Pendekatan ILO OSHMS 2001

Hafizah Rani Putri Andam Dewi¹⁾, Rizqi Wahyudi²⁾, Rinda Gusvita³⁾

*Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Jati Agung, Lampung Selatan, 35365, Indonesia^{1), 2), 3)}
E-mail : hafizah.119190037@student.itera.ac.id¹⁾, rizky.wahyudi@ti.itera.ac.id²⁾*,
rinda.gusvita@ti.itera.ac.id³⁾*

ABSTRAK

Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) khususnya pada bidang fasilitas pelayanan sangat dibutuhkan untuk mengurangi terjadinya kecelakaan kerja pada sumber daya manusia yang terlibat. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja adalah dengan menerapkan pengendalian risiko bahaya yaitu Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil implementasi SMK3, mengetahui sejauh mana tingkat implementasi SMK3 dengan melibatkan pedoman ILO OSHMS 2001, dan memberikan rekomendasi perbaikan sesuai hasil yang diperoleh. Penelitian ini melibatkan 40 responden yang menjawab 30 item pernyataan dan dibagi menjadi 5 elemen ILO OSHMS 2001 yaitu Penilaian Kebijakan, Pengorganisasian, Perencanaan dan Implementasi, Evaluasi dan Tindakan Perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata tingkat capaian SMK3 untuk seluruh elemen sebesar 86% dan termasuk dalam kategori tingkat antara baik dan sangat baik. Berdasarkan hasil tersebut, diberikan rekomendasi perbaikan sesuai tindakan SMK3 dengan bantuan hierarki pengendalian risiko agar pembahasan lebih terarah dan rekomendasi perbaikan dapat diimplementasikan dengan baik.

Kata Kunci: Rumah Sakit, SMK3, Implementasi, ILO OSHMS 2001.

ABSTRACT

The application of Occupational Safety and Health (K3), especially in the field of service facilities, is needed to reduce the occurrence of work accidents among human resources involved. One way to prevent work accidents is to implement hazard risk control, namely the Occupational Health and Safety Management System (SMK3). This study aims to determine the outcomes of SMK3 implementation, assess the extent of SMK3 implementation using the ILO OSHMS 2001 guidelines, and provide recommendations for improvement based on the results. This research involved 40 respondents who answered 30 statement items and were divided into 5 elements of ILO OSHMS 2001, namely Policy Assessment, Organizing, Planning and Implementation, Evaluation, and Corrective Actions. The results showed that the average SMK3 achievement level across all elements was 86%, placing it in the good-to-very good range. Based on these results, recommendations for improvement are provided using SMK3 actions and a risk control hierarchy, to ensure the discussion is more focused and the recommendations can be implemented properly.

Keywords: Hospital, SMK3, Implementation, ILO OSHMS 2001.

1. Pendahuluan

Kecelakaan pada tempat kerja merupakan salah satu kejadian yang tidak diduga dan biasanya tidak dikehendaki yang mengacaukan suatu proses dari aktivitas yang telah diatur (Refly et al., 2024). Kecelakaan

kerja yang ditimbulkan oleh suatu pekerjaan atau yang dikarenakan oleh pekerjaan merupakan masalah yang timbul dan menyebabkan kerugian tertentu. Kerugian yang ditimbulkan oleh kecelakaan kerja antara lain terdapatnya material yang rusak,

*Corresponding author

jam kerja yang hilang serta timbulnya korban jiwa (Lewaherilla et al., 2022). Semua hal yang mempengaruhi ini terjadi di dalam perusahaan dan ditinjau dengan sistem pengendalian serta inspeksi dari manajemen K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) (Bird & Germain, 1996).

Menurut panduan global Sistem Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja, *International Labour Organization OSH:2001 Guidelines on Occupational Health and Safety Management System* (OSHMS) (ILO, 2013) menyatakan bahwa sejak tahun 2011, terdapat 337 juta angka kecelakaan kerja yang terjadi dalam setiap tahun menyebabkan 2,3 juta pekerja kehilangan nyawa mereka. Adapun di Indonesia, angka kecelakaan kerja hingga akhir tahun 2015 masih tinggi yaitu 105.182 kasus menurut BPJS Ketenagakerjaan. Kasus-kasus kecelakaan kerja di Rumah Sakit meliputi insiden seperti tertusuk jarum, terpeleset, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang tidak sesuai, terkena benda tajam dan lain sebagainya (Arikhman et al., 2020). Fasilitas pelayanan kesehatan yaitu Rumah Sakit merupakan salah satu sarana kerja kesehatan yang diselenggarakan oleh pemerintah maupun swasta sebagai peran dalam penunjang kesehatan yang dialami oleh masyarakat. RS HRPAD merupakan salah satu rumah sakit swasta rujukan dengan memperoleh akreditasi Paripurna Tipe C. Selain itu, Rumah Sakit ini termasuk dalam sektor kesehatan yang menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja. Sektor kesehatan sendiri termasuk ke dalam tempat kerja yang dituntut mampu menyediakan dan bisa menerapkan suatu upaya agar sumber daya manusia yang terlibat dapat terhindar dari penyakit kerja, kecelakaan akibat kerja maupun potensi bahaya di tempat kerja (Ivana et al., 2014).

Potensi bahaya ternyata masih terjadi di RS HRPAD yang disebabkan oleh faktor penyakit akibat kerja maupun faktor yang terjadi karena kecelakaan kerja. Berdasarkan hasil awal wawancara pada pihak Unit K3RS, kecelakaan kerja serta penyakit akibat kerja

terjadi selama 1 tahun terakhir dari tahun 2022-2023. Adapun kecelakaan kerja yang terjadi yaitu terdapat perawat yang tertusuk jarum setelah menyuntik pasien, perawat yang tidak sengaja menumpahkan isi botol dan petugas yang terpeleset saat di pembangunan area. Adapun kasus yang terjadi yaitu luka ringan akibat perbaikan pada area tower air di Rumah Sakit, perawat yang terjebak di lift, perawat yang terjatuh dikarenakan lantai basah di Rumah Sakit. Agar bisa mengurangi risiko terjadinya kecelakaan kerja tersebut, diperlukan adanya implementasi SMK3 di Rumah Sakit. Penerapan SMK3RS menjadi hal yang penting untuk memberikan perlindungan kepada para pekerja, mengurangi kejadian kecelakaan dan penyakit akibat kerja, mengurangi biaya yang terkait dengan kecelakaan kerja dan kerusakan, membangun sistem manajemen yang efektif dan efisien, serta dapat meningkatkan kepercayaan dan kepuasan pasien atau pengunjung (Matondang, 2022). Untuk memenuhi pencapaian tersebut, sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan No. 66 Tahun 2016 Rumah Sakit harus mengimplementasikan SMK3 kepada seluruh sumber daya manusia yang terlibat.

Salah satu upaya yang dilakukan dalam menerapkan SMK3 di Rumah Sakit yaitu dengan menggunakan standar ILO OSHMS 2001. ILO OSHMS 2001 (*Occupational Safety and Health Management Systems*) adalah salah satu pedoman internasional yang melaksanakan sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja yang dapat diterapkan oleh organisasi atau perusahaan. Standar ini menetapkan bahwa sistem manajemen K3 harus memiliki lima bagian yang telah ditetapkan oleh standar internasional. Bagian tersebut digunakan untuk mendorong terintegrasinya elemen dari sistem manajemen K3 ke dalam kebijakan dan seluruh pengaturan manajemen organisasi. Adapun bagian-bagian tersebut yaitu kebijakan, pengorganisasian, perencanaan dan implementasi, evaluasi serta tindakan perbaikan (Anggraini, 2019).

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka perlunya penerapan SMK3 untuk bisa menekan serendah mungkin angka kecelakaan dan penyakit akibat kerja di sektor kesehatan. Penerapan SMK3 memiliki peran yang sangat penting dalam sektor kesehatan untuk bisa mencapai tujuan *zero accident* (kecelakaan nihil), mengurangi kerusakan kerja dan kerugian finansial, meningkatkan efisiensi dan efektivitas manajemen, serta meningkatkan kepercayaan dan kepuasan pengunjung atau pasien di Rumah Sakit. Adapun RS HRPAD sebagai objek penelitian kali ini perlu dilakukan penerapan mendalam mengenai SMK3 yang diterapkan di Rumah Sakit tersebut. Terkait dengan penerapan tersebut, RS HRPAD telah mengikuti penerapan sesuai dengan pedoman pemerintah akan tetapi penerapan tersebut masih kurang sehingga perlu dilengkapi dengan SMK3 dengan pedoman ILO OSHMS 2001.

2. Metodologi

Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan metode deskriptif kuantitatif. Metode ini adalah suatu metode dengan mempunyai tujuan terkait deskriptif terhadap suatu keadaan dengan penggunaan angka yang dimulai dari pengumpulan data, penafsiran serta penampilan dan hasilnya (Arikunto, 2006). Adapun dalam penelitian ini, metode tersebut digunakan sebagai alat yang akan

menganalisis persentase level yang didapatkan dari hasil implementasi SMK3 di RS HRPAD Lampung. Adapun analisis data dilakukan dengan menggunakan 5 indikator, indikator tersebut dipakai karena sudah sesuai dengan kebijakan SMK3 yang didapat dari ILO OSHMS 2001. Penggunaan 5 indikator tersebut akan mendapatkan kesimpulan seberapa besar level implementasi SMK3 berbasis pendekatan ILO OSHMS 2001 di RS HRPAD Lampung dengan menggunakan kuesioner. Hasil tersebut juga akan dianalisis oleh peneliti untuk melihat pernyataan yang terkait penerapan SMK3 sudah memenuhi standar sesuai dengan pendekatan ILO OSHMS 2001 dan apakah terdapat hasil yang memerlukan usulan perbaikan ataupun pembaruan.

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. data primer yang didapatkan terkait dengan hasil observasi, wawancara serta analisis terhadap hasil kuesioner mengenai Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) di RS HRPAD Lampung. Sedangkan, data sekunder yang didapat yaitu berbagai sumber jurnal terkait dengan laporan penelitian terdahulu berdasarkan objek yang akan diteliti, hasil dokumentasi wawancara serta kuesioner. Kuesioner yang dibuat sesuai dengan pedoman ILO OSHMS 2001 pada Tabel 1.

Tabel 1. Penilaian dengan ILO OSHMS

Penilaian Kebijakan		SS	S	TS	STS
1	Adanya Kebijakan K3RS yang tertulis dan sangat penting di dalam Rumah Sakit				
2	Manajemen kebijakan K3RS berkomitmen penuh untuk melindungi para karyawan di Rumah Sakit				
3	Kebijakan K3 di Rumah Sakit tetap disampaikan bagi para pengunjung ataupun karyawan yang baru dalam orientasi pekerja				
4	Peninjauan dan evaluasi kebijakan K3RS yang dijalani dilakukan secara rutin				
5	Adanya evaluasi kebijakan K3RS setiap tahun				
6	Komunikasi antar pekerja terbuka dan komunikatif				
7	Penerapan kinerja K3RS dilakukan dengan baik dan diberikan penghargaan serta pengakuan setelah melakukan kinerja K3 dengan baik dan benar				
8	Kebijakan K3 yang ada di Rumah Sakit menjelaskan dan melindungi karyawan dalam pencegahan cedera, insiden yang membahayakan serta penyakit yang timbul akibat kerja				
Pengorganisasian		SS	S	TS	STS
1	Pengidentifikasian bahaya dan penilaian risiko dikomunikasikan secara luas dan efisien di dalam Rumah Sakit				
2	Pelatihan K3 di Rumah Sakit disediakan dengan terstruktur dan terjadwal				

3	Sistem Manajemen K3 di Rumah Sakit didokumentasikan dengan baik dan komprehensif				
4	Potensi bahaya dan risiko yang timbul didokumentasikan secara menyeluruh dan jelas				
5	Keterbukaan masalah dalam berkomunikasi terkait K3 dan memberikan respon yang baik untuk karyawan				
6	Identifikasi bahaya dan risiko yang timbul didokumentasikan secara menyeluruh				
Perencanaan dan Implementasi		SS	S	TS	STS
1	Sistem Manajemen K3 di Rumah Sakit dinilai dengan orang yang berkompeten dan diterapkan sesuai standar hukum atau pedoman yang berlaku				
2	Identifikasi dan antisipasi terkait bahaya dan risiko K3 dilakukan di Rumah Sakit				
3	Peninjauan prosedur Sistem Manajemen K3 yang ada di Rumah Sakit dilakukan secara rutin				
4	Adanya program perubahan terkait K3 baik dari internal maupun eksternal tepat sasaran dalam mengidentifikasi bahaya dan risiko yang timbul nantinya				
5	Pengadaan terkait dengan K3 dilakukan sesuai spesifikasi dan regulasi yang dibuat Rumah Sakit (Alat Pelindung Diri dan tanda/rambu peringatan serta alat pemadam kebakaran)				
6	Pemantauan dan pengendalian kinerja K3 selalu dilakukan evaluasi secara teratur (kesiapan dalam tanggap darurat)				
7	Tujuan K3 mengikuti kepatuhan dengan regulasi yang ada dan dilakukan secara konsisten dan jelas				
Evaluasi		SS	S	TS	STS
1	Setiap kinerja K3 yang dijalani di Rumah Sakit memiliki catatan rinci dan analisis data untuk meningkatkan solusi Sistem Manajemen K3 yang baik dan efisien				
2	Inspeksi pekerjaan di dalam lingkungan kerja Rumah Sakit memiliki pengawasan yang mencakup secara luas dan teratur				
3	Kebijakan evaluasi setiap tindakan K3 di Rumah Sakit sudah efektif dan efisien (audit)				
4	Tinjauan manajemen dilakukan dengan resmi didokumentasikan dan melakukan evaluasi Sistem Manajemen K3 secara berkala				
5	Pencegahan bahaya dan protektif dilakukan dengan menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) sesuai dengan standar				
6	Manajemen K3RS menyediakan <i>feedback</i> yang komprehensif serta menentukan prioritas K3 dengan perbaikan berkelanjutan				
Tindakan Perbaikan		SS	S	TS	STS
1	Penerapan upaya tindakan yang dilakukan sebelum kejadian terjadi serta setelah kejadian terjadi terkait Sistem Manajemen K3 untuk dipantau di Rumah Sakit				
2	Umpan balik serta keluhan karyawan diterima dan selalu dipertimbangkan serta segera ditanggapi oleh Rumah Sakit				
3	Semua kelemahan yang ada di dalam Sistem Manajemen K3 diidentifikasi dengan baik dan jelas oleh Rumah Sakit				
4	Tindakan korektif (setelah masalah terjadi) dipantau dan diidentifikasi tepat waktu oleh Rumah Sakit				

Populasi dalam penelitian ini adalah SDM RS HRPAD yang berjumlah 412. Berdasarkan hal tersebut untuk menentukan sampel yang akan digunakan peneliti memakai beberapa rujukan ahli. Menurut Hajar, Jumlah sampel dengan hasil angka yang besar, mempunyai tujuan terkait *mean* maupun standar deviasi yang didapatkan mempunyai hal dengan probabilitas tinggi yang mirip dengan *mean* serta standar deviasi dari populasi. Adapun jika sampel yang didapat adalah besar, akan tetapi sampel

dengan jumlah kecil dan diambil dengan acak bisa menggambarkan populasi yang akurat (Arikunto, 2006). Adapun jika memungkinkan memakai rumus dalam penentuan jumlah ukuran sampel, sampel tersebut hanyalah suatu pedoman atau acuan bukan untuk sebagai syarat yang absolut (Alwi, 2015). Berdasarkan hal tersebut, peneliti memutuskan untuk mengambil sampel dengan jumlah responden yaitu sebesar 40 orang.

Pada penelitian ini, pengujian data yang diperlukan yaitu dengan menggunakan lembar penilaian pada pendekatan ILO OSHMS 2001. Pendekatan ini bisa menghasilkan pengukuran sejauh mana implementasi dari SMK3 pada suatu perusahaan. Berikut merupakan perhitungan penilaian ILO – OSH 2001 di setiap indikator dengan menggunakan Persamaan 1 (Effendi et al., 2022).

$$\text{Indeks (\%)} = \frac{\sum \text{Skor Pernyataan}}{\sum \text{Skor Maksimum}} \times 100 \dots\dots (1)$$

Setelah melakukan penilaian, dilakukan lagi perhitungan secara keseluruhan dengan rumus yang sama (Tambun, 2021). Setelah mendapat hasil akhir, dilanjutkan dengan menyimpulkan hasil tersebut terhadap kategori penilaian sebagai pada Tabel 2 (ILO, 2013).

Tabel 2. Kategori Penilaian ILO OSHMS 2001

Nilai (%)	Warna	Keterangan
0 – 49		Sangat buruk sampai dengan buruk
50 – 69		Buruk sampai dengan cukup
> 70		Baik sampai dengan sangat baik

Kategori penilaian ILO OSHMS 2001 terdapat 3 yaitu yang pertama adalah 0 – 49 dengan keterangan buruk sampai dengan sangat buruk. Kedua, yaitu 50 – 69 dengan keterangan buruk sampai dengan cukup.

Terakhir, yaitu dengan nilai >70 dengan keterangan baik sampai dengan sangat baik.

3. Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil yang didapatkan dalam penelitian di RS HRPAD, seperti pada Tabel 3, perhitungan tiap nilai elemen yang terdapat di ILO OSHMS 2001. Penilaian ini dihitung dengan menggunakan *software Excel* dan didapat hasil persennya untuk mengetahui elemen tersebut masuk ke dalam kategori jenis merah, orange atau hijau. Berdasarkan Tabel 3, hasil yang didapat pada elemen kebijakan ILO OSHMS 2001, jumlah skor kriteria yaitu sebesar 160 dan skor pemenuhan kriteria pada elemen ini adalah sebesar 135. Jumlah persentase hasil akhir penilaian tersebut adalah sebesar 84,4% dan termasuk dalam kategori warna hijau atau didapatkan hasil baik sampai dengan sangat baik.

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan tingkat pencapaian elemen penilaian organisasi. Hasil yang didapat pada elemen pengorganisasian ILO OSHMS 2001, jumlah skor kriteria yaitu sebesar 160 dan skor pemenuhan kriteria pada elemen ini adalah sebesar 136. Jumlah persentase hasil akhir penilaian tersebut adalah sebesar 85% dan termasuk dalam kategori warna hijau atau

Tabel 3. Tingkat Pencapaian Elemen Penilaian Kebijakan

Elemen	Indikator	Skor Kriteria	Skor Pemenuhan Kriteria	Tingkat Pencapaian (%)
Penilaian Kebijakan	Kebijakan K3RS tertulis	160	136	85%
	Manajemen kebijakan K3RS	160	129	81%
	Penyampaian kebijakan K3RS	160	137	86%
	Peninjauan dan evaluasi K3RS	160	141	88%
	Evaluasi kebijakan setiap tahun	160	142	89%
	Komunikasi antar pekerja	160	141	88%
	Penerapan kinerja K3RS	160	133	83%
	Kebijakan berisi penjelasan dan perlindungan kepada karyawan	160	121	76%
	Jumlah	160	135	84,4%

didapatkan hasil baik sampai dengan sangat baik.

Tabel 4. Tingkat Pencapaian Elemen Penilaian Pengorganisasian

Elemen	Indikator	Skor Kriteria	Skor Pemenuhan Kriteria	Tingkat Pencapaian (%)
Pengorganisasian	Pengidentifikasian bahaya dan penilaian risiko	160	134	84%
	Pelatihan K3 yang terstruktur	160	140	88%
	Dokumentasi SMK3 dengan baik	160	135	84%
	Dokumentasi bahaya dan risiko secara jelas	160	134	84%
	Keterbukaan masalah dalam berkomunikasi	160	138	86%
	Bahaya dan risiko yang timbul didokumentasikan	160	135	84%
	Jumlah	160	136	85%

Tabel 5. Tingkat Pencapaian Elemen Penilaian Perencanaan dan Implementasi

Elemen	Indikator	Skor Kriteria	Skor Pemenuhan Kriteria	Tingkat Pencapaian (%)
Perencanaan dan Implementasi	SMK3 ditinjau sesuai standar yang berlaku	160	136	85%
	Dilakukan identifikasi dan antisipasi K3	160	142	89%
	Dilakukan peninjauan prosedur SMK3	160	136	85%
	Program perubahan K3 dari internal maupun eksternal	160	138	86%
	Pengadaan K3 sesuai dengan spesifikasi dan regulasi	160	137	86%
	Pemantauan dan pengendalian K3 secara teratur	160	141	88%
	Tujuan K3 dilakukan secara konsisten dan jelas	160	134	84%
Jumlah		160	138	86,5%

Tabel 6. Tingkat Pencapaian Elemen Penilaian Evaluasi

Elemen	Indikator	Skor Kriteria	Skor Pemenuhan Kriteria	Tingkat Pencapaian (%)
Evaluasi	Pemantauan SMK3 secara rinci	160	140	88%
	Inspeksi pekerjaan teratur	160	135	84%
	Kebijakan evaluasi K3 efektif (audit)	160	137	86%
	Tinjauan manajemen	160	141	88%
	Pencegahan bahaya sesuai standar	160	137	86%
	Penyediaan <i>feedback</i> yang komprehensif	160	138	86%
Jumlah		160	138	86,3%

Tabel 7. Tingkat Pencapaian Elemen Penilaian Tindakan Perbaikan

Elemen	Indikator	Skor Kriteria	Skor Pemenuhan Kriteria	Tingkat Pencapaian (%)
Tindakan Perbaikan	Upaya tindakan pencegahan terkait SMK3	160	141	88%
	Umpan balik yang dipertimbangkan	160	137	86%
	Kelemahan diidentifikasi secara jelas	160	142	89%
	Tindakan korektif terpantau dan teridentifikasi	160	142	89%
Jumlah		160	141	87,81%

Hasil perhitungan tingkat pencapaian elemen penilaian perencanaan dan implementasi ditunjukkan pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, hasil yang didapat pada elemen perencanaan dan implementasi ILO OSHMS 2001, jumlah skor kriteria yaitu sebesar 160 dan skor pemenuhan kriteria pada elemen ini adalah sebesar 138. Jumlah persentase hasil akhir penilaian tersebut adalah sebesar 86,5% dan termasuk dalam kategori warna hijau atau didapatkan hasil baik sampai dengan sangat baik. Hasil perhitungan tingkat pencapaian elemen penilaian evaluasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil yang didapat pada elemen evaluasi ILO OSHMS 2001, jumlah skor kriteria yaitu sebesar 160 dan skor pemenuhan kriteria pada elemen ini adalah sebesar 138. Jumlah persentase hasil akhir penilaian tersebut adalah sebesar 86,3% dan termasuk dalam kategori warna hijau atau didapatkan hasil baik sampai dengan sangat baik. Hasil perhitungan tingkat pencapaian elemen penilaian evaluasi ditunjukkan pada Tabel 7.

Berdasarkan hasil yang didapat pada elemen kebijakan ILO OSHMS 2001, jumlah skor kriteria yaitu sebesar 160 dan skor pemenuhan kriteria pada elemen ini adalah sebesar 141. Jumlah persentase hasil akhir penilaian tersebut adalah sebesar 87,81% dan termasuk dalam kategori warna hijau atau didapatkan hasil baik sampai dengan sangat baik.

Setelah mendapatkan hasil penelitian dengan menggunakan kuesioner, dilanjutkan pembahasan per elemen terkait dengan

kecelakaan kerja yang masih terjadi di Rumah Sakit. Berdasarkan hal tersebut, dari kecelakaan kerja yang termasuk dalam elemen ILO OSHMS tersebut akan dilanjutkan penerapan langkah-langkah pengendalian bahaya nya dengan menggunakan hirarki pengendalian risiko.

Penilaian dengan menggunakan ILO OSHMS 2001 yaitu penilaian kebijakan K3 mencakup indikator seperti kebijakan yang dipakai, program K3 yang dijalani dan perlindungan terhadap para karyawan. Mengenai elemen penilaian kebijakan, RS HRPAD mengingatkan dalam setiap ketentuan dan kebijakan K3 diinformasikan serta diberitahukan kepada seluruh karyawan yang bekerja. Informasi yang dilakukan adalah memasang informasi K3 di setiap lantai dan ruangan terkait dengan memberitahukan karyawan agar tetap menjaga keselamatan dengan berhati-hati di lingkungan kerja. Hal ini sesuai dengan hasil pencapaian di indikator ILO OSHMS 2001 terkait dengan penyampaian kebijakan K3RS yang mempunyai nilai sebesar 88%. Kebijakan K3RS tersebut berlaku untuk dilaksanakan dan dipatuhi agar komitmen dan kebijakan yang dibuat dapat menjadi tanggung jawab untuk melindungi karyawan maupun pengunjung di Rumah Sakit.

Terkait dengan hal tersebut, sesuai dengan hasil wawancara dengan pihak K3RS masih adanya kecelakaan kerja yang terlibat dalam hal kebijakan K3. Kecelakaan kerja tersebut terjadi pada tahun 2023 yaitu kasus kejadian lift di Rumah Sakit terperosok yang menyebabkan karyawan dan pasien terjebak

dan tidak bisa keluar. Tindakan yang dilakukan dalam mengatasi bahaya kecelakaan kerja ini yaitu dengan menentukan bagaimana pengendalian risiko bahaya sampai dengan bahaya tersebut dapat diatasi. Jenis pengendalian perancangan teknis dipilih karena Rumah Sakit bisa merancang kembali terkait dengan mesin di tempat kerja yang digunakan untuk mengurangi bahaya jika terjadi lagi. Selain itu, dengan perancangan teknis yang baik lift dapat dirancang dengan komponen yang lebih aman dan efisien. Berdasarkan urutan hirarki pengendalian risiko jika jenis perancangan teknis tidak mengurangi bahaya atau masih terjadinya kecelakaan maka bisa diterapkan jenis pengendalian administratif. Pengendalian jenis ini menerapkan prosedur kerja yang aman dengan pemeriksaan rutin, pelatihan pekerja yang baik dalam memahami risiko dan tindakan, dan pengawasan rutin dan pemantauan kinerja masalah. Hasil dari penerapan pengendalian ini tidak hanya dilihat dari perspektif pengendalian risiko, tetapi juga dilihat dalam konteks implementasi keseluruhan manajemen keselamatan dan kesehatan kerja.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, penerapan SMK3 dengan menggunakan ILO OSHMS 2001 menunjukkan hasil sebesar 84,4%. Hal ini menunjukkan bahwa sesuai dengan penilaian ILO OSHMS 2001, jika penilaian yang dihasilkan melebihi angka >70% maka penilaian tersebut masuk ke dalam kategori sudah baik. Berdasarkan hasil kategori tersebut dan penerapan kebijakan K3 dengan menggunakan hirarki pengendalian risiko, RS HRPAD bisa menerapkan hirarki pengendalian risiko agar kebijakan K3 bisa dievaluasi secara rutin serta bahaya yang nantinya timbul dapat diatasi dengan cara yang efektif dan benar. Selain itu, dengan memanfaatkan hasil dari implementasi pengendalian risiko, Rumah Sakit dapat memperbaiki dan mengoptimalkan upaya dalam menjaga lingkungan kerja yang aman dan sehat bagi semua karyawan serta pasien.

Pihak K3RS memiliki penilaian pengorganisasian dalam mematuhi penerapan dari SMK3. Penilaian dengan menggunakan ILO OSHMS 2001 terkait dengan pengorganisasian mencakup hal yaitu tanggung jawab, kompetensi, pelatihan, dokumentasi K3 serta komunikasi. Mengenai hal pengorganisasian, Rumah Sakit melibatkan penilaian risiko elemen pengorganisasian yaitu terdapat pelatihan K3. Pelatihan K3 ini hal yang dilakukan adalah simulasi damkar, *code red*, tanggap darurat pada bencana serta huru-hara (demo). Hasil penilaian pengorganisasian yang dilakukan dengan pengisian kuesioner penerapan SMK3 berdasarkan ILO OSHMS 2001 memiliki nilai persentase sebesar 85%. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan pihak K3RS, terdapat salah satu kecelakaan kerja yang terkait dengan pengendalian dalam pelatihan K3. Kecelakaan tersebut yaitu situasi *code red* yang terjadi pada saat kondisi rumah sakit sedang beroperasi. Situasi kecelakaan kerja yang timbul diketahui yaitu terjadinya ledakan beberapa kali pada bagian divisi yang menangani mesin dan listrik pada rumah sakit.

Berdasarkan kasus kecelakaan kerja, pengendalian risiko jenis eliminasi, substitusi dan perancangan teknis dilewati karena tidak cocok dalam situasi kecelakaan kerja. Eliminasi risiko pada situasi *code red* di Rumah sakit yang mengancam nyawa sering kali tidak mungkin dilakukan. Substitusi risiko tidak digunakan dalam situasi karena memperkirakan bagaimana karakteristik darurat yang dihadapi. Berdasarkan hal tersebut, maka dipilih jenis pengendalian administratif dan alat pelindung diri karena prioritas utama terkait dengan tanggap darurat adalah evakuasi cepat, pengamanan area, dan perlindungan terhadap SDM serta pasien.

Jenis pengendalian administratif dalam kecelakaan kerja ini yaitu pengendalian yang mencakup kebijakan, prosedur serta tindakan manajemen yang telah dirancang dengan efektif dalam menangani situasi bahaya. Selain itu berdasarkan urutan hirarki

pengendalian risiko jika pengendalian administratif tidak efektif, maka dapat dilakukan langkah terakhir pada hirarki pengendalian risiko yaitu alat pelindung diri (situasi tanggap darurat). Jenis pengendalian yang terakhir ini merupakan pengendalian yang dilakukan dengan pengendalian lain untuk bisa mematikan keamanan dari bahaya yang ditimbulkan. Selain itu, elemen pengorganisasian dalam SMK3 di RS HRPAD sudah terintegrasi baik secara keseluruhannya. Elemen pengorganisasian ini selain mencakup hal pemahaman terkait pengorganisasian terdapat juga pelatihan K3 yang disediakan secara terstruktur dan terjadwal, pendokumentasian K3 serta laporan form dengan detail kejadian yang lengkap. Berdasarkan hal itu pula, langkah-langkah dalam hirarki pengendalian risiko dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam mengantisipasi timbulnya kecelakaan kerja di masa mendatang yang berkaitan dengan elemen pengorganisasian seperti penilaian bahaya dan risiko, SOP dan dokumentasi terkait dengan K3 secara lengkap.

Penilaian dengan menggunakan elemen perencanaan dan implementasi memiliki beberapa cakupan yang meliputi peninjauan, kepatuhan, perencanaan dan prosedur dengan berkaitan SMK3. RS HRPAD dengan penilaian yang mencakup perencanaan dan implementasi ILO OSHMS 2001 memiliki hasil nilai yaitu sebesar 86,5%. Penilaian peninjauan bertujuan untuk identifikasi kondisi yang ada serta sumber bahaya yang berkaitan dengan kegiatan kerja. Selain itu, peninjauan berguna untuk penilaian terkait dengan efisiensi serta efektivitas sumber daya manusia yang terdapat di lingkungan kerja. Hasil dari peninjauan K3 menjadi bahan masukan dalam perencanaan dan pengembangan SMK3 untuk selanjutnya (Alimuddin, 2010). Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan terhadap unit K3RS, terdapat penyakit akibat kerja yang terjadi di tahun 2022-2023. Penyakit akibat kerja tersebut antara lain adalah muntah, mual, demam, tifus, dan *gerd*. Penyakit akibat kerja tersebut biasanya ditimbulkan oleh

infeksi, bakteri yang terpapar di rumah sakit, kelelahan saat bekerja dan mengalami tekanan kerja yang tinggi. Penyakit-penyakit ini sendiri bisa disebabkan oleh faktor lingkungan kerja, makanan, kebersihan serta faktor yang berkaitan dengan individu itu sendiri. Tindakan yang dilakukan dalam mengatasi terpapar nya oleh penyakit akibat kerja dengan menggunakan hirarki pengendalian risiko. Berdasarkan kasus penyakit akibat kerja, jenis pengendalian risiko yang digunakan dalam hal ini yaitu kelima tingkatan hirarki pengendalian risiko itu sendiri.

Eliminasi risiko dapat dilakukan dengan mengidentifikasi dan menghilangkan sumber kontaminasi dari penyakit. Kedua, yaitu menggunakan substitusi dengan mencari cara lain yang lebih aman. Ketiga, yaitu dengan menggunakan perancangan teknis. Perancangan teknis dapat melibatkan pengaturan lingkungan kerja dan fasilitas dari Rumah Sakit agar lebih ergonomis dan aman bagi karyawan maupun pasien. Keempat, yaitu dengan menggunakan pengendalian administratif dalam prosedur dalam mengurangi risiko. Kelima, yang terakhir yaitu penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) untuk penyesuaian karyawan dari paparan penyakit (Arikhman et al., 2020). APD merupakan pengendalian penting sebagai lapisan tambahan terkait perlindungan di Rumah Sakit.

Adapun elemen perencanaan dan implementasi dalam SMK3 di RS HRPAD sudah terintegrasi baik secara keseluruhannya. Elemen perencanaan dan implementasi ini selain mencakup hal terkait dengan peninjauan juga terdapat kepatuhan terhadap prosedur K3 serta kesiapan dalam menghadapi perencanaan prosedur dengan SMK3. Oleh karena itu, hal ini ditunjukkan dari hasil penilaian elemen perencanaan dan implementasi termasuk dalam kategori antara baik dan sangat baik. Berdasarkan hal itu juga, untuk mengantisipasi penyakit akibat kerja yang terjadi, Rumah Sakit diharapkan perencanaan dan implementasi hirarki pengendalian risiko. Hirarki pengendalian

risiko sendiri bukan hanya diterapkan dalam pengendalian fisik tetapi dapat juga diterapkan penyakit akibat kerja. Perencanaan dan implementasi ini juga dapat membuat lingkungan kerja yang aman, sehat dan nyaman bagi karyawan.

Penilaian evaluasi yang dilakukan terhadap penerapan SMK3 dengan ILO OSHMS 2001 memiliki nilai sebesar 86,3%. Berdasarkan penilaian ini, elemen evaluasi memiliki hal penting yaitu inspeksi pekerjaan sesuai dengan peraturan perusahaan, kesesuaian APD yaitu penyediaan dan kesiapan, audit SMK3 yang dilakukan satu kali dalam setahun dan prioritas K3. RS HRPAD di salah satu misi nya mengungkapkan bahwa “Memberikan perlindungan keselamatan kerja terhadap seluruh staf dan karyawan”, oleh karena itu prioritas K3 sangat penting dalam mewujudkan salah satu SMK3 yang ada di Rumah Sakit. Terkait dengan perihal prioritas K3, Rumah Sakit mempunyai tanggapan darurat dalam mempekerjakan karyawannya. Salah satu contoh kecelakaan yang terjadi di Rumah Sakit tersebut dan ditanggapi dengan cepat yaitu terdapatnya kasus karyawan yang terpeleset dan terkena jarum suntik di lingkungan kerja Rumah Sakit. Pengendalian risiko yang sesuai dengan kasus kecelakaan tersebut yaitu dengan hirarki pengendalian risiko jenis perancangan teknis, pengendalian administratif dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Jenis pengendalian eliminasi dan substitusi dilewati karena bahaya tersebut hanya bisa dikurangi dan menggunakan perubahan.

Jenis pengendalian perancangan teknis yaitu dengan melakukan pencegahan risiko pada akar penyebab dan perancangan yang baik agar risiko berulang tidak akan terulang kejadian. Selain itu, pengendalian administratif dalam situasi ini dapat diterapkan evaluasi terkait prosedur kerja yang aman. Hal ini mencakup kebijakan, prosedur serta tindakan manajemen yang telah dirancang dengan efektif dalam menangani situasi bahaya. Pelatihan dan kesadaran juga dibutuhkan untuk mengurangi risiko potensial

dari bahaya yang timbul. Selain itu, dapat dilakukan langkah terakhir pada hirarki pengendalian risiko yaitu alat pelindung diri. Terkait dengan hal ini, perlindungan individu (karyawan) dapat diterapkan jika berada dalam kontak langsung dengan bahaya tersebut.

Tindakan perbaikan yang dilakukan oleh RS HRPAD telah dijalankan dengan baik sesuai dengan hasil ILO OSHMS 2001. Penilaian terhadap tindakan perbaikan menggunakan kuesioner terhadap implementasi SMK3 dengan ILO OSHMS 2001 menghasilkan nilai sebesar 87,81%. Penilaian ini berfokus pada perbaikan berkelanjutan yang akan diimplementasikan. Terkait dengan hal ini, tindakan perbaikan harus mengevaluasi dan memperbaiki ketetapan yang belum tercapai dalam pelaksanaan SMK3. Pelaksanaan tindakan perbaikan mempertimbangkan tindakan korektif yaitu tindakan untuk menghilangkan faktor yang menjadi penyebab suatu kejadian. Setiap tindakan korektif harus dianalisis dan dinilai berdasarkan hasil pengauditan SMK3. Penentuan waktu tindakan korektif di RS HRPAD disesuaikan dengan *output* dari tindakan perbaikan dan dihubungkan terhadap pemenuhan SMK3 di Rumah Sakit.

Tindakan perbaikan memiliki peran penting dalam menentukan tindakan korektif saat menerapkan SMK3. Pemantauan kinerja dilakukan di dalam RS HRPAD terkait dengan pelaksanaan pencegahan dan identifikasi risiko. Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, umpan balik berperan penting dalam perencanaan implementasi dan evaluasi. Saran dan kritik dari karyawan yang bekerja di lingkungan kerja sangat penting pula dalam mengimplementasikan tindakan perbaikan. Oleh karena itu, keluhan atau saran dari karyawan harus dinilai, diperhatikan serta didiskusikan agar tindakan perbaikan dapat diintegrasikan ke dalam SMK3 di Rumah Sakit.

4. Kesimpulan

RS HRPAD dalam penerapan SMK3 dengan menggunakan ILO OSHMS 2001 sudah terintegrasi dengan baik serta mendapat hasil persentase 84,4% untuk penilaian kebijakan, 85% untuk pengorganisasian, 86,5% untuk perencanaan dan implementasi, 86,3% untuk evaluasi dan tindakan perbaikan sebesar 87,9%. Adapun level penerapan SMK3 dengan ILO OSHMS 2001 yang dihasilkan oleh RS HRPAD adalah sejumlah 86%. Hasil ini menunjukkan bahwa level berada di kategori Hijau dengan keterangan nilai ($> 70\%$) antara baik dan sangat baik. Berdasarkan hasil tersebut, RS HRPAD perlu menerapkan evaluasi yang berkelanjutan dan rutin untuk bisa mempertahankan implementasi yang sudah baik. Selain itu, terdapat beberapa rekomendasi perbaikan terhadap penerapan SMK3 di RS HRPAD di 5 elemen yang telah diteliti dengan menggunakan hirarki pengendalian risiko. Pada elemen pertama yaitu penilaian kebijakan, digunakan penerapan hirarki pengendalian risiko jenis perancangan teknis dan administratif. Untuk elemen pengorganisasian, menggunakan penerapan hirarki pengendalian risiko jenis pengendalian administratif dan alat pelindung diri (situasi tanggap darurat). Mengenai rekomendasi perbaikan yang dibutuhkan untuk elemen perencanaan dan implementasi yaitu penerapan hirarki pengendalian risiko dengan seluruh tingkatan yaitu eliminasi, substitusi, perancangan teknis, pengendalian administratif dan alat pelindung diri. Untuk elemen evaluasi, Rumah sakit perlu menerapkan hirarki pengendalian risiko jenis perancangan teknis, pengendalian administratif dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Terkait untuk elemen tindakan perbaikan, Rumah Sakit diharapkan menerapkan pembuatan form ketidaksesuaian yang berisi deskripsi bahaya dan bagaimana pencegahan serta tinjauan ulang tindakan yang akan dilakukan nantinya.

Daftar Pustaka

Alimuddin, F. (2010). Penerapan Sistem

Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja di RSUD Tarakan Tahun 2010 (Penelitian Kualitatif). In *Skripsi*. Universitas Islam Negara Alauddin.

Alwi, I. (2015). Kriteria Empirik dalam Menentukan Ukuran Sampel Pada Pengujian Hipotesis Statistika dan Analisis Butir. *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 2(2), 140–148. <https://doi.org/10.30998/formatif.v2i2.95>

Anggraini, R. D. (2019). *Analisis Penerapan SMK3 Pada Karyawan PT Pupuk Sriwidjaya Palembang Bagian Pengelasan Dalam Upaya Pencegahan Kecelakaan Di PT Pupuk Sriwidjaya Palembang Tahun 2019*. Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Bina Husada.

Arikhman, N., Mutmainah, S. K., & Angelia, I. (2020). Analisis Penerapan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Pada Program Keselamatan Kerja Di Rumah Sakit Umum Daerah Sungai Dareh. *Jurnal Kesehatan Medika Saintika*, 11(2), 237–246. <https://doi.org/10.30633/jkms.v11i1.771>

Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian : Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta.

Bird, F. E., & Germain, G. L. (1996). *Practical Loss Control Leadership*. International Loss Control Institute. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:167088882>

Effendi, M., Surya, P., & Rimbano, D. (2022). Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Sebagai Peran Pencegahan Kecelakaan Kerja Di Pt Konsul Perdana Indonesia Area Lubuklinggau. *Jurnal Media Ekonomi (JURMEK)*, 27(3), 68–78. <https://doi.org/10.32767/jurmek.v27i3.1812>

ILO. (2013). *Audit matrix for the ILO guidelines on occupational safety and health management systems (ILO-OSH 2001) / - Labordoc* (First Edit). ILO Publications. <http://labordoc.ilo.org/record/456938?ln>

=en%0Ahttp://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/2013/113B09_60_engl.pdf

- Ivana, A., Widjasena, B., & Jayanti, S. (2014). Analisa Komitmen Manajemen Rumah Sakit (RS) Terhadap Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada RS Prima Medika Pematang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 2(1), 35–41. <https://doi.org/10.14710/jkm.v2i1.6372>
- Lewaherilla, N. C., Sriagustini, I., Kusmindari, C. Des, Setiawan, H., Puspandhani, M. E., Saptaputra, S. K., Wahyurianto, Y., Della, R. H., Akbar, H., Pramana, C., Pasmawati, Y., Erick A, Y. P., Dewadi, F. M., & Widiastuti, F. (2022). *Keselamatan Dan Kesehatan Kerja* (Agustiawan (ed.)). Penerbit Media Sains Indonesia.
- Matondang, A. S. (2022). Analisis Penerapan Sistem Manajemen Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Rumah Sakit Ibu Dan Anak Artha Mahinrus Medan [Universitas Islam Negeri Sumatera Utara]. In *Skripsi*. <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/angka-konsumsi-ikan-ri-naik-jadi-5648-kgkapita-pada-2022>
- Refly, A., Miswari, N., & Wahyudi, R. (2024). Analisis Tingkat Pemenuhan Manajemen dan Sistem Proteksi Kebakaran di Gedung Laboratorium Teknik 2. *Teknoin*, 29(1), 39–47. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol29.is1.art5>

Perancangan dan Pembuatan Orthosis *Flat Foot* dengan Metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping*

Finny Pratama Putera¹⁾, Paryana Puspaputra²⁾, Damarjati Sabdahu³⁾

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang km 14,5, Yogyakarta, 55584, Indonesia^{1),2),3)}

E-Mail : finny.pratama.putera@uii.ac.id^{1)*}

ABSTRAK

Ortosis merupakan alat khusus yang dirancang untuk menunjang atau memperbaiki struktur tubuh. Pada kasus *flat foot*, ortosis berfungsi membantu menopang lengkung arkus, memberikan peredaman tekanan, serta meningkatkan stabilitas sehingga dapat mengurangi rasa nyeri maupun ketidaknyamanan yang ditimbulkan. *Flat foot* merupakan kelainan bagian telapak kaki ditandai kurangnya lengkungan pada bagian arkus. Penyangga yang berupa orthosis *insole flat foot* dibutuhkan sebagai salah satu terapi penanganan. Rancangan *insole* dibuat dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* yang dibuat sesuai dengan kriteria desain yang ditentukan. *Insole flatfoot* ini disesuaikan dengan ukuran anatomi tubuh pasien dan dicetak dengan material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) pada mesin *3D printing*. Hasilnya adalah *Insole* sepatu bersifat fleksibel dalam perancangan, serta proses manufaktur yang praktis.

Kata kunci: *Reverse Engineering*, Orthosis, *Insole Flat Foot*, *3D print*.

ABSTRACT

An orthosis is a special device designed to support or improve body structure. In the case of flat feet, an orthosis helps support the arch, provide pressure damping, and increase stability, thereby reducing pain and discomfort. Flat foot is a foot deformity characterized by a lack of arch in the arch. A flat-foot orthotic insole is needed as one of the treatment therapies. The insole design is created using Reverse Engineering and Rapid Prototyping methods and is made according to the specified design criteria. This flatfoot insole is custom-fitted to the patient's anatomical size and printed in Thermoplastic Polyurethane (TPU) on a 3D printer. The result is a shoe insole that is flexible in design and practical in manufacturing.

Keywords: *Reverse Engineering*, Orthosis, *Insole Flat Foot*, *3D print*.

1. Pendahuluan

Kaki dan pergelangan kaki merupakan bagian tubuh dengan struktur yang sangat kompleks, berperan penting dalam menjaga kestabilan saat berdiri maupun bergerak. Pada kaki terdapat 28 tulang, lebih dari 30 sendi, serta jaringan tendon dan ligamen yang menyokong fungsinya. Sebagai penopang utama tubuh, kesehatan kaki sangat memengaruhi aktivitas sehari-hari. Gangguan pada bagian ini tidak hanya menimbulkan rasa nyeri, tetapi juga dapat membatasi mobilitas seseorang. Salah satu kondisi yang sering ditemui adalah *flat foot*, yaitu penurunan

lengkung telapak kaki. Kondisi ini dapat dialami baik oleh anak-anak maupun orang dewasa, dan diperkirakan memengaruhi sekitar 20%–30% populasi di seluruh dunia (S. Su dkk, 2017).

Flat foot atau telapak kaki datar terbagi menjadi dua jenis, yaitu *fixed flat foot* dan *flexible flat foot*. Perbedaan utama keduanya dapat diamati saat posisi telapak kaki tanpa beban, misalnya ketika berbaring telentang (K. J. Youn dkk, 2019). Namun, batasan antara kedua tipe tersebut masih belum sepenuhnya jelas. Hingga kini, penelitian lebih banyak berfokus pada *flexible flat foot*,

*Corresponding author

karena kondisi ini masih memungkinkan dikoreksi sehingga telapak kaki kembali mendekati normal dengan bantuan sepatu khusus atau sol ortotik yang dilengkapi sisipan pada bagian arkus medial. Berdasarkan hal tersebut, penelitian mengenai penanganan *flat foot* menjadi penting dilakukan.

Ortosis merupakan alat yang dirancang khusus untuk menunjang atau memperbaiki struktur tubuh, dan pada kasus *flat foot* berfungsi menopang lengkung arkus, meredam tekanan, serta menjaga stabilitas sehingga dapat mengurangi rasa nyeri maupun ketidaknyamanan. Berdasarkan tingkat kekakuan materialnya, ortosis terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *soft orthosis* yang umumnya digunakan sebagai insole karena mampu mendistribusikan tekanan beban, *rigid orthosis* yang terbuat dari material kaku dengan tujuan memperbaiki masalah mekanis melalui perubahan bentuk dan penyalarsan kaki, serta *semi-rigid orthosis* yang mengombinasikan material lunak dan kaku sehingga mampu memberikan dukungan sekaligus peredaman. Dengan karakteristik tersebut, ortosis menjadi salah satu solusi terapi yang efektif untuk membantu penderita *flat foot*, khususnya dalam mengurangi beban saat berjalan maupun berlari (Bednarczyk dkk, 2024).

Salah satu penelitian terkait rehabilitasi menggunakan ortosis dilakukan untuk menilai pengaruh cetakan ortosis kaki khusus terhadap keseimbangan serta gangguan pada kaki anak-anak yang mengalami *flat foot* fleksibel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ortosis dalam jangka pendek memberikan dampak positif, terutama dalam meningkatkan keseimbangan dan mengurangi keluhan nyeri pada anak dengan kondisi tersebut. (Lee dkk, 2015)

Sejumlah penelitian terbaru membahas penggunaan *insole* untuk penderita *flat foot* yang dibuat dengan teknologi *3D printing*. Studi tersebut meneliti pengaruh insole 3D printing terhadap distribusi tekanan dan kenyamanan pada telapak kaki, serta dampaknya terhadap lengkung kaki pada kasus *flat foot* fleksibel. Hasil dari kedua penelitian tersebut menunjukkan adanya efek positif,

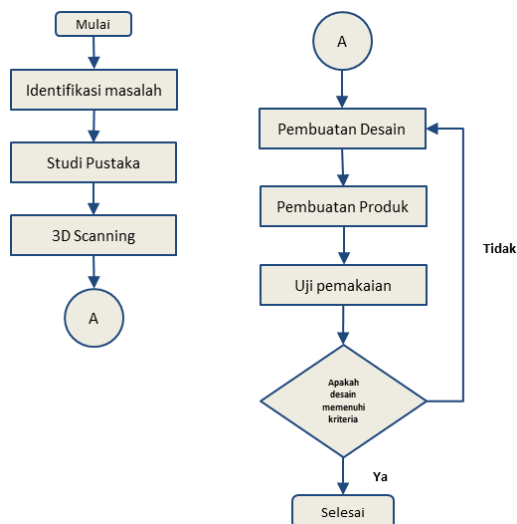
terutama dalam memperbaiki kondisi kaki penderita. (R. Xu dkk, 2019; Cheng dkk, 2021).

Seiring dengan perkembangan waktu, inovasi dalam pembuatan *insole berbasis 3D printing* semakin banyak dikembangkan. Salah satu penelitian membuat tiga variasi insole 3D printing untuk dibandingkan efek biomekaniknya pada penderita *flat foot*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis insole tersebut mampu membantu menopang lengkung kaki serta meningkatkan sudut dorsofleksi pada kaki. (Wang dkk, 2022)

Penelitian mengenai pembuatan *insole 3D printing* mulai dikembangkan di Indonesia dengan tujuan menghasilkan sepatu khusus bagi penderita *flat foot*. Proses perancangan dilakukan dengan memanfaatkan teknologi *3D scanner* untuk memperoleh data anatomi kaki yang kemudian diolah menggunakan aplikasi. Inovasi berlanjut melalui penerapan *3D printed spacer technique*, yang menghasilkan insole dengan karakteristik lebih lembut, sejuk, dan ringan, serta didukung pergerakan *toolpath* yang efisien tanpa *travel movement*. Dengan perkembangan teknologi ini, insole berbasis 3D printing menawarkan solusi yang lebih presisi, nyaman, dan efektif sebagai terapi bagi penderita *flat foot* (Sterman dkk, 2024).

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe *insole* untuk penderita *flat foot* fleksibel dengan memanfaatkan teknologi *3D printing*. Prototipe dibuat menggunakan material TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) yang memiliki karakteristik elastis dan tahan lama sehingga sesuai untuk kebutuhan insole. Proses perancangan dilakukan melalui perangkat untuk menghasilkan desain yang presisi sesuai bentuk kaki. Penelitian ini difokuskan pada tahap pembuatan prototipe sehingga tidak membahas aspek ortopedi maupun medis secara mendalam, namun diharapkan dapat memberikan solusi alternatif dalam penanganan *flat foot* fleksibel melalui pendekatan teknologi manufaktur aditif.

2. Metodologi



Gambar 1. Alur penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian. Dalam penelitian ini diterapkan metode *Reverse Engineering*, yakni tahapan untuk mengidentifikasi serta meniru bagian-bagian penting dari suatu objek nyata guna menyusun model virtual atau real secara presisi, ataupun melakukan pembaruan pada model lama. Penerapan metode ini membutuhkan perangkat yang kompleks, dukungan fasilitas komputer, serta kompetensi sumber daya manusia yang tinggi (Saiga dkk, 2021).

Metode Rapid Prototyping (RP) kemudian dikembangkan sebagai teknik untuk membentuk objek fisik secara langsung dari data digital yang dihasilkan oleh sistem *Computer-Aided Design* (CAD). Penerapan teknologi RP bertujuan meningkatkan pemahaman dan visualisasi tahapan desain produk, sehingga dapat digunakan untuk meminimalkan ketidakpastian yang mungkin terjadi pada proses produksi berskala penuh (Ghane, 2021)

Penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan pada *insole flat foot* yang telah ada, kemudian dilanjutkan dengan studi pustaka sebagai dasar teori. Setelah itu, dilakukan pengolahan data pasien melalui pemindaian tiga dimensi (3D scanning) yang menghasilkan file dalam format *.STL* (*Standard Triangle Language*). Data tersebut selanjutnya dijadikan acuan dalam proses

perancangan desain menggunakan aplikasi *Autodesk Fusion 360*. Apabila desain sudah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, maka model akan dicetak menggunakan *3D printer*.

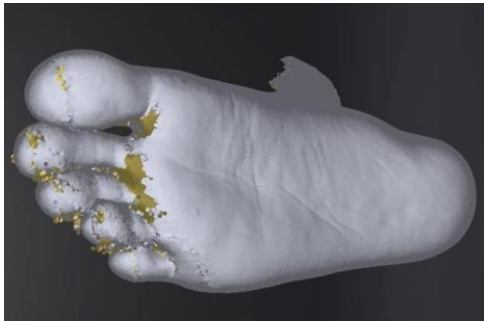
Pada penelitian ini, perancangan insole dilakukan dengan memperhatikan beberapa kriteria desain. Pertama, bentuk insole dibuat simetris pada sisi kanan dan kiri sehingga mampu mendistribusikan beban tubuh secara merata. Kedua, bobot insole tidak boleh melebihi 500-gram agar tetap nyaman digunakan. Data pasien diperoleh melalui *3D scanner EinScan Pro 2X Plus*, kemudian diproses menggunakan aplikasi *ExScan Pro* untuk menghasilkan file STL yang siap digunakan sebagai referensi desain.

Tahap pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan *Autodesk Fusion 360*. File hasil scan dalam format STL diimpor ke dalam aplikasi, lalu dimodifikasi sesuai kebutuhan desain insole. Pemilihan Fusion 360 didasarkan pada ketersediaan perangkat lunak yang mendukung pemodelan bentuk organik, termasuk bagian tubuh manusia, sehingga sesuai untuk pembuatan insole sepatu. Secara keseluruhan, perancangan insole flat foot ini terdiri atas empat tahapan utama, yaitu pengolahan data pasien, pemodelan desain, pembuatan *G-code*, dan pencetakan 3 dimensi.

Hasil pemindaian kaki (Gambar 2) menggunakan *EinScan Pro 2X Plus* pada awalnya belum optimal karena masih terdapat lubang dan bentuk yang kurang rapi. Data mentah tersebut kemudian diperbaiki menggunakan aplikasi *ExScan Pro* agar model yang dihasilkan lebih halus dan siap dijadikan acuan dalam pembuatan desain insole. Dengan proses perapihan ini, kualitas data meningkat sehingga lebih sesuai digunakan dalam tahap pemodelan berikutnya.

Hasil pemindaian yang masih berlubang kemudian diperbaiki menggunakan aplikasi dengan memanfaatkan fitur *generate point clouds*. Pada tahap ini tersedia dua opsi, yaitu *quality priority* dan *speed priority*. Pilihan *speed priority* digunakan karena sudah memadai untuk menghasilkan model yang

diperlukan. Setelah point clouds terbentuk, model selanjutnya diubah menjadi *mesh model* dengan opsi *water tight* pada kualitas *high detail* guna menutup celah dan memperbaiki ketidaksempurnaan yang terdapat pada hasil scan. Gambar 3 menampilkan model kaki yang telah mengalami perbaikan.



Gambar 2. Hasil Scan



Gambar 3. Hasil Perbaikan Scan

Pada tahap perbaikan *mesh* untuk model referensi *insole*, masih terdapat ketidaksempurnaan pada bagian jari kaki. Namun, hal tersebut tidak menjadi kendala dalam proses pembuatan *insole* karena permukaan yang paling krusial adalah telapak kaki pasien. Hasil pemindaian menunjukkan telapak kaki dalam posisi melayang, kondisi ini penting karena pada kasus *flexible flat foot* akan terlihat lengkungan kaki yang menjadi acuan utama dalam perancangan desain *insole*. Proses pemindaian berlangsung sekitar 1–3 menit sehingga diperlukan penyangga pada kaki pasien agar posisi tetap stabil dan hasil scan lebih ideal. Gambar 4 menampilkan ilustrasi proses pengambilan data *scan* pada kaki.



Gambar 4. Pengambilan Data

Dalam proses *3D printing*, terdapat sejumlah parameter penting yang harus diperhatikan, salah satunya adalah pengaturan suhu pencetakan. Untuk jenis filamen *TPU (Thermoplastic Polyurethane)*, suhu ekstrusi yang disarankan berada pada kisaran 225–245°C, sedangkan suhu *bed* dipertahankan pada rentang 45–60°C agar proses pencetakan berjalan optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pemodelan

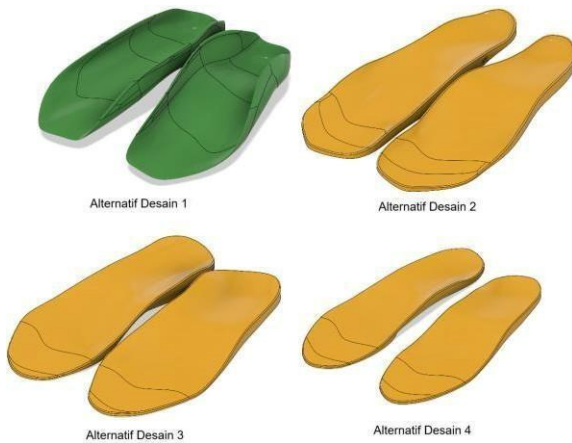
Perancangan *insole* sepatu dilakukan beberapa tahap dengan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Final Pemodelan

Proses perancangan desain dilakukan melalui enam tahapan utama, yaitu pembuatan *surface T-splines*, pembuatan *insole*, penambahan penopang arkus kaki, penggabungan (*merging*) *insole*, tahap *finishing*, serta proses *mirror*. Dalam pelaksanaannya, tahapan tersebut tidak terlepas dari berbagai kendala, baik terkait tingkat kerumitan pengerjaan maupun pengaruhnya terhadap waktu yang

dibutuhkan. Gambar 6 menampilkan hasil dari beberapa tahap yang telah diselesaikan.

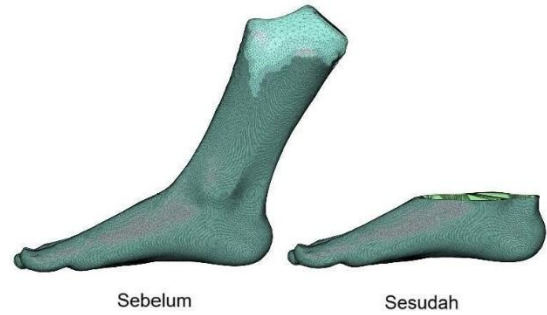


Gambar 6. Iterasi Desain

Berdasarkan Gambar 6 di atas, terdapat empat iterasi desain sebelum ditetapkan desain akhir yang akan digunakan. Proses perancangan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak, dan hasilnya dicetak menggunakan metode *rapid prototyping* berbasis *3D printing*. Aplikasi *Fusion 360* dipilih sebagai perangkat lunak utama dalam pembuatan desain insole sepatu karena mendukung pemodelan organik yang sesuai dengan bentuk kaki.

Tahap awal perancangan dimulai dengan proses *remeshing*. Langkah ini diperlukan untuk menyesuaikan hasil file .STL dari model kaki agar sesuai dengan kemampuan komputer dalam mengolah desain insole. Polygon pada mesh kaki yang terlalu besar akan dikurangi resolusinya menggunakan fitur *remesh* atau *reduce*, sehingga model lebih ringan untuk diproses.

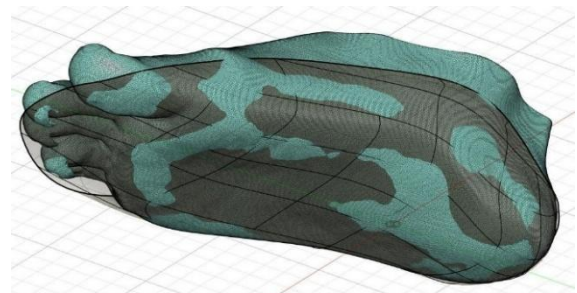
Karena bagian yang dibutuhkan hanya telapak kaki, sisa mesh pada model dipotong menggunakan fitur *mesh plane cut* dengan *fill type* minimal. Pemotongan ini bertujuan untuk mengurangi jumlah polygon sekaligus menurunkan resolusi mesh agar tidak membebani kinerja komputer. Gambar 7 menunjukkan hasil model sebelum dan sesudah melalui proses *remeshing* dan *plane cut*.



Gambar 7. Hasil *Import* dan *Remeshing*

Setelah tahap *remeshing* selesai, proses perancangan desain dilanjutkan dengan pembuatan *surface* yang mengikuti bentuk telapak kaki pada model. Tahap berikutnya adalah menggunakan fitur *Create to Form* untuk membentuk *T-splines* dengan bantuan *tools pull*.

T-splines merupakan salah satu fitur unggulan pada perangkat lunak *Autodesk Fusion 360* yang sering dimanfaatkan dalam metode *reverse engineering*. Fitur ini berfungsi untuk membentuk permukaan (*surface*) yang dapat menyesuaikan dengan hasil pemindaian 3D atau objek yang sudah ada. Melalui metode ini, dibuat model form yang dirancang khusus untuk memperbaiki lengkung arkus pada kaki. Gambar 8 menunjukkan hasil desain dengan *Surface T-Spline*.



Gambar 8. *Surface T-Spline*

Dari hasil desain terlihat adanya bagian yang tidak sepenuhnya berada di permukaan telapak kaki, melainkan menembus ke dalam model kaki. Kondisi ini wajar karena fungsi utama insole sepatu adalah memperbaiki

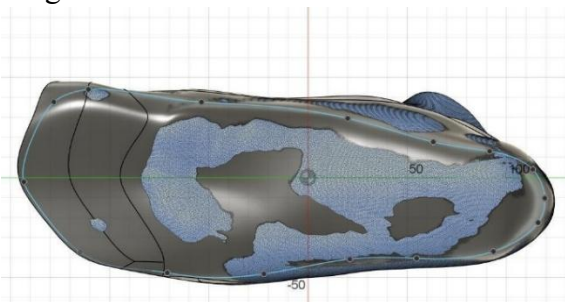
postur telapak kaki sehingga diperlukan penyesuaian bentuk pada permukaan model.

Setelah proses meshing pada surface kaki selesai, tahap berikutnya adalah menambahkan ketebalan pada lapisan surface tersebut. Proses ini dilakukan dengan menggunakan fitur *Thicken*, sehingga model insole memiliki bentuk yang lebih realistis dan siap untuk tahap pemrosesan selanjutnya. Hasil iterasi desain 1 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Iterasi Desain 1

Pada iterasi desain 1, terdapat kekhawatiran bahwa model tidak mampu menopang beban pengguna dengan optimal. Oleh karena itu, dibuat iterasi desain 2 sebagai pengembangan dari desain sebelumnya, dilakukan sebelum penerapan fitur *Thicken*. Pada tahap ini, desain diperoleh dengan membuat sketsa tambahan di bawah permukaan *T-spline*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Sketsa Insole

Setelah sketsa *insole* selesai dibuat, tahap berikutnya adalah memberikan ketebalan pada sketsa tersebut dengan memanfaatkan fitur *Extrude*. Proses ini dilakukan dengan memilih

sketsa sebagai profil, kemudian menggunakan pengaturan *extent type (to object)* dengan objek acuan berupa surface *T-spline* yang telah dirancang sebelumnya. Melalui pengaturan tersebut, dihasilkan model insole pada iterasi desain 2 seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



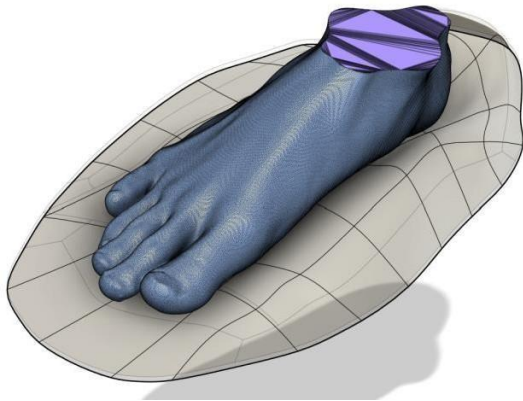
Gambar 11. Iterasi Desain 2

Pada saat dilakukan uji coba pemakaian, iterasi desain 2 tidak memenuhi kriteria kenyamanan karena ukuran *insole* yang terlalu kecil. Kondisi ini menyebabkan pengguna merasakan bagian depan kaki melebihi batas insole serta sering terjadi slip saat insole digunakan di dalam sepatu. Oleh karena itu, diperlukan pengulangan proses perancangan untuk menghasilkan iterasi desain 3.

Kegagalan pada iterasi desain 2 terletak pada sketsa *insole* yang dibuat. Hal ini disebabkan oleh *surface T-spline* yang mengikuti kontur samping kaki, sehingga ukuran sketsa tidak dapat melampaui batas permukaan tersebut. Untuk mengatasi masalah ini, *surface T-spline* kemudian dibuat ulang dengan bentuk yang lebih melebar ke segala arah, namun tetap mempertahankan penutupan pada area telapak kaki. Gambar 12 menunjukkan hasil *surface T-spline* yang telah diperbarui.

Langkah selanjutnya adalah membuat *insole* dengan membuat sketsa *insole* yang lebih besar dari permukaan kaki, kemudian menggunakan fitur *extrude* dengan langkah yang sama pada desain 2. Setelah melakukan

langkah tersebut maka didapatkan hasil desain 3 seperti pada Gambar 13.



Gambar 12. *Surface T-Spline* Iterasi Desain 3



Gambar 13. Iterasi Desain 3

Ketika melakukan tahap uji pemakaian maka ditemukan bahwa hasil *insole* terlalu besar sehingga tidak bisa dimasukkan ke dalam sepatu. Sehingga perlu dilakukan pengurangan pada desain *insole*, pengurangan ini menghasilkan desain akhir dari *insole* sepatu. Perubahan yang dilakukan terdapat pada langkah sebelum pembuatan sketsa *insole*, dengan penambahan referensi foto bagian dalam sepatu yang akan diperlukan untuk menentukan ukuran *insole* Sepatu.

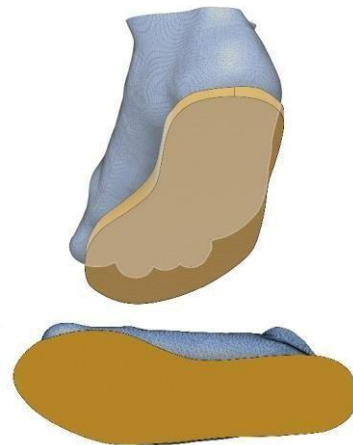


Gambar 14. Referensi *Insole* Sepatu

Gambar 14 adalah proses dimana foto bagian dalam sepatu diambil dengan koin sebagai referensi untuk melakukan *re-scale* yang bisa dilakukan di dalam aplikasi fusion 360 dengan fitur *calibrate*, kemudian memilih titik untuk ditaruh pada posisi ujung koin, untuk menentukan ukuran koin sesuai dimensi sesungguhnya yang berupa 27 mm (milimeter) pada diameternya.

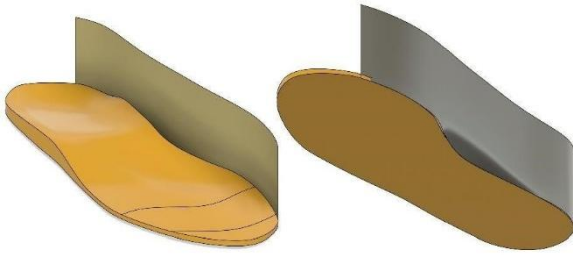
Langkah berikutnya adalah mengubah posisi/peletakan gambar untuk menyesuaikannya dengan referensi 3D *scan* kaki dengan fitur edit *canvas* pada gambar, kemudian letakan posisinya sesuai dengan referensi *scan*.

Setelah tahap tersebut maka dibuat sketsa *insole* sepatu yang sesuai dengan foto referensi *insole* sepatu kemudian dilakukan langkah *extrude* seperti pada tahap pembuatan *insole* alternatif desain 2. Setelah dilakukan langkah tersebut maka dihasilkan *insole* seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil *Extrude* Iterasi Desain 4

Pada Gambar 15 terlihat ada bagian bagian lekukan yang ada pada bagian *insole*, lekukan ini tidak dapat menopang bagian lengkungan arkus pada kaki, sehingga desain masih perlu diperbaiki. Maka dibuatlah bagian *surface T-spline* untuk menyesuaikan bentuk *insole* terhadap bagian dalam sepatu dan *surface scan* kaki. Gambar 16 menunjukkan pembuatan *surface T-spline* bagian penopang lengkungan arkus.



Gambar 16. *Surface T-spline Insole* Sepatu

Setelah membuat *surface insole* maka bisa dibuat bagian untuk menopang lengkungan arkus kaki. Langkah ini dimulai dengan membuat sketsa yang kemudian di-*extrude* untuk menyesuaikan bentuk *surface T-spline insole* sepatu. Gambar 17 adalah hasil dari *extrude* bagian yang akan menopang lengkungan arkus pada kaki.



Gambar 17. Hasil *Extrude Support* Lengkung Arkus Kaki

Hasil *extrude* tersebut dibuat dengan menyesuaikan kedua bentuk *surface T-spline* pada permukaan kaki dan bagian dalam sepatu. Kemudian hasil dari *extrude* dijadikan satu bagian dengan *insole* dengan fitur *merge*. Setelah kedua bagian menjadi satu maka desain *insole* kemudian dicerminkan untuk membuat pasangan *insole* yang lainnya. Gambar 18 menunjukkan hasil akhir dari *insole flatfoot*.

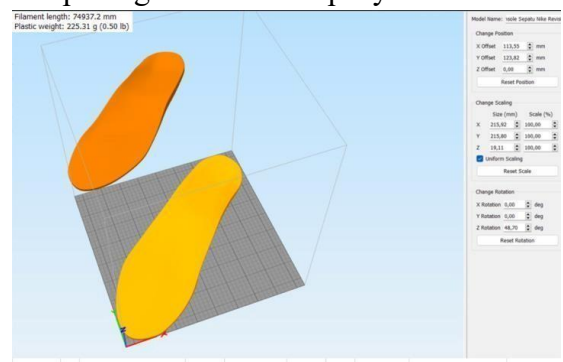


Gambar 18. Iterasi Desain 4

3.2. Hasil Proses 3D Print

Hasil akhir desain keudian dicetak untuk dilakukan uji pemakaian. Desain yang dibuat dari fusion 360 kemudian di *export* dengan format.STL lalu dimasukkan ke dalam aplikasi Simplify3D untuk mengatur dan mengkalibrasi temperatur dan ketinggian *bed*, memanaskan *nozzle* serta menentukan jenis dan ukuran filamen yang digunakan. Pengaturan gerakan *nozzle* dilakukan dengan aplikasi tersebut.

Mesin 3D yang digunakan adalah Creality Ender 3 V3 SE dengan kapasitas cetak 220 x 220 x 250 mm. Material *insole* kaki yang dicetak adalah filamen TPU. Gambar 19 merupakan simulasi pencetakan Desain 4 dalam perangkat lunak Simplify3D.



Gambar 19. Simulasi 3D Printing Desain 4

Karena ukuran kedua *insole* lebih besar dari kapasitas cetak mesin maka proses 3D *printing* dilakukan dengan memisahkan *insole* kanan dan kiri. Proses waktu untuk mencetak memakan waktu sekitar 18 jam 54 menit yang dilakukan dengan dua 3D *printer* untuk

mengurangi waktu pengerjaan. *Infill* dari proses pencetakan dibuat 60%, tinggi layer height yang dipakai adalah 0.1 mm, *nozzle* diameternya adalah 0.40 mm, *pattern infill Rectilinear*, temperatur *nozzle* 220 °C, *Heatbed* temperatur 50°C.

3.3. Hasil Produksi Desain Akhir

Setelah melakukan pencetakan 3D, didapatkan hasil yang hampir sempurna. Karena tingkat ketelitian layer height yang dipilih adalah 0.1mm maka hasil akhir dari proses pencetakan hampir tidak memiliki permukaan kasar yang dapat mengganggu pada saat proses uji coba pemakaian, namun proses *finishing* masih harus dilakukan pada permukaan yang masih sedikit kasar dengan menggunakan sandpaper. Gambar 20 menunjukkan bentuk akhir dari *insole flatfoot*.



Gambar 20. Hasil 3D Printing Desain 4

3.5 Hasil Uji Pemakaian

Gambar 21 merupakan foto saat penggunaan ortosis *insole flatfoot* final yang berupa iterasi Desain 4.



Gambar 21. Penggunaan *Insole Flatfoot* Iterasi Desain 4

Foto di atas diambil pada saat posisi berdiri dan pada saat penggunaan *insole* terjadi penolakan pada lengkungan arkus pada kaki. Desain 4 mencakup semua kriteria karena desain tersebut dibuat dengan menggunakan teknologi komputerasi CAD/CAM 3D *printing*, bentuk *insole* yang simetris kanan dan kiri mendistribusikan beban pada kaki secara merata, berat *insole* sebesar 225.31 gram, *insole* terbuat dari satu jenis material yaitu *filament* TPU (*Thermoplastic Polyurethane*), dan terakhir adalah kenyamanan pada saat penggunaan sehari-hari.

Sebelum desain akhir dipilih, terdapat beberapa percobaan pada desain 2 dan desain 3. Pada desain 2, dihasilkan *insole flatfoot* yang bisa digunakan tetapi ada satu kekurangan pada desain 2. Karena ukurannya yang dibuat lebih kecil dari ukuran permukaan kaki maka alternatif desain 2 mengalami *slip* ketika digunakan di dalam sepatu. Gambar 22 menunjukkan hasil uji coba Desain 2.



Gambar 22. Penggunaan Insole Flatfoot Desain 2

Daripenggunaan insole desain 2 bisa dilihat bahwa *insole* dapat menopang beban pengguna pada saat berdiri, namun kekurangan dari desain ini terletak pada kenyamanan pada saat penggunaan sehari-hari yang bisa ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. *Insole* Desain 2 di dalam Sepatu

Pada Gambar 23 bisa terlihat rongga-rongga yang masih ada di bagian tumit *insole*, rongga tersebut mengakibatkan terjadinya *flatfoot* yang masih bisa bergerak didalam sepatu pada saat pemakaian, hal ini menyebabkan penggunaan *insole* yang kurang nyaman untuk dipakai. Selanjutnya dibuatlah Desain 3 untuk memenuhi kriteria desain kenyamanan penggunaan dalam kegiatan sehari-hari. Gambar 23 menunjukkan hasil uji coba penggunaan desain 3.



Gambar 23. Penggunaan *Insole Flatfoot I* Desain 3

Ketiga *insole* ini berhasil menopang badan pengguna saat posisi berdiri, namun kesalahan yang ada pada desain 3 adalah ukuran dari *insole* yang melebihi bagian dalam sepatu sehingga *insole* tidak dapat digunakan dalam sepatu. Gambar 24 adalah kegagalan dari desain tersebut.



Gambar 25. Kegagalan *Insole* Desain 3

Dari kegagalan desain 3 maka dibuatlah desain 4 yang mempertimbangkan dimensi bagian dalam sepatu maka dihasilkan bentuk yang menyerupai bagian dalam sepatu sehingga *insole* dapat dimasukkan dengan posisi yang pas. Gambar 26 menunjukkan bagian dalam sepatu dengan *insole* desain 4.



Gambar 26. *Insole* Desain 4 di Dalam Sepatu

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pembuatan *insole* untuk penderita *flat foot* berhasil direalisasikan melalui metode *reverse engineering* dan *rapid prototyping*. Proses ini melibatkan teknik *3D scanning* untuk memperoleh data pasien, perangkat lunak Autodesk Fusion 360 dalam tahap perancangan desain, serta penggunaan *3D printer* dalam pembuatan prototipe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain *insole* sepatu yang dihasilkan memiliki keunggulan berupa kemudahan dalam proses pemodelan serta fleksibilitas untuk dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Daftar Pustaka

- Ghane, D. B. (2021). Rapid Prototyping: The Revolutionary Technology And Applications Review. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 3(2), 1-7. <https://repo.ijert.org/index.php/ijert/article/view/838>
- Bednarczyk, E., Sikora, S., Kossobudzka-Górska, A., Jankowski, K., & Hernandez-Rodriguez, Y. (2024). Understanding flat feet: An in-depth analysis of orthotic solutions. *Journal of Orthopaedic Reports*, 3(1), 100250. <https://doi.org/10.1016/j.jorep.2023.100250>
- Cheng, K. W., et al. (2021). A three-dimensional printed foot orthosis for flexible flatfoot: An exploratory biomechanical study on arch support reinforcement and undercut. *Materials*, 14(18), 5297. <https://doi.org/10.3390/ma14185297>
- Hsu, C. Y., Wang, C. S., Lin, K. W., Chien, M. J., Wei, S. H., & Chen, C. S. (2022). Biomechanical analysis of the flatfoot with different 3D-printed insoles on the lower extremities. *Bioengineering*, 9(10), 563. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100563>
- Lee, H. J., Lim, K. B., Yoo, J. H., Yoon, S. W., Yun, H. J., & Jeong, T. H. (2015). Effect of custom-molded foot orthoses on foot pain and balance in children with symptomatic flexible flat feet. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(6), 905–913. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.6.905>
- Saiga, K., Ullah, A. S., Kubo, A., & Tashi. (2021). A sustainable reverse engineering process. *Procedia CIRP*, 101, 517–522. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.144>
- Sterman, Y., Solav, D., Rosen, N., Saffuri, E., & Zaritsky, L. S. (2024). Custom orthotic insoles with gradual variable stiffness using 3D printed spacer technique. *Virtual and Physical Prototyping*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/17452759.2024.2336151>
- Su, S., Mo, Z., Guo, J., & Fan, Y. (2017). The effect of arch height and material hardness of personalized insole on correction and tissues of flatfoot. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 8614341. <https://doi.org/10.1155/2017/8614341>
- Xu, R., et al. (2019). Comparative study of the effects of customized 3D printed insole and prefabricated insole on plantar pressure and comfort in patients with symptomatic flatfoot. *Medical Science Monitor*, 25, 3510–3519. <https://doi.org/10.12659/MSM.916975>
- Youn, K. J., Ahn, S. Y., Kim, B. O., Park, I. S., & Bok, S. K. (2019). Long-term effect of rigid foot orthosis in children older than six years with flexible flat foot. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 43(2), 224–229. <https://doi.org/10.5535/arm.2019.43.2.224>

Improving The User Interface of a Dealer Management System (DMS) via Design Thinking: A Case Study at Wuling Motors Indonesia

Perdana Suteja Putra¹⁾, Grahita Prisca Brilianti²⁾, Silvi istiqomah³⁾, Era Febriana Aqidawati⁴⁾, Sayyidah Maulidatul Afraah⁵⁾

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia^{1), 2)}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Telkom University, Surabaya 60231, Indonesia³⁾

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret, Surakarta 57126, Indonesia⁴⁾

Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta 55584, Indonesia⁵⁾

E-Mail : perdanasutejaputra@uny.ac.id¹⁾, grahitaprisca.b@uny.ac.id²⁾, silviistiqomah@telkomuniversity.ac.id³⁾, era.febriana@staff.uns.ac.id⁴⁾, sayyidah.afraah@uii.ac.id⁵⁾*

ABSTRACT

PT SGMW Motor Indonesia (Wuling Motors) has used a Dealer Management System (DMS) for over five years; however, users report a cumbersome interface, non-functional menus, and suboptimal task efficiency. This study applies a Design Thinking approach (empathize, define, ideate, prototype, test) to redesign the DMS user interface and improve user experience. We conducted interviews in the empathize stage (n=20) to build personas and journey maps, and performed formative usability testing with three user roles—dealer administrators, sales staff, and IT support—(n=9; 3 per role). Usability was evaluated using the System Usability Scale (SUS) and cognitive walkthroughs. Results show a quantitative improvement in usability (SUS: existing = XX.X, prototype = YY.Y; $\Delta = YY.Y - XX.X$), alongside reduced steps for key tasks and clearer navigation. The study contributes a sector-specific DMS redesign for the Indonesian automotive context and a transparent DT-based process that other enterprise systems can replicate.

Keywords: Dealer Management System (DMS), Design Thinking, User Interface, User Experience.

1. Introduction

The strategic development of corporate plans increasingly depends on the effective use of information technology, particularly within Indonesia's automotive sector. IT serves not only as a support system but as a critical enabler of competitive advantage. In automotive firms, IT influences operational, strategic, and organizational success by enhancing efficiency and innovation. A core enterprise application is the Dealer Management System (DMS), a unified platform that manages an automotive company's entire business operations.

Despite widespread DMS adoption, prior Design Thinking (DT) studies have focused on other domains (e.g., education, healthcare,

finance), with limited evidence on DMS redesign in the Indonesian automotive context. This study fills that gap by applying a DT process to redesign a real-world DMS used by Wuling Motors' dealer network and by reporting quantitative usability outcomes (SUS) and design rationales that link interface changes to recognized UX principles.

The Dealer Management System (DMS) plays a crucial role in streamlining internal operations in the automotive by offering advanced management information and supporting customer-oriented services, particularly in sales and after-sales contexts (Ebrahimi et al., 2023). For optimal effectiveness, DMS solutions should adapt to evolving customer

**Corresponding author*

needs and market dynamics, thereby enhancing operational performance and improving customer satisfaction through higher service quality (Suroso et al., 2018; Zunaidi et al., 2023).

PT. SGW Motor Indonesia (Wuling Motor) has employed a Dealer Management System (DMS) for more than five years within its operational framework, primarily involving dealer partners as key users. This system acts as an essential link between the company and its network of dealers, enabling transactional and operational activities. User feedback reveals several issues, including a complex design, an unappealing interface, non-functional features, and ineffective task execution. These challenges underscore the need to improve interface design, procedural workflows, and system capabilities to boost user productivity and operational effectiveness.

A prototype interface is essential in system functional system (Putra & Suzianti, 2022; Zhafira et al., 2018). The prototype creation process is closely linked to user interface (UI) and user experience (UX) design, which are critical elements of product design. The UI emphasizes the system's visual components, whereas the UX pertains to the whole user interaction and emotional involvement with the system (Mirkowicz & Grodner, 2018) This study utilizes the Design Thinking methodology to suggest a user interface design for the Dealer Management System (DMS), focusing on enhancing user experience to facilitate more efficient and effective operations for dealer partners.

2. Literature Review

Design Thinking (DT) is a human-centered, iterative process comprising empathize, define, ideate, prototype, and test. In enterprise systems, UI concerns the visual components users interact with, while UX captures users' perceptions and responses to a product/service. Prior work has used DT to design or improve various applications; however, applications to DMS in Indonesia remain under-reported. Our study contributes

by (1) adapting DT to a dealer-centric enterprise system, (2) making design decisions traceable to UX principles, and (3) reporting SUS-based improvements.

The user interface (UI) consists of the graphical components that people interact with, either conceptually or physically, to engage with the system (Bhatia & Kumar, 2022). According to ISO 9241-210, user experience (UX) is concerned with an individual's perceptions and reactions arising from the use of a product, system, or service.

This study extends previous research that used the Design Thinking methodology to create user-centered applications and systems, including a zakat information system (Ebrahimi et al., 2023), strategic information system planning (Suroso et al., 2018), a P2P lending mobile application (Zunaidi et al., 2023) an ERP system for a dental clinic (Putra & Suzianti, 2022), a web-based learning platform (Putra et al., 2024), an ironing board design (Zhafira et al., 2018), and a food sharing application (Elistia et al., 2018).

These studies illustrate that the five phases of Design Thinking thinking, defining, ideating, prototyping, and testing successfully produce excellent UI and UX recommendations for information systems. This procedure ensures conformance to user needs and responsibilities, as confirmed by usability testing.

3. Research Methods

This study focuses on enhancing the Dealer Management System (DMS) by classifying system users into three principal roles based on their responsibilities: admin dealer, sales area workers, and IT support. The study framework adheres to the five stages of the Design Thinking methodology: (1) empathy, (2) definition, (3) ideation, (4) prototyping, and (5) testing.

We followed the five DT stages: empathize, define, ideate, prototype, and test. In the empathize stage, we conducted semi-structured interviews and observations with DMS users (n=20) across three roles (dealer administrators, sales staff, IT support).

Transcripts were open-coded to derive pain points, then synthesized into personas, empathy maps, and journey maps. In the define stage, we translated insights into structured “How Might We” (HMW) questions to guide ideation. During ideation, we facilitated brainstorming to generate concepts, prioritized them by effort–impact, and consolidated them into an information architecture and content plan. We created a high-fidelity prototype in Adobe XD.

For testing, we conducted formative usability testing with $n=9$ participants (3 per role) and cognitive walkthroughs on key tasks (login, order creation, order tracking, inventory query). Usability was quantified using the System Usability Scale (SUS). We computed SUS totals per participant and reported the mean $\pm$ SD per version (existing vs prototype).

In the ideation phase, brainstorming sessions are held to produce innovative solutions derived from the HMW issues, establishing a basis for the system’s conceptual framework. Upon completion of these stages, the prototyping phase commences, during which the system’s visual and functional design is developed utilizing Adobe XD software

The concluding phase, testing, entails user assessment of the created prototype. The System Usability Scale (SUS), a prominent instrument for evaluating usability (Nielsen, 1993), is employed to measure the system’s efficiency. Cognitive walkthroughs are performed to examine user interactions either the prototypes, emphasizing the sequence of actions necessary to complete tasks.

4. Results and Discussion

This study aims to understand and improve user experience with the Dealer Management System (DMS) by examining three separate user personas: dealer administrators, sales personnel, and IT support experts. These personas were developed based on input from 20 participants aged between 20 and 40, comprising 60% female and 40% male employees. All participants had at least six

months of experience using the DMS. Each persona represents distinct traits, motivations, challenges, and objectives, offering a comprehensive insight into how users interact with the system.

Grahita, as a persona 1, is a 24-year-old administrative assistant at a Wuling Motor dealership in Makassar. In her daily interaction with the DMS, she values comfort, efficiency, and a user-friendly interface. Her main disappointments consist of insufficient tracking capabilities for active purchase orders, an overly complex validation process, and a cluttered dashboard layout. Grahita’s objectives are to create a visually appealing, efficient desktop web interface that boosts operational effectiveness, reduces repetitive tasks, and enhances overall system usability.

The second Persona, Yudha, a sales representative based in Cikarang, desires a more efficient, dependable, and aesthetically pleasing DMS to optimize his sales operations. His dissatisfaction primarily stems from outdated, disorganized data, intermittent server outages, and a complex dashboard interface. Yudha’s objectives include improving data Access speed, integrating visual data charts for sales analysis, facilitating export capabilities for sales reports, and optimizing menu structures for improved usability.

The third persona, Bianda, a 27-year-old IT support specialist from Garut, prioritizes system stability, clarity, and simplicity in his work. However, he encounters several challenges, including frequent server downtimes, duplicate data entries, and unclear system configurations. Bianda’s aims to establish an intuitive user interface with improved visual design, well-structured menus, and streamlined processes to ensure efficient IT support and troubleshooting.

This study delineates essential user requirements, frustrations, and potential for enhancement through these personas. It aims to deliver practical recommendations for refining the DMS interface and overall user experience by tailoring the system design to the unique characteristics of each user group.

On the Define step, insights obtained from the Empathize phase reveal numerous key issues and user needs within the Dealer Management System (DMS), aligning with established principles of usability and user experience design. Administrative users, exemplified by Persona 1, encounter inefficiencies stemming from chaotic menu structures, a lack of tracking information for purchase orders, and an unattractive interface design. Nielsen's Usability Heuristics indicate that these challenges contravene principles like "recognition rather than recall" and "aesthetic and minimalist design," which are essential for facilitating effective user interaction (Mirkowicz & Grodner, 2018; Nielsen, 1993). The protracted and intricate validation procedure interrupts workflows, leading to discontent and diminished productivity, illustrating the adverse effects of cognitive load as emphasized in cognitive theory (Kalakoski et al., 2020; McKendrick & Harwood, 2019).

Sales personnel, as depicted by Persona 2, experience difficulties stemming from unreliable system performance such as outdated inventory records, unstable servers, and repetitive data entries. These barriers disrupt both data access and the smooth execution of their tasks. According to the Technology Acceptance Model (TAM) (Pal & Vanijja, 2020), such a negative impact on perceived usefulness and ease of use, which are essential factors influencing user acceptance and satisfaction, likewise, IT support staff, exemplified by Persona 3, contend with unclear system components, inadequate updates, and an absence of organized functionality. These limitations hinder their capacity to maintain system stability and address technical difficulties efficiently, underscoring the significance of system feedback and consistency as articulated in Norman's Principles of Design (Nielsen, 2000; Novensa & Mungana, 2018).

These issues collectively highlight the need for an optimized Dealer Management System to address usability issues, enhance interface aesthetics, improve menu structure,

and ensure efficient process flow to better accommodate multiple user roles. The use of user-centered design concepts and the application of established theories such as the Hierarchical Task Analysis framework facilitates workflow optimization and enhances user satisfaction across multiple personal (Losana et al., 2021).

The ideation stage focuses on converting insights and problem definitions into implementable design concepts that address known issues in the Dealer Management System (DMS). This stage uses brainstorming methods to generate creative ideas that meet the requirements of various people (Harahap et al., 2020). The ideation process consists of two main activities: content planning and construction of an efficient information architecture pattern.

Initially, content planning ensures that the desktop web platform includes relevant, user-oriented content. By utilizing empathy and definition phases, researchers determine the exact form of information that customers need and prioritize its appearance in the system. Content is organized based on an optimized information architecture, which aligns with user preferences and eliminates redundancy. The current system overwhelms users with unorganized and redundant information, whereas the proposed design emphasizes logical content organization, facilitating smooth navigation through menus and submenus while keeping users focused on their goals. This method is in line with the principles of Cognitive Load (Paas & van Merriënboer, 2020) which emphasizes the importance of minimizing unnecessary cognitive load to increase user concentration and improve decision-making. The simplified content categories are based on Minimalism Theory, which encourages the elimination of unnecessary complexity in instructional and information systems to improve alignment with the user's task (Carragher Wolverton & Guidry Hollier, 2019).

In addition, the design of information architecture patterns strengthens the system structure, creating a simpler and more

intuitive hierarchy. The complex structure of the existing system, which hinders access to important information, is replaced by a clear and well-defined hierarchy, which progresses from broad data to specific data. This not only speeds up the information search process but also conforms to Hick's Law, which states that minimizing choices or simplifying complex decision paths can reduce decision-making time (Vigo et al., 2023). This aligns with the Information Scent Theory, which emphasizes the importance of clear navigation indicators and routes to effectively direct users to their desired goals (Song et al., 2019).

Finally, improvements to the navigation system optimize user interaction through the integration and consolidation of navigation components. The existing DMS navigation system, characterized by disjointed and irrelevant routes, is replaced by an integrated navigation system. This improved approach prioritizes frequently visited content and organizes navigation menus according to logical categories. This enables users to find relevant information more effectively and with less cognitive load. Gestalt principles, particularly those related to proximity and simplicity, drive the reconfiguration of menu structures and the alignment of submenus, resulting in a more unified and intuitive interface (Ripalda et al., 2021). Additionally, the application of Don Norman's Design Principles, including visibility and feedback, ensures that navigation options are clear and responsive, minimizing user confusion (Sun et al., 2018).

4.1. Visualization Design

The redesigned DMS adopts a user-centered approach emphasizing clarity, efficiency, and usability. The color palette is derived from Wuling Motors' brand colors and refined using a color scheme generator to ensure accessible contrast ratios. We use the Poppins typeface for legibility in UI contexts, and a standardized icon set (Icons 4 Design in Adobe XD) to maintain visual consistency across menus and states. Components (buttons, forms, tables, alerts) were defined as reusable

patterns to enforce consistency and speed up iteration (Putra & Suzianti, 2022; Zhafira et al., 2018).

The system is tailored to the user's preferences and needs, aiming to improve both visual appeal and functionality. The selected color palette used to develop the DMS prototype was derived from three primary colors inspired by Wuling Motor's official website and further refined using the color scheme generator coolors.co as shown in Figure 1.



Figure 1. Color Palettes used in Design

The typeface applied in this design is Poppins, a font widely used in UI/UX design its clean and pleasant appearance (Dwinawan, 2019) This helps achieve a visually enjoyable and modern user experience. In addition, the icon style through the application was standardized using icons 4 design, a plugin available for Adobe XD.

The researcher continues by developing a tailored interface design that aligns with user preferences and functional expectations, as shown in Figure 2. This approach ensures the prototype is visually refined and effectively supports user requirements. Figure 3 presents a visual demonstration and explanation of the resulting interface prototype.

The modifications entail changing the red color to blue, registering the password once, using each ID as the username, introducing a password recovery feature, adding an image to the login page, employing a variation of the password, featuring the latest Wuling logo in the top left corner, eliminating the image from the homepage, presenting the most frequently used menu as the primary menu, and incorporating an icon for each menu item. Menus and submenus are not displayed on single page. A box is employed to display a menu or submenu, organized by work objectives. Remove the potential clients from the menu and vehicle management, as it is no longer functional.

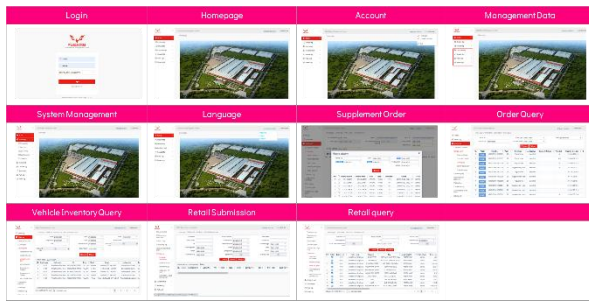


Figure 2. Representative screens of the existing DMS



Figure 3. The redesigned prototype of DMS

The main menu is displayed on the website. Moving the pointer will highlight the menu and submenu. The symbol consolidates the upper right corner for rarely used menus, submission options, saving, and searching. The submit button is shown in a prominent color or size to underscore its importance. The submenu is easily identifiable. Adjustments to text size and type; a draft function is accessible for purchase orders that are saved but not submitted. Exhibits solely a catalog of products currently available in the marketplace. The product database has been revised to include details on model, type, color, and product code, while the final order submission process comprises only the submit and draft options. Upon submission of the order, only the fill column and unit need are shown. Reduce the size of the main menu component and remove unnecessary customizable order and order plan inquiry submenus. Integrate filtering capabilities to exhibit the volume of PO submissions on the order inquiry page.

The order query page contains a date function. The order query page facilitates export to Excel. Functionality for purchase

orders that are saved but not submitted has been implemented. A document flow menu for monitoring purchase orders has been implemented. Reduce the dimensions of the major menu component. Streamline the filtering UI in each submenu. Submenus must be clearly discernible. Display the inventory quantity on the vehicle inventory query page. The outgoing inventory menu for vehicles is superfluous; the submenu is clearly apparent and merely displays a list of currently sold products, along with the retail sales figures on the retail information inquiry page, with validation occurring exclusively upon order submission.

Then, in the testing step, the objective is to achieve product validation to ensure effective usage, user satisfaction, and compliance with eligibility criteria. Researchers employed the System Usability Scale (SUS) approach to assess and determine the feasibility performance value of a product. The Cognitive Walkthrough approach is employed to detect user issues with the prototype, facilitating the generation of improvement proposals. During this phase of testing, researchers employed three respondents for each role: dealer administration, sales area, and IT support. We recruited 9 participants (3 per role) for formative usability testing and cognitive walkthroughs on critical tasks. This small-sample, role-stratified approach is typical for early-stage enterprise UI testing and supports rapid, iterative refinement. We computed SUS per participant and compared mean scores between the existing system and the prototype; we also logged task time and click counts. This complies with the stipulations that usability testing necessitates minimum three participants per category (Nielsen, 2000).

5. Conclusion

Some conclusions obtained from the research conducted are as follows:

- Design Thinking methodology can be used to create a value proposition required by users, then refined into a

solution that is realized in the form of interface and interaction design.

- Applying Design Thinking to a production DMS yielded a redesigned interface with significantly higher usability (SUS: existing = XX.X, prototype = YY.Y), fewer steps for key tasks, and clearer status visibility. Beyond immediate usability gains, our case contributes repeatable artifacts—personas, IA, and component patterns—that other dealer networks can adapt. Future work should validate outcomes at scale (more sites, longitudinal usage) and examine impacts on operational KPIs.
- The proposed design for the Dealer Management System (DMS) was designed and evaluated with respondents, who revealed that the system offers convenience for users and effectively improves labor efficiency to support the company's operations at PT. SGMW Motor Indonesia (Wuling Motor) and its dealer affiliates in Indonesia.

Bibliography

- Bhatia, M. S., & Kumar, S. (2022). Critical Success Factors of Industry 4.0 in Automotive Manufacturing Industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(5), 2439–2453. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3017004>
- Carraher Wolverton, C., & Guidry Hollier, B. N. (2019). A minimalist design for distance learning. *International Journal of Educational Management*, 33(7), 1457–1465. <https://doi.org/10.1108/IJEM-09-2017-0237>
- Dwinawan. (2019). Free Font yang sering saya gunakan untuk mendesain UI. In *Insight*. <https://medium.com/insightdesign/free-font-yang-sering-saya-gunakan-untuk-mendesain-ui-clled221299b8>
- Ebrahimi, A., Bakhshizadeh, P., & Varasteh, R. (2023). A predictive analytics approach to improve the dealers-manufacturer relationship in the after-sales service network; case study in the automotive industry. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 18(3), 225–235. <https://doi.org/10.1080/17509653.2022.2116733>
- Elistia, Elistia., Purnama, S., Nurhasanah, N., & Wahid, A. (2018). Measuring Global Entrepreneurship Index of Indonesia among ASEAN 6 Countries. *Proceedings of the 1st International Conference on Recent Innovations*, 2794–2801. <https://doi.org/10.5220/0009952827942801>
- Hakim, I. M., Singgih, M. L., & Gunarta, I. K. (2023). Identifying Critical Success Factors for Implementation of Internet of Things (IoT) in Indonesian Automotive Companies. *2023 5th International Conference on Management Science and Industrial Engineering*, 55–61. <https://doi.org/10.1145/3603955.3603965>
- Harahap, M. F. B., Mubarak, A., & Suzianti, A. (2020). Designing a Green Food Delivery Packaging with QFD for Environment (QFDE) and TRIZ. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 464(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/464/1/012004>
- Kalakoski, V., Selinheimo, S., Valtonen, T., Turunen, J., Käpykangas, S., Ylisassi, H., Toivio, P., Järnefelt, H., Hannonen, H., & Paaanen, T. (2020). Effects of a cognitive ergonomics workplace intervention (CogErg) on cognitive strain and well-being: a cluster-randomized controlled trial. A study protocol. *BMC Psychology*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40359-019-0349-1>
- Losana, P., Castro, J. W., Ferre, X., Villalba-Mora, E., & Acuña, S. T. (2021). A Systematic Mapping Study on Integration Proposals of the Personas Technique in Agile Methodologies.

- Sensors*, 21(18), 6298.
<https://doi.org/10.3390/s21186298>
- McKendrick, R., & Harwood, A. (2019). Cognitive Workload and Workload Transitions Elicit Curvilinear Hemodynamics During Spatial Working Memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00405>
- Mirkowicz, M., & Grodner, G. (2018). Jakob Nielsen's Heuristics in Selected Elements of Interface Design of Selected Blogs. *Social Communication*, 4(2), 30–51. <https://doi.org/10.2478/sc-2018-0013>
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-21512-1>
- Nielsen, J. (2000). Why You Only Need to Test with 5 Users. In *Nielsen Norman Group*. <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>
- Novensa, S. R., & Mungguna, W. (2018). Analysis and Development of Interface Design on DKI Jakarta & Tangerang's Qlue Application based on Don Norman's 6 Design Principles. *International Journal of New Media Technology*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.31937/ijnmt.v5i1.809>
- Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2020). Cognitive-Load Theory: Methods to Manage Working Memory Load in the Learning of Complex Tasks. *Current Directions in Psychological Science*, 29(4), 394–398. <https://doi.org/10.1177/0963721420922183>
- Pal, D., & Vanijja, V. (2020). Perceived usability evaluation of Microsoft Teams as an online learning platform during COVID-19 using system usability scale and technology acceptance model in India. *Children and Youth Services Review*, 119, 105535. <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2020.105535>
- Putra, P. S., & Suzianti, A. (2022). *Design of a Food Sharing App Using Kansei Engineering and Fuzzy Linguistic Methods*. 1158–1166.
- Putra, P. S., Zunaedi, R. A., Hidayati, S., Mardhiana, H., Chandra, H., & Novika, N. (2024). Proposed Dashboard Concept for TUS MART: Enhancing Aquaponic and Hydroponic Sales Management Using the Innovation Canvas Method. *SISTEMASI*, 13(5), 2183. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v13i5.4556>
- Ripalda, D., Guevara, C., & Garrido, A. (2021). *Relationship Between Gestalt and Usability Heuristics in Mobile Device Interfaces* (pp. 156–161). https://doi.org/10.1007/978-3-030-58282-1_25
- Song, L., Peng, N., Xue, C., & Wang, H. (2019). Color Visual Cues Evaluation Method for Decision-oriented Multiple Coordinated Views. *2019 IEEE Conference on Big Data and Analytics (ICBDA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICBDA47563.2019.8987066>
- Sun, M., Gu, W., Wang, L., Dong, L., & Qian, Q. (2018). Investigating the effects of vibrotactile feedback on human performance in navigation tasks. *Computers & Electrical Engineering*, 67, 608–619. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.01.017>
- Suroso, J. S., Tarigan, R. E., & Setyawan, F. B. (2018). Information systems strategic planning: Using design thinking method at startup company. *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology, CAIPT 2017, 2018-Janua*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CAIPT.2017.8320738>
- Vigo, R., Doan, C. A., Wimsatt, J., & Ross, C. B. (2023). A Context-Sensitive Alternative to Hick's Law of Choice Reaction Times: A Mathematical and Computational Unification of Conceptual Complexity and Choice

Behavior. *Mathematics*, 11(11), 2422.
<https://doi.org/10.3390/math11112422>

Zhafira, N., Putra, P. S., Rahmillah, F. I., & Sari, A. D. (2018). Innovative design of ironing board based on Kansei Engineering and usability test. *MATEC Web of Conferences*, 154.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401072>

Zunaidi, R. A., Purbantari, A. D. R., Syafani, F. A., Mardhiana, H., & Fuady, A. I. (2023). Usability Testing on ITTS MART Prototype. *Sistemasi*, 12(1), 110.
<https://doi.org/10.32520/stmsi.v12i1.2389>

Analisis Komparatif Perancangan Shell and Tube Aftercooler 400 HP: Pendekatan Manual vs. Simulasi HTRI

Iriansyah Putra¹⁾, Andri Adi Seftandi²⁾, Muhammad Ihsan³⁾, Ferri Festika⁴⁾

PT Wiratama Indotech, Jl. Komodo Blok D No. 60 Komplek AL, Jati Bening, Pondok Gede, Bekasi 17412, Indonesia^{1)}*

Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No. 207, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia^{2),3)}

Laboran Rekayasa Termal, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No. 7, Kopelma Darussalam, Kec. Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh, Indonesia 23111⁴⁾
Email: putra@wiratamaindotech.co.id^{1)}, ferri.festika@gmail.com⁴⁾*

ABSTRAK

Penukar kalor tipe *shell and tube* (STHE) merupakan komponen kritis dalam sistem kompresi industri, sering berfungsi sebagai *aftercooler* untuk mendinginkan udara terkompresi. Penelitian ini bertujuan merancang STHE aftercooler berkapasitas 400 HP melalui pendekatan hibrida: perhitungan manual berbasis metode *Kern* dan simulasi menggunakan perangkat lunak Heat Transfer Research Inc. (HTRI). Parameter yang dibandingkan meliputi laju perpindahan panas, *Log Mean Temperature Difference* (LMTD), luas permukaan, koefisien perpindahan panas menyeluruh (*U*), serta *pressure drop* sisi *shell* dan *tube*. Hasil menunjukkan konsistensi tinggi pada parameter termal ($Q = 144,55 \text{ kW}$ vs. $143,55 \text{ kW}$; $\text{LMTD} = 17,71 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $17,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A = 11,44 \text{ m}^2$ vs. $11,437 \text{ m}^2$), namun terdapat disparitas ekstrem pada *pressure drop* sisi *shell*: 3,82 psi (manual) vs. 98,31 psi (HTRI). Perbedaan ini menyoroti keterbatasan asumsi sederhana dalam perhitungan manual dalam memodelkan kompleksitas aliran nyata seperti efek *baffle*, *leakage paths*, dan distribusi aliran *non-uniform*-yang secara akurat ditangkap oleh HTRI. Studi ini menegaskan bahwa integrasi perhitungan manual sebagai rancangan awal dan verifikasi dengan HTRI sebagai alat optimasi merupakan pendekatan terbaik untuk menghasilkan desain *heat exchanger* yang efisien secara termal maupun operasional.

Kata kunci: Penukar Kalor *Shell and Tube*, *Aftercooler*, Perhitungan Manual, HTRI, *Pressure Drop*, Optimasi Desain.

ABSTRACT

*Shell-and-tube heat exchangers (STHEs) are critical components in industrial compression systems, often serving as aftercoolers for compressed air. This study aims to design a 400 HP STHE aftercooler using a hybrid approach: manual calculation based on Kern's method and simulation using Heat Transfer Research Inc. (HTRI) software. Compared parameters include heat transfer rate, Log Mean Temperature Difference (LMTD), surface area, overall heat transfer coefficient (*U*), and shell-side and tube-side pressure drop. Results show high consistency in thermal parameters ($Q = 144.55 \text{ kW}$ vs. 143.55 kW ; $\text{LMTD} = 17.71 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $17.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A = 11.44 \text{ m}^2$ vs. 11.437 m^2), yet reveal an extreme disparity in shell-side pressure drop: 3.82 psi (manual) vs. 98.31 psi (HTRI). This discrepancy highlights the limitations of simplified assumptions in manual calculations in modeling real-flow complexities such as baffle effects, leakage paths, and non-uniform flow distribution—accurately captured by HTRI. This study affirms that integrating manual calculation as the preliminary design and HTRI verification as the optimization tool is the best practice for producing heat exchanger designs that are both thermally and operationally efficient.*

Keywords: *Shell and Tube Heat Exchanger, Aftercooler, Manual Calculation, HTRI, Pressure Drop, Design Optimization.*

Nomenklatur

Simbol	Keterangan	Satuan
Q	Laju perpindahan panas	kW
U	Koefisien perpindahan panas menyeluruh	kW/m ² ·K
U_{asumsi}	Nilai U yang diasumsikan dalam perancangan awal	kW/m ² ·K
U_{aktual}	Nilai U hasil perhitungan/simulasi	kW/m ² ·K
LMTD	<i>Log Mean Temperature Difference</i>	°C
A	Luas permukaan perpindahan panas	m ²
h_i	Koefisien konveksi sisi dalam <i>tube</i>	kW/m ² ·K
h_o	Koefisien konveksi sisi <i>shell</i>	kW/m ² ·K
m	Laju alir massa	kg/s
c_p	Kapasitas panas spesifik	kJ/kg·K
Re	Bilangan <i>Reynolds</i>	—
jH	Faktor <i>Colburn</i> untuk perpindahan panas	—
ΔP	<i>Pressure drop</i>	psi
NB	Jumlah <i>baffle</i>	—
OD	Diameter luar <i>tube</i>	m
ID	Diameter dalam <i>tube</i>	m
L	Panjang <i>tube</i>	m
N_t	Jumlah <i>tube</i>	—
f	Faktor gesekan (<i>friction factor</i>)	—
ρ	Kerapatan fluida	kg/m ³
V	Laju alir volumetrik	m ³ /s
U_{bersih}	Koefisien perpindahan panas menyeluruh tanpa pertimbangan <i>fouling</i>	kW/m ² ·K

1. Pendahuluan

Penukar panas (*heat exchanger*) merupakan perangkat rekayasa termal yang vital dalam berbagai sektor industri, termasuk pembangkit listrik, petrokimia, dan manufaktur [1]. Di antara berbagai jenis, desain *shell and tube* paling dominan karena kemampuannya menangani tekanan dan suhu tinggi [2]. Komponen ini juga umum digunakan sebagai *aftercooler* untuk mendinginkan udara keluaran kompresor, mengurangi kelembaban, dan meningkatkan efisiensi sistem [3].

Perancangan *shell and tube heat exchanger* (STHE) secara manual telah lama diandalkan dengan menggunakan metode seperti Kern [4] atau Delaware [5]. Namun, pendekatan ini sering mengabaikan fenomena aliran kompleks seperti distribusi aliran sekitar *baffle*,

leakage streams, dan efek geometri detail [6]. Di sisi lain, perangkat lunak seperti HTRI yang menggunakan korelasi empiris mutakhir dan basis data properti fluida ekstensif mampu memberikan prediksi yang lebih realistis, terutama untuk *pressure drop* [7].

Meskipun metode perancangan *shell and tube heat exchanger* (STHE) secara manual dan simulasi telah banyak dilaporkan dalam literatur seperti studi komparatif oleh Bizzy & Setiadi [8] dan Sahajpala & Shah [9] sebagian besar fokus pada aplikasi umum atau kapasitas menengah. Studi yang secara khusus menganalisis *aftercooler* untuk kompresor berdaya tinggi (400 HP) masih sangat terbatas, apalagi dengan pendekatan komparatif mendalam terhadap disparitas ekstrem pada *pressure drop* sisi *shell*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek utama: (1) Aplikasi spesifik pada *aftercooler* 400 HP suatu skala daya yang jarang dibahas secara komparatif dalam literatur teknik termal; (2) Identifikasi dan kuantifikasi disparitas ekstrem *pressure drop* sisi *shell* (3,82 psi vs. 98,31 psi) antara pendekatan manual dan HTRI, yang mengungkap risiko desain suboptimal jika hanya mengandalkan metode klasik; (3) Rekomendasi praktis berbasis temuan tersebut untuk optimasi geometri *heat exchanger* (seperti modifikasi *baffle spacing* dan tipe *baffle*) yang hanya dapat dievaluasi secara akurat melalui simulasi HTRI.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya membandingkan dua metode perancangan, tetapi juga memberikan panduan prosedural yang aplikatif bagi insinyur proses dalam mencapai desain STHE yang efisien secara termal dan operasional.

2. Metodologi

Penelitian ini merancang STHE *aftercooler* untuk mendinginkan udara terkompresi dari 60 °C menjadi 42 °C, menggunakan air pendingin (30–35 °C) sebagai fluida sekunder (Tabel 1). Dua pendekatan digunakan:

1. **Perhitungan Manual:** Mengikuti metode Kern [4], mencakup keseimbangan energi, LMTD, perhitungan U , jumlah *tube*, dan *pressure drop* sisi *shell* dan *tube*.
2. **Simulasi HTRI:** Memasukkan parameter yang sama ke dalam HTRI Xchanger Suite (v7.x) dengan geometri dan material yang konsisten, lalu membandingkan hasilnya.

Tabel 1. Data input parameter perancangan

Parameter	Tube (Air)	Shell (Udara)
T_{in} / T_{out} (°C)	30 / 35	60 / 42
P (Bar)	8,3	10
$\dot{m}$ (kg/s)	6,92	7,87
Panjang Tube (m)	1,82	
OD/ID Tube (m)	0,00952 / 0,00818	
Tube pitch (m)	0,0119	
Jumlah Pass	1	

Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh awal ($U_{asumsi} = 0,713$ kW/m²·K) dipilih berdasarkan kisaran tipikal untuk sistem udara dan air (250–750 W/m²·K) sebagaimana dilaporkan dalam Perry's Chemical Engineers' Handbook (Green & Southard, 2018, Tabel 11-4). Sementara itu, batas maksimum *pressure drop* 2 psi untuk sisi gas mengacu pada panduan desain industri untuk *aftercooler* kompresor (GPSA, 2016).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Manual

Perancangan *shell and tube heat exchanger* (STHE) secara manual dalam penelitian ini mengacu pada metode klasik Kern [4], yang merupakan pendekatan analitis berbasis korelasi empiris untuk sistem aliran dua fluida. Seluruh perhitungan menggunakan sistem satuan konsisten: laju perpindahan panas (Q) dalam kW, kapasitas panas spesifik (c_p) dalam kJ/kg·K, massa flow rate ($\dot{m}$) dalam kg/s, dan koefisien perpindahan panas (h , U) dalam kW/m²·K.

3.1.1. Keseimbangan Energi

Fluida panas (udara terkompresi pada sisi *shell*) didinginkan dari $T_{in,s} = 60^\circ\text{C}$ menjadi $T_{out,s} = 42^\circ\text{C}$. Laju alir massa udara dihitung berdasarkan laju alir volumetrik ($\dot{V}_s = 0,729$ m³/s) dan kerapatan udara terkompresi ($\rho_s = 10,8$ kg/m³) pada tekanan 10 bar dan suhu rata-rata $\approx 51^\circ\text{C}$:

$$\dot{m}_s = \dot{V}_s \cdot \rho_s = 0,729 \times 10,8 = \mathbf{7,87 \text{ kg/s}}$$

dengan $c_{p,s} = 1,02$ kJ/kg·K, laju perpindahan panas diperoleh sebagai:

$$Q = \dot{m}_s \cdot c_{p,s} \cdot (T_{in,s} - T_{out,s}) = 7,87 \times 1,02 \times (60 - 42) = \mathbf{144,55 \text{ kW}}$$

Untuk fluida dingin (air pada sisi *tube*), dengan $c_{p,t} = 4,18$ kJ/kg·K dan kenaikan suhu dari 30°C ke 35°C, laju alir massa air dihitung sebagai:

$$\dot{m}_t = Q / [c_{p,t} \cdot (T_{out,t} - T_{in,t})] = 144,55 / [4,18 \times (35 - 30)] = \mathbf{6,92 \text{ kg/s}}$$

3.1.2. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Diasumsikan aliran *counter-current*, LMTD dihitung sebagai:

$$\text{LMTD} = [(60 - 35) - (42 - 30)] / \ln[(60 - 35) / (42 - 30)] = 17,71^\circ\text{C}$$

3.1.3. Luas Permukaan Perpindahan Panas

Koefisien perpindahan panas menyeluruh awal (U_{asumsi}) diasumsikan sebesar **0,713 kW/m²·K**, berdasarkan kisaran tipikal sistem udara–air (250–750 W/m²·K = 0,250–0,750 kW/m²·K) menurut *Perry's Chemical Engineers' Handbook* [Green & Southard, 2018]. Luas permukaan awal dihitung sebagai:

$$A = Q / (U_{\text{asumsi}} \cdot \text{LMTD}) = 144,55 / (0,713 \times 17,71) = \mathbf{11,41 \text{ m}^2}$$

3.1.4. Jumlah Tube

Dengan diameter luar tube $OD = 0,00952 \text{ m}$ dan panjang tube $L = 1,82 \text{ m}$, jumlah tube dihitung sebagai:

$$N_t = A / (\pi \cdot OD \cdot L) = 11,41 / (\pi \times 0,00952 \times 1,82) \approx \mathbf{210 \text{ buah}}$$

3.1.5. Koefisien Konveksi dan Bilangan Reynolds

Koefisien konveksi dihitung menggunakan korelasi faktor *Colburn* (j_H) dan bilangan *Reynolds* (Re). yaitu suatu parameter tak berdimensi yang mengaitkan perpindahan panas dan gesekan aliran turbulen [4]. Bilangan *Reynolds* (Re) digunakan untuk menentukan *regime* aliran.

- Sisi *tube* (air): $Re_t = 6.787$ (aliran turbulen), $j_H = 29 \rightarrow h_i = \mathbf{3,583 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}}$
- Sisi *shell* (udara): $Re_s = 662.536$ (aliran turbulen), $j_H = 585 \rightarrow h_o = \mathbf{1,119 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}}$

dengan catatan nilai h_o yang relatif tinggi disebabkan oleh kerapatan udara terkompresi pada 10 bar, yang meningkatkan kapasitas konvektif

dibandingkan udara atmosferik. Namun, metode *Kern* tidak mempertimbangkan efek *cross-flow*, *bypass*, atau *leakage*—sehingga nilai ini bersifat idealisasi.

Faktor j_H digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas konvektif, sedangkan faktor gesekan (f) digunakan dalam perhitungan *pressure drop* berdasarkan korelasi *Kern*.

3.1.6. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)

Dengan mengabaikan hambatan dinding dan *fouling* (untuk desain awal), nilai koefisien menyeluruh aktual dihitung sebagai:

$$U_{\text{aktual}} = (1 / h_i + 1 / h_o)^{-1} = \mathbf{0,819 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}}$$

nilai ini disebut juga sebagai U_{bersih} , karena belum mencakup degradasi kinerja akibat *fouling*.

3.1.7. Overdesign

Persentase *overdesign* dihitung untuk memastikan konservatisme desain:

$$\begin{aligned} \% \text{ Overdesign} &= [(U_{\text{aktual}} - U_{\text{asumsi}}) / U_{\text{asumsi}}] \\ &\times 100\% = [(0,819 - 0,713) / 0,713] \times 100\% \\ &= \mathbf{14,93\%} \end{aligned}$$

nilai ini berada dalam kisaran ideal (10–20%), menunjukkan bahwa desain secara termal memadai.

3.1.8. Pressure Drop

- Sisi *shell*: Dengan faktor gesekan $f = 0,0009$, jumlah baffle $N_B = 10$, dan geometri sesuai metode *Kern*: $\Delta P_s = \mathbf{3,82 \text{ psi}}$
- Sisi *tube*: Dengan $f = 0,00028$: $\Delta P_t = \mathbf{0,256 \text{ psi}}$

Meskipun $\Delta P_s = 3,82 \text{ psi}$ tampak moderat, nilai ini melebihi batas industri untuk *aftercooler* gas (maksimum 2 psi menurut GPSA, 2016). Lebih penting lagi, nilai ini sangat meremehkan resistensi aliran nyata, karena metode *Kern* mengabaikan efek *baffle leakage*, *window bypass*, dan distribusi aliran *non-uniform*.

Tabel 2. Pebandingan hasil perhitungan manual dengan HTRI

Parameter	Manual	HTRI
Q (kW)	144,55	143,55
LMTD (°C)	17,71	17,4
A (m ²)	11,44	11,437
Panjang Tube (m)	1,82	1,82
Jumlah Tube	210	210
Diameter Shell (mm)	219	213
U _{asumsi} (kW/m ² ·K)	0,713	0,752
U _{aktual} (kW/m ² ·K)	0,819	0,879
Overdesign (%)	14,93	16,94
ΔP_{shell} (psi)	3,82	98,31
ΔP_{tube} (psi)	0,256	0,251

4. Pembahasan

Parameter termal dan dimensi utama menunjukkan keselarasan tinggi, memvalidasi asumsi dasar perancangan. Namun, perbedaan drastis pada ΔP_{shell} (3,82 vs. 98,31 psi) menggarisbawahi keterbatasan perhitungan manual dalam memodelkan kompleksitas aliran nyata [9, 10].

Nilai ΔP_{shell} dari HTRI (98,31 psi) menunjukkan desain awal tidak layak operasional karena akan meningkatkan konsumsi energi kompresor secara signifikan. Oleh karena itu optimasi diperlukan:

- Memperbesar *baffle spacing*
- Mengganti ke *double segmental baffles* atau *no-tubes-in-window*
- Memperbesar diameter *shell*

HTRI memungkinkan literasi cepat untuk skenario optimasi tersebut [15].

5. Kesimpulan

Studi ini berhasil merancang *aftercooler* STHE 400 HP melalui pendekatan manual dan HTRI. Hasil menunjukkan keselarasan tinggi pada parameter termal dan dimensi utama, namun mengungkap disparitas signifikan pada *pressure drop* sisi *shell* (3,82 psi vs. 98,31 psi). Temuan ini menegaskan bahwa perhitungan manual, meskipun berguna untuk rancangan awal, rentan mengabaikan kompleksitas aliran nyata. Sebaliknya, HTRI memberikan prediksi yang lebih akurat dan realistis. Oleh karena itu,

pendekatan hibrida manual untuk desain awal dan HTRI untuk verifikasi dan optimasi direkomendasikan sebagai praktik terbaik dalam perancangan penukar panas industri.

Daftar Pustaka

- Afandiyanoto, A., Hazwi, M., Pintoro, A., & Sembiring, P. G. (2018). Analisa penukar kalor aftercooler type shell and tube. *Jurnal Dinamika*, 6(1), 1–10.
- Azwinur, A., & Zulkifli, Z. (2019). Kaji eksperimental pengaruh baffle pada alat penukar panas. *SINTEK Jurnal*, 13(1), 8–14.
<https://doi.org/10.24853/sintek.13.1.8-14>
- Bizzy, I., & Setiadi, R. (2016). Studi perhitungan alat penukar kalor tipe shell and tube dengan program HTRI. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(1), 67–76.
- Handibag, R., Potdar, U., & Jadhav, A. (2020). Thermal design of tube and shell heat exchanger and verification by HTRI software. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(12), 525–530.
- Hakim, M. A. (2023). *Perancangan model miniatur gas compressor aftercooler*. Neliti.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30291.45601>
- HTRI. (2022). *HTRI Xchanger Suite technical overview*. Heat Transfer Research, Inc.
- Husen, A., Setiadi, B., & Septiawan, I. (2022). Analisis tegangan pada part shell dan tube heat exchanger. *Presisi*, 24(1), 45–52.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). Wiley.
- Kern, D. Q. (1950). *Process heat transfer* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Kharisma, A. A. (2021). Perancangan heat exchanger tipe shell dan tube secara metoda matematis dan simulasi software. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 20(2),

27–34.

<https://doi.org/10.36706/jrm.v20i2.66>

Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Kurniawan, T. (2022). Shell and tube heat exchanger design for titanium dioxide particle production process. *Journal of Engineering Science and Technology*, 17(5), 3224–3234.

Putra, I. (2017). Studi perhitungan heat exchanger type shell and tube dehumidifier biogas limbah sawit. *Jurnal POLIMESIN*, 15(2), 42–48.

<https://doi.org/10.30811/jpl.v15i2.373>

Sahajpala, S., & Shah, P. D. (2013). Thermal design of ammonia desuperheater-condenser and comparative study with HTRI. *Procedia Engineering*, 51, 375–379. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.052>

Serth, R. W., & Lestina, T. G. (2014). *Process heat transfer: Principles, applications and rules of thumb* (2nd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07242-3>

Singh, P., Desai, B., & Bora, L. (2015). Optimization of air cooled heat exchanger design using HTRI. *International Journal of Research in Science & Innovation (IJRSI)*, 3(2), 217–221.

The Implementation of Work Improvement in Small Enterprises (WISE) to Enhance the Quality and Hygiene of the Work Environment

Dicky Pamungkas¹⁾, Irwan Iftadi²⁾

*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University
Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta, 57126, Indonesia^{1),2)}
E-Mail : dickypamungkas990@gmail.com¹⁾, irwaniftadi@staff.uns.ac.id²⁾**

ABSTRACT

A healthy and safe working environment is essential for enhancing productivity and ensuring worker well-being, especially in small enterprises such as MSME (Micro, Small, and Medium Enterprises). Despite their importance, many MSMEs struggle to meet hygiene and safety standards due to limited resources lack of awareness. This study evaluates the workplace conditions at a tofu-processing MSME and identifies key barriers to improving environmental quality and hygiene. The research utilised the Work Improvement in Small Enterprises (WISE) approach, which involves step-by-step activities including workplace observation, hazard identification, issue prioritization, implementation of improvements, and follow-up evaluation. The most critical problems identified were the absence of SOPs, lack of safety signs, and inadequate sanitation facilities. Solutions were developed using the WISE method, including SOP drafting, safety signage installation, and sanitation enhancement. The implementation of WISE has proven effective in improving workplace hygiene and safety, offering a practical model for similar small enterprises.

Keywords: WISE, Quality, Hygiene, Work Environment.

1. Introduction

Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) in the food industry sector, including tofu production, play an essential role in meeting community consumption needs, providing employment opportunities, and contributing significantly to the local economy. Their flexibility, close connection to local markets, and use of locally sourced raw materials make them a vital pillar of economic growth. However, despite their strategic importance, MSMEs often face various operational challenges, one of the most critical being the condition of the working environment. However, in carrying out their production processes, MSMEs often face various challenges, one of which is related to the working environment conditions (Setyowati et al., 2023). The work environment is everything that is around the worker and is able to influence the worker in doing the work (Saefullah & Basrowi, 2022; Tarunokusumo et al., 2022). According to

(Ahmad et al., 2022) work environment is a social, physical, and psychological life in an agency that can affect employee performance. Ideal work environment conditions are the main factor that affects the level of productivity in an industry (Deshaspitri et al., 2025). Aspects such as cleanliness of the work area, air circulation, sanitation facilities, lighting, temperature, and employee hygiene play an important role in influencing the efficiency and quality of production results (Rahayu & Rushadiyati, 2021; Safutra et al., 2025).

Good workplace conditions/work environment not only guarantee smooth production processes, but also have a direct impact on the quality of the products produced (Setyowati et al., 2023). For example, in tofu-producing MSME, the temperature of the production room is too hot, excessive humidity, and inadequate ventilation can reduce the endurance and concentration of workers, which in turn can reduce work

**Corresponding author*

efficiency (Lubis et al., 2025). In addition, exposure to hot steam and smoke from the soybean boiling process, as well as the use of chemicals such as preservatives and coagulants without adequate protection, can increase long-term health risks (Hariadini et al., 2020). Non-ergonomic work facilities, such as desks with inappropriate heights, can also cause fatigue and muscle injuries in workers, resulting in decreased work efficiency and productivity (Pratiwi & Rosidati, 2024).

XYZ Factory is one of the Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) located in the Purwogondo area RT 05/RW 01 Kartasura, Sukoharjo. Established since 2010, in its operations this MSME is supported by 15 workers who are tasked with various stages of production, starting from the soaking process, washing soybeans, grinding, boiling, filtering, coagulating, printing, and the final process is cutting. Some of the tofu variants produced include white tofu, yellow tofu, kepel tofu, and pong tofu. This Micro, Small, and Medium Enterprise (MSME) has a daily production capacity of an average of 50-60 buckets or reaching 10,000 pieces of tofu/day. The products produced have obtained regular customers, including restaurants, traders in traditional markets, catering services, and consumers who buy directly at the production location.

Various challenges in the working environment are still obstacles in MSME XYZ, which not only threaten productivity but also cause a decrease in the quality of the products produced. Some examples of existing problems include lack of attention to the cleanliness of the production process, inadequate facilities, and the absence of fixed standard operating procedures (SOPs) for employees who work. Lack of attention to cleanliness in the production process can be seen from the floors and walls that are difficult to clean, so that soybean residue, wastewater, and tofu dregs often accumulate and become a breeding ground for bacteria or fungi. In addition, poor ventilation also causes the air in the room to become humid and smelly, which can accelerate the growth of microorganisms.

Based on the various problems found, it is necessary to evaluate the work environment in MSME XYZ as a reference for making improvements. It is known that the XYZ Factory is not yet in accordance with the Work Improvement in Small Enterprise (WISE) guidelines issued by the International Labor Organization (ILO). Work Improvement in Small Enterprise (WISE) is a very pragmatic approach and focuses on low-cost interventions that are able to improve labor productivity and working conditions simultaneously (Takeyama et al., 2006). The Work Improvement in Small Enterprise (WISE) method is easy to implement and provides clear benefits, building the confidence of business owners and workers in implementing improvements and making real changes in the workplace (Saputra & Kusmindari, 2023).

Research on work environment evaluation has been conducted by several researchers. (Wardanu & Anhar, 2016) in his research at the Joint Business Group (KUB) WIDA MANTOLO, Benua Kayong, it was found that the processing room must be immediately evaluated and repaired to improve the hygiene of the production process. (Alfarizi & Kusmindari, 2023) evaluating the coffee production process in the Mamak Anik Small and Medium Industry (IKM), South Oku using the Work Improvement in Small Enterprise (WISE) method. (Kuncoro et al., 2025) In his research at PT Okian Makmur Abadi, he produced proposals for improving the production process where product packaging design, production process flowchart, and production room layout were the most priority criteria. (Yusuf & Kusmindari, 2024) by using the Good Manufacturing Practices (GMP) and Work Improvement in Small Enterprise (WISE) methods, the company has succeeded in evaluating the production process and improving the Health, Safety and Occupational Health (K3) standards in the Nusantara Coffee Small and Medium Industry.

Therefore, it is necessary to make improvements in the tofu production process at MSME XYZ by implementing the Work Improvement in Small Enterprise (WISE) method. By implementing this method, it is hoped that the work environment will be better and cleaner, so that the products produced are not only safe for consumption, but also meet better quality standards. In addition, this improvement aims to create a safer and more comfortable work environment, reduce the risk of accidents, and increase productivity. That way, MSME XYZ can be more competitive in the market and maintain consumer trust.

2. Methodology

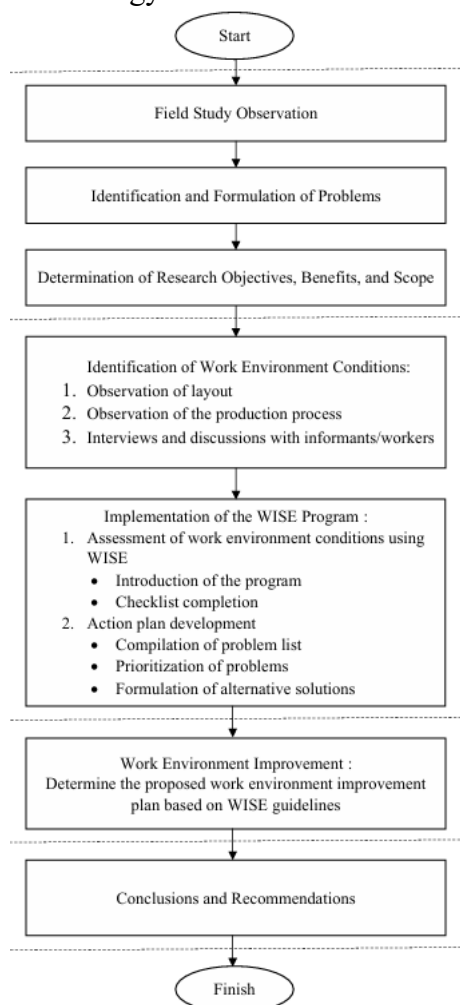


Figure 1. Research Flowchart

Figure 1 shows a flowchart of the research that has been conducted. This study was conducted through field observations and direct interviews to gain an in-depth

understanding of the working environment at UMKM Tahu Suropto, focusing on cleanliness, facility adequacy, and the Occupational Safety and Health (OSH) system. Observations during tofu production covered facility layout, production flow, and insights from workers and the owner. The collected data served as the basis for analysis using the Work Improvement in Small Enterprises (WISE) method. Initial condition assessment involved examining facility layout, production processes, physical conditions (e.g., lighting, sanitation), and workforce conditions. The researcher introduced the WISE program's objectives to the owner and employees, then assisted in completing the WISE checklist consisting of eight criteria and 37 sub criteria related to material storage, workplace design, machine safety, physical environment, electrical hazards, fire prevention, welfare facilities, and work organization, following ILO (2004) guidelines. Identified issues were prioritized using the Urgency, Seriousness, and Growth (USG) method. Each problem was then analyzed using the 5W+1H approach to determine root causes and appropriate corrective actions. The resulting priority scores guided the formulation of practical, gradual, and sustainable improvements aligned with WISE principles. These improvements aim to enhance productivity, safety, comfort, and work motivation, creating a better working environment for all employees.

3. Results and Discussion

3.1. Identification of Work Environment Conditions

MSME XYZ is one of the tofu producers located in Purwogondo Village RT.05/RW 01, Kartasura District, Sukoharjo Regency, Central Java. This MSME was founded by Mr. Habibi in 2010. The number of workers in this MSME is 15 people consisting of 6 men and 9 women. The XYZ factory has a building area of 160 m² to support the stages of tofu production, which include soaking, washing, grinding, boiling, filtering, coagulating,

molding, and cutting. The following is the layout of the work environment in the tofu production process at MSME XYZ.

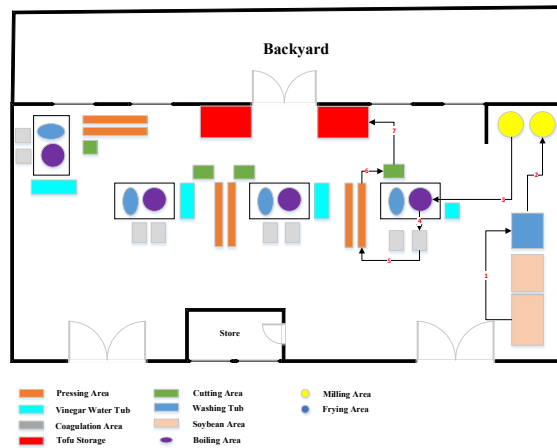


Figure 2. XYZ MSME Layout

The tofu production process at MSME XYZ involves 15 employees who are responsible for the entire production chain, from processing raw materials to producing tofu products. In carrying out its production process, this MSME uses various equipment, including grinding machines, buckets, drums, plastic baskets, cloth, molds, boiling furnaces, coagulating tubs made of cement and coated with stainless steel, cutting knives, baking sheets, pans, and rulers. The main raw materials used are soybeans, water, and acetic acid. The tofu making process at this MSME consists of several stages, namely raw material preparation, soaking, washing, grinding, boiling, filtering, coagulating, molding, pressing, and cutting. The following is the Operation Process Chart (OPC) of the tofu making process at MSME XYZ.

Based on the results of interviews with employees at the XYZ MSME production site, a number of problems were found that require further attention, the first being related to the lack of facilities to support employee welfare, especially in terms of sanitation. Workers complained about the lack of basic facilities such as toilets, hand washing facilities, or other adequate sanitation facilities in the work area. The absence of these facilities not only reduces work comfort, but also has the potential to cause health and hygiene problems that can

have a direct impact on product quality and worker welfare.

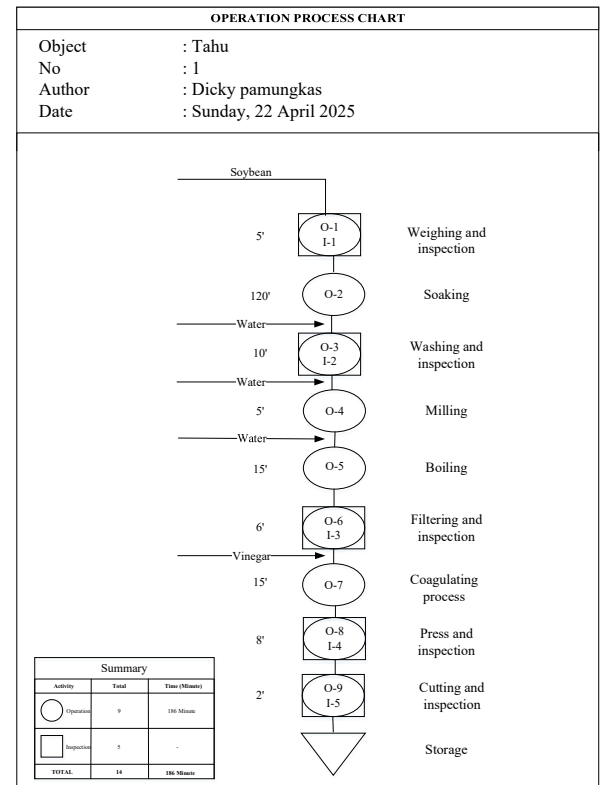


Figure 3. Operation Process Chart (OPC) Tofu Production

The second problem concerns the low level of employee understanding of occupational safety aspects, especially related to fire-fighting procedures. Interview results show that most workers do not have sufficient knowledge of the basic steps to take in an emergency situation, such as evacuation procedures, use of evacuation routes, and how to use a light fire extinguisher (APAR) properly. This condition indicates the need for structured occupational safety training to improve employee preparedness and ability to deal with potential hazards in the production environment.

3.2. Implementation of the WISE Program

3.2.1. Introducing the WISE Program

The WISE program was introduced to owners and workers with presentations and poster distribution with the aim of facilitating understanding and the possibility of discussion or questions and answers. The

following is a poster containing an outline of the implementation of the WISE program.

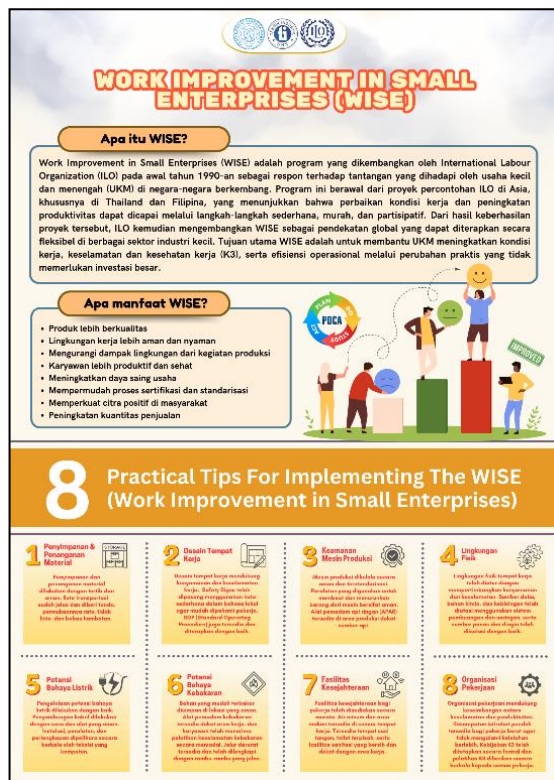


Figure 4. WISE Program Poster

3.2.2. Completing the Checklist

The filling is done by marking the checklist adapted from the official guide published by the International Labour Organization (ILO) in the WISE document: Work Improvement in Small Enterprises Package for Trainers (2004), which is designed to help small businesses identify and improve working conditions in a practical and participatory manner. The following is the WISE checklist used.

Filling out the checklist is done by ticking (✓) in the "Yes" or "No" column according to the actual conditions observed in the XYZ MSME work environment.

No	Criteria	Subcriteria	Current Condition	
			Yes	No
1	Material Storage and Handling	There is a clear transportation route with proper markings.		
2		The transportation route surface is level, non-slippery, and free from obstacles.		
3		Ramps are provided instead of stairs in the workplace.		
4		Materials are not placed on the floor but in designated storage areas.		
5		Space is optimized through the use of tiered racks or racks located near the workplace.		
6	Workplace Design	Frequently used materials, tools, and controls are placed within easy reach.		
7		There is a designated room or area for production tools and an employee transit space.		
8		Working height is adjusted to the worker's elbow height or slightly below.		
9		Safety signs are installed using simple words in the local language for easy understanding.		
10		Standard Operating Procedures (SOPs) are available.		

Figure 5. WISE Checklist

Table 1. List of Selected Problems

No	Subcriteria/Selected Issue List
1	The transportation routes are not clear and are not adequately marked.
2	The surface of the transportation route is uneven, slippery, and there are annoying obstacles.
3	Materials are still placed directly on the floor, not in special storage areas.
4	There is no special "house/room" for production equipment or employee transit space.
5	The height of the workplace is not adjusted to the height of the worker's elbows, making it less ergonomic.
6	Employees have not received adequate fire safety education and training.
7	Standard operating procedures (SOPs) do not exist or have not been applied consistently.
8	Moving parts of the machine are not equipped with appropriate guards to prevent accidents.
9	Interlocking safety barriers have not been used to keep workers away from hazardous areas.
10	Light fire extinguishers (APAR) are not available or not easily accessible in the production area.
11	Sources of dust, hazardous chemicals and noise have not been addressed with exhaust or filter systems.
12	Warning signs in areas at risk of electrical hazards have not been adequately posted.
13	The use of personal protective equipment (PPE) by employees is not yet appropriate or is not yet mandatory.
14	Emergency signaling mechanisms are either not available or are not functioning properly.
15	Fire extinguishers are not available or not located near the workplace.
16	Signs, colors, or labels (Safety signs) have not been installed or are not in the local language.
17	Emergency routes are not yet available or are not equipped with clear signs.
18	Drinking water facilities and eating areas are not yet available in all workplaces.

No	Subcriteria/Selected Issue List
19	Hand washing facilities, separate toilets, and clean sanitation facilities are not yet available near the work area.
20	Hygienic rest areas and dining areas are not yet available separately.
21	First aid equipment is not available or first aid personnel have not been trained according to requirements.
22	Adequate personal protective equipment is not yet sufficiently available to employees.

3.2.3. Determining Priority of Problem List

This prioritization is done so that improvement efforts can be focused on the

most critical aspects and have a major impact on occupational safety, health, quality, and hygiene. To obtain objective and systematic results, the USG (Urgency, Seriousness, Growth) method is used, which aims to evaluate and sort problems based on three main criteria: level of urgency (Urgency), level of seriousness of impact (Seriousness), and potential growth or worsening of the problem if not addressed immediately (Growth).

Table 2. Conditions of the XYZ MSME Work Environment

No	PROBLEM	PRIORITY SEQUENCE OF REPAIR	PROBLEM DEFINITION/CONDITIONS IN THE FIELD
1	Standard operating procedures (SOPs) do not exist or have not been applied consistently.	1	- There is no written or systematic work schedule. Employees come to work at varying times, without a clear attendance system. - Many employees still wear jewelry such as rings, necklaces, and bracelets during the production process. - There are employees working without wearing proper work clothes or even without clothes. In addition, there is no use of PPE such as head coverings, masks, or aprons, which are very important in maintaining the hygiene of food products. - The entire production process is carried out based on traditional customs without written work guidelines. - There are employees smoking during the production process.
2	Signs, colors, or labels (Safety signs) have not been installed or are not in the local language.	2	- Several points that should have special warning signs such as areas with a risk of slipping due to wet floors, areas with high temperatures (frying or boiling areas), locations of cleaning chemicals, evacuation routes, and locations of fire extinguishers are not equipped with clear visual signs. - There are no visual reminders for warnings regarding the use of accessories while working and the use of gloves, boots and aprons. - There is no lightning/lightning symbol to warn of the danger of electric shock. - Routes for emergency evacuation are not marked in green-white. - The absence of a prohibition symbol for eating/drinking increases the risk of product contamination.
3	Hand washing facilities, separate toilets, and clean sanitation facilities are not yet available near the work area.	3	Hand washing facilities and toilets are not yet available near the work area.
4	Materials are still placed directly on the floor, not in special storage areas.	4	- Soybean raw materials are stored in sacks and placed directly on the floor. - The large number of sacks and buckets placed on the floor disrupted worker mobility. - The remaining tofu production results/residues are scattered on the floor, causing the floor to become slippery.

3.2.4. Preparation of Alternative Solutions

As an initial step in formulating an effective solution, the seven priority problems that have been set are identified using the 5W + 1H approach.

Table 3. Identification of Proposed Design Using 5W1H

No	PRIORITY OF SELECTED ISSUES	5W+1H IDENTIFICATION
1	Standard operating procedures (SOPs) do not exist or have not been applied consistently.	<i>What:</i> The improvement plan includes the preparation and implementation of SOPs for all main work processes, including SOPs on production processes, use

of personal protective equipment, and environmental sanitation, accompanied by employee training and routine monitoring..

*Where:*Improvements were carried out throughout the XYZ MSME area.

*Who:*The responsible party is the owner of MSME XYZ and employees are also involved as SOP implementers.

*When:*The improvements are planned to be implemented within a period of one to two months. This process includes the preparation of SOPs in the first to third weeks, training and socialization to workers in the fourth week, and initial implementation and evaluation in the second month.

2 Signs, colors, or labels (Safety signs) have not been installed or are not in the local language.	Why:The absence of SOPs can cause irregularities in work processes, reduce production efficiency, increase the risk of work errors and accidents, which can ultimately affect the sustainability of XYZ MSME business. How: Prepare written SOPs for work processes that do not yet have guidelines. Conducting socialization and training to all workers regarding the SOPs created. Install SOPs in the work area and conduct routine monitoring and evaluation. What:The improvement plan includes installing safety signs that meet standards and are easy to understand throughout the work area, including hazard signs, PPE instructions, and evacuation directions. Where:Safety signs are installed in all work areas that have potential risks, such as: near production machines, chemical storage areas, evacuation routes and emergency doors, hand washing areas and sanitation areas, and storage locations for APAR and personal protective equipment. Who:The responsibility for implementation lies with the owner of XYZ MSME and the WISE implementation team. When:This repair can be done within 1 week, as it only takes time to design, print, and install the sign. Why:<i>Safety sign</i> serves as an important visual guide to increase awareness and compliance with safety standards. How: Identify hazard-prone areas throughout the work area. Design safety signs that comply with safety color and symbol standards. Print and prepare mounting media (stickers, boards, floor marking paint, etc.). Install safety signs in predetermined locations and socialize the meaning of the signs to workers. What:The proposed improvement plan is to build or provide handwashing and toilet facilities that are separate from the production area and to procure closed trash bins, handwashing soap, and cleaning equipment that meets sanitation standards. Where:These sanitation facilities need to be located in areas that are easily accessible from the main work area. Who:The main responsibility lies with the owner of MSME XYZ. When:Repairs can be carried out within 2–4 weeks, depending on land conditions and available resources.	4 Materials are still placed directly on the floor, not in special storage areas.	Why:Because the absence of proper sanitation facilities close to the work area can reduce the level of hygiene in the work environment, increase the risk of product contamination, and endanger workers' health. How: Conduct a location survey to determine the most strategic points for building sanitation facilities. Procure necessary materials and equipment, including soap, water taps, drains, and ventilation. Building facilities and educating workers about the importance of maintaining cleanliness and how to use the facilities properly. Schedule regular maintenance and cleaning to maintain sanitary conditions. What:The proposed improvement plan is to provide special storage areas such as shelves, plastic pallets, or clean tables to place raw materials and products that are easy to clean and resistant to the production environment. Where:Locations are selected based on their proximity to the production process flow to remain efficient but separate from potential contamination. Who:The main responsibility lies with the owner of MSME XYZ. When:Repairs can be carried out within 1–2 weeks, depending on the availability of materials and storage equipment. Why:Because placing materials directly on the floor can increase the risk of contamination, disrupt workflow, and reduce the quality and hygiene of materials/products. How: Identify the type and volume of materials that require storage. Determine the design and specifications of the storage space according to your needs (for example, tiered shelves or plastic pallets). Purchase or construct suitable storage facilities. Conduct periodic checks to ensure that materials are no longer placed directly on the floor.
3 Hand washing facilities, separate toilets, and clean sanitation facilities are not yet available near the work area.	What:The proposed improvement plan is to build or provide handwashing and toilet facilities that are separate from the production area and to procure closed trash bins, handwashing soap, and cleaning equipment that meets sanitation standards. Where:These sanitation facilities need to be located in areas that are easily accessible from the main work area. Who:The main responsibility lies with the owner of MSME XYZ. When:Repairs can be carried out within 2–4 weeks, depending on land conditions and available resources.		

3.3. Design of Work Environment Improvement Proposals

The design of the proposed work environment improvement in MSME XYZ is focused on four main priorities, namely the implementation of consistent SOPs, the installation of safety signs in accordance with the local language, the provision of sanitation facilities near the work area, and proper storage of materials. These four aspects were selected based on observations of actual

conditions in the field and the results of identification using 5W1H which showed potential occupational safety risks and a decrease in the quality of the work environment. By addressing these priorities, it is hoped that a safer, cleaner, and more orderly work atmosphere will be created, so as to support the improvement of product quality and maintain the safety and health of workers.

3.3.1. *Preparation and Implementation of Standard Operating Procedure (SOP)*

This process begins by identifying all activities in the production flow, from raw material processing to sanitation of the work environment. Each activity is then analyzed to determine the potential risks that may arise. Based on the results of this identification, the SOP is prepared in writing with a standard format that includes objectives, scope, guidelines/regulations that are used as references, and implementation steps/procedures. To facilitate understanding of the SOP, posters or infographics are provided containing a summary of work procedures that are installed in strategic locations so that they are easy for workers to see and remember. After that, internal validation is carried out through simulations or trials with employees. The next stage is socialization and training for all workers to ensure understanding and compliance with the newly issued SOP. The reference for compiling this SOP refers to:

1. Regulation of the Minister of Manpower and Transmigration of the Republic of Indonesia Number PER.08/MEN/VII/2010 concerning Personal Protective Equipment.
2. Good Food Production Methods for Home Industry (CPPB-IRT) from BPOM.

3.3.2. *Procurement and Installation of Safety Signs*

The first step begins with identifying hazard-prone points throughout the production area, such as the boiling area, grinding, molding/cutting, raw material storage area, or evacuation route. Once the risk points are identified, safety sign designs are made by

referring to international color and symbol standards, and using local languages that are easily understood by workers. Signs can be in the form of stickers, plastic boards, or floor markings as needed. Installation is carried out in a location that is easily visible, then continued with socialization to workers regarding the meaning and function of each sign. Periodic monitoring also needs to be carried out to ensure that the signs remain clearly visible and are in the right position. The procurement and design of these safety signs refer to several safety regulations and standards, namely:

1. Republic of Indonesia Law Number 1 of 1970 about Occupational Safety.
2. ISO 3864-1:2016 on Principles of Color and Symbol Design for Safety Signs.
3. ANSI Z535 Series from the American National Standards Institute, which is the international reference in the design and use of symbols and colors on safety signs.

3.3.3. *Provision of Adequate Sanitation Facilities*

The improvement phase begins with conducting a survey to determine strategic locations that are easily accessible to workers. After that, facilities are designed such as hand washing facilities complete with liquid soap and dryers, toilets separate from the production area, and closed trash bins. All facilities must comply with cleanliness standards and have good ventilation. After construction is complete, workers are given education on how to use the facilities and the importance of maintaining personal sanitation. Facility maintenance is carried out routinely, including daily cleaning and replacement of cleaning equipment. The reference for providing these sanitation facilities refers to:

1. Minister of Health Regulation No. 1096 of 2011 concerning Hygiene and Sanitation of Catering Services,
2. Good Food Production Methods for Home Industry (CPPB-IRT) from BPOM.

3.3.4. Provision of Material Storage Place

The first step is to identify all materials that require storage, both in terms of volume and characteristics. After that, the ideal storage design and materials are determined, namely those that are easy to clean and resistant to moisture. Procurement is carried out through purchasing or manufacturing as needed. Workers are given brief training on how to properly store materials and maintain the facility. Routine checks are also carried out to ensure that no materials are placed directly on the floor. This effort refers to the standards:

1. Good Food Production Methods for Home Industry (CPPB-IRT) from BPOM.

4. Conclusion

This study aimed to identify, prioritize, and design improvement solutions for the working environment at UMKM Tahu Suropto using the Work Improvement in Small Enterprises (WISE) method. The identification and priority assessment using the Urgency, Seriousness, and Growth (USG) method revealed four main issues: the absence of Standard Operating Procedures (SOP), lack of safety signs, inadequate sanitation facilities near the work area, and materials stored directly on the floor. Further analysis using the 5W+1H approach produced practical solutions tailored to actual workplace conditions.

The application of the WISE method proved effective as a systematic approach to improving the working environment in small-scale enterprises. This method not only facilitates the identification of problems but also assists in developing practical and gradual solutions, such as creating and implementing SOPs, installing safety signs, providing proper sanitation facilities, and adding material storage racks. The implementation of these improvements is expected to enhance safety, comfort, cleanliness, and work productivity, while creating a more organized workplace for all employees.

This study has limitations in that it did not include quantitative measurements of physical environmental conditions, such as noise levels, humidity, and lighting intensity. Future

research is recommended to conduct such measurements using tools like an environment meter to obtain more comprehensive data and strengthen the validity of the analysis. In addition, further studies could expand the scope to other MSMEs in similar sectors to compare the effectiveness of the WISE method in different business contexts.

Bibliography

- Ahmad, A. J., Mappamiring, & Mustari, N. (2022). Pengaruh Lingkungan Kerja Terhadap Kinerja Pegawai di Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Bulukumba. *Kajian Ilmiah Mahasiswa Administrasi Publik*, 3(1), 287–298.
- Alfarizi, R., & Kusmindari, C. D. (2023). Perbaikan Proses Produksi Kopi Pada Industri Kecil Menengah (Ikm) Menggunakan Metode Work Improvement in Small Enterprise (Wise) Dan Analytical Hierarchy Process (Ahp). *Rang Teknik Journal*, 6(1), 164–179. <https://doi.org/10.31869/rtj.v6i1.3519>
- Deshasapitri, Fireni, D., & Pawirosumarto, S. (2025). Implementasi Pengelolaan SDM Dan Lingkungan Kerja Abstrak. *Impact Journal: Management Business and Finance*, 2(01), 104–112.
- Hariadini, A. L., Sidharta, B., Ebtavanny, T. G., & Minanga, E. P. (2020). Hubungan Tingkat Pengetahuan dan Ketepatan Penggunaan Obat Simvastatin pada Pasien Hiperkolesterolemia di Apotek Kota Malang. *Pharmaceutical Journal Of Indonesia*, 5(2), 91–96. <https://doi.org/10.1378/chest.145.1.13>
- Kuncoro, B. N., Trisnanto, M. R., Andianingsari, D., & Rahman, A. (2025). Perbaikan Proses Produksi Dengan Standar CPPOB Dan WISE Pada PT Okian Makmur Abadi. *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, 6(1), 43–49.
- Lubis, I., Juliani, Tira, R. I., Khodiza, S., Apriani, E., Nasution, I., Hasibuan, N., Rozananti, I., & Khalisha, F. (2025). Analisis Kelelahan Kerja Dan Lingkungan Fisik Pada Unit Usaha Tahu

- Mas Ponimin (Di Kecamatan Medan Polonia). *KesehatanKreatif: Jurnal Riset Kesehatan Inovatif*, 07(2), 37–56.
- Pratiwi, T. A., & Rosidati, C. (2024). Keluhan dan Tingkat Risiko Ergonomi Pada Pekerja Perkantoran di Rumah Sakit X Complaints and Ergonomic Risk Levels Among Office Workers at the X Hospital. *Journal of Religion and Public Health*, 6(2), 116–128.
- Rahayu, M. S., & Rushadiyati, R. (2021). Pengaruh Lingkungan Kerja Dan Karakteristik Individu Terhadap Kinerja Karyawan SMK Kartini. *Jurnal Administrasi Dan Manajemen*, 11(2), 136–145.
<https://doi.org/10.52643/jam.v11i2.1880>
- Saefullah, M., & Basrowi, B. (2022). Dampak Lingkungan Kerja Fisik Terhadap Kinerja Dan Kepuasan Karyawan Bagian Produksi. *Jurnal Bina Bangsa Ekonomika*, 15(2), 481–491.
<https://doi.org/10.46306/jbbe.v15i2.183>
- Safutra, N. I., Alisyahbana, T., Rusli, I. A., Nurfadillah, & Fole, A. (2025). Penyuluhan Kondisi Iklim Kerja Untuk Meningkatkan Hygiene Dan Sanitasi Pekerja Pabrik Tempe HB Kota Makassar. *Idea Pengabdian Masyarakat*, 5(02), 212–219.
- Saputra, M. E., & Kusmindari, C. D. (2023). Evaluasi Kondisi Kerja Pada MSME Pempek Menggunakan Work Improvement In Small Enterprises (WISE). *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia p-ISSN:*, 8(2), 1439–1456.
- Setyowati, E., Mustofa, A. H., Yuliawan, D., Astuti, E. N., & Mahasti, H. S. G. D. (2023). Optimalisasi Usaha Mikro Kecil dan Menengah (MSME) melalui Pelatihan Dasar Manajemen di Desa Duri Kecamatan Slahung Kabupaten Ponorogo. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 8(1), 1173–1181.
<https://doi.org/10.12962/j26139960.v8i1.806>
- Syata, W. M. (2025). Peran Usaha Mikro Kecil dan Menengah (MSME) dalam Mendorong Pertumbuhan Ekonomi. *Ekopedia: Jurnal Ilmiah Ekonomi*, 1(2), 63–70.
- Takeyama, H., Itani, T., Tachi, N., Takanishi, T., Inoue, T., Murata, K., Ebara, T., & Batino, J. M. (2006). A case study on evaluations of improvements implemented by WISE projects in the Philippines. *Industrial Health*, 44(1), 53–57.
<https://doi.org/10.2486/indhealth.44.53>
- Tarunokusumo, H. I., Widodo, L., & Sukania, I. W. (2022). Peningkatan Produktivitas Kerja Dengan Intervensi Ergonomi Melalui Penambahan Kapasitas Hanger Dan Alat Bantu Kerja Pada Stasiun Painting Di Pt. X. *Jurnal Mitra Teknik Industri*, 1(2), 201–214.
<https://doi.org/10.24912/jmti.v1i2.21264>
- Wardanu, A. P., & Anhar, M. (2016). Penerapan Good Manufacturing Practice (Gmp) Pada Kelompok Usaha Bersama (Kub) Wida Mantolo Kecamatan Benua Kayong. *Teknologi Pangan: Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 7(1), 8–16.
<https://doi.org/10.35891/tp.v7i1.500>
- YUSUF, & Kusmindari, C. D. (2024). Perbaikan Proses Produksi Pada Ikm Kopi Nusantara Menggunakan Metode Good Manufacturing Practice (GMP), Work Improvement In Small Enterprise (WISE) Dan Analytical Hierarchy Process (AHP). *Rang Teknik Journal*, 7(2), 317–327.

Penerapan Metode NBM, REBA, dan QEC untuk menurunkan Risiko Kerja di PT XYZ

Elanjati Worldailmi¹⁾, Tamara Hanum Ulinnuha²⁾, Bayu Hertanta³⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang km 14.5, Sleman, Yogyakarta, 55584, Indonesia^{1,2),3)}

*E-Mail : 195220101@uii.ac.id¹⁾**

ABSTRAK

Tingginya *defect* pada proses ironing di PT XYZ menunjukkan adanya potensi masalah ergonomi yang berdampak pada kualitas produk dan kesehatan pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat risiko ergonomi dan mengidentifikasi faktor penyebab utama keluhan *musculoskeletal* pada operator ironing. Metode *Nordic Body Map* (NBM) digunakan untuk mengukur tingkat keluhan *musculoskeletal*, *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) untuk menilai postur kerja secara detail, dan *Quick Exposure Check* (QEC) untuk mengevaluasi faktor risiko ergonomi secara menyeluruh. Penelitian dilakukan pada empat operator ironing dengan pengukuran postur utama menggunakan satu operator yang memiliki pola postur paling representatif. Hasil NBM menunjukkan mayoritas pekerja berada pada kategori risiko sedang dengan keluhan dominan pada lengan bawah dan pergelangan tangan. Analisis REBA menghasilkan skor 7, yang mengindikasikan level tindakan 2 sehingga membutuhkan perbaikan postur kerja. Sementara itu, hasil QEC menunjukkan risiko sangat tinggi (*exposure score* $\geq 70\%$) pada semua operator, terutama pada segmen pergelangan tangan dan bahu. Berdasarkan temuan tersebut diidentifikasi akar penyebab yang dikelompokkan menggunakan *fishbone diagram* pada aspek *machine*, *method*, *man*, dan *environment*. Rekomendasi perbaikan mencakup *redesign* meja kerja berbasis antropometri, penyesuaian target produksi, perbaikan metode kerja, serta pengendalian faktor lingkungan. Penelitian ini memberikan dasar perbaikan ergonomi untuk menurunkan risiko cedera sekaligus meningkatkan kualitas proses ironing di PT XYZ.

Kata kunci: Ergonomi, Postur Kerja, *Nordic Body Map*, REBA, *Quick Exposure Check* (QEC).

ABSTRACT

*The high number of defects in the ironing process at PT XYZ indicates potential ergonomic problems that impact product quality and worker health. This study aims to assess ergonomic risk levels and identify the main causes of musculoskeletal complaints among ironing operators. The Nordic Body Map (NBM) method was used to measure musculoskeletal complaints, the Rapid Entire Body Assessment (REBA) to assess work posture in detail, and the Quick Exposure Check (QEC) to evaluate ergonomic risk factors comprehensively. The study was conducted on four ironing operators, with primary posture measurements taken from the operator with the most representative posture pattern. The NBM results showed that the majority of workers were in the moderate risk category with dominant complaints in the forearms and wrists. The REBA analysis produced a score of 7, indicating action level 2 and requiring improvement in work posture. Meanwhile, the QEC results showed a very high risk (*exposure score* $\geq 70\%$) in all operators, especially in the wrist and shoulder segments. Based on these findings, root causes were identified and grouped into machine, method, human, and environment aspects using a fishbone diagram. Recommendations for improvement include anthropometrically based workbench redesign, adjustments to production targets, improved work methods, and environmental controls. This research provides a basis for ergonomic improvements to reduce the risk of injury and improve the quality of the ironing process at PT XYZ.*

Keywords: Ergonomics, Work Posture, *Nordic Body Map*, REBA, *Quick Exposure Check* (QEC).

*Corresponding author

1. Pendahuluan

Dalam era globalisasi saat ini, dunia usaha di berbagai negara (termasuk Indonesia) berkembang sangat cepat. Indonesia adalah negara yang memiliki sektor industri yang melimpah dan beragam yang dapat dimanfaatkan untuk kehidupan bermasyarakat. Persaingan di dunia industri yang semakin pesat tentunya memerlukan sumber daya manusia dengan keahlian dan keterampilan yang cukup untuk dapat bersaing dan bertahan di dunia kerja. Oleh karena itu, perusahaan perlu mempertahankan kualitas yang ada di industri tersebut agar dapat bersaing dengan perusahaan lain. Sumber daya manusia menjadi peran utama dalam meningkatkan kualitas tersebut. Jika perusahaan memiliki sumber daya manusia yang berkualitas maka akan menghasilkan produk yang berkualitas dan dapat bersaing di pasar (Abdul, 2022).

Sumber daya manusia merupakan peran yang sangat penting bagi perusahaan. Peran manusia sangat berpengaruh pada pengendalian kualitas produk pada perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan perlu memperhatikan sumber daya manusia dari perusahaan tersebut. Industri manufaktur merupakan industri yang kegiatan utamanya adalah mengubah bahan, komponen, atau bahan lain yang menjadi produk jadi yang memiliki suatu nilai tambah yang akan di jual kepada konsumen (Michelle, 2019). Dalam industri manufaktur, terdapat risiko kerja yang sangat besar yang seringkali terjadi, sehingga perlu adanya pengetahuan terkait Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).

Ergonomi merupakan suatu disiplin ilmu yang mengkaji tentang kekuatan dan keterbatasan manusia, serta hubungan antara manusia dengan benda kerja lainnya (seperti mesin, tempat kerja, dan lingkungan kerja) untuk menciptakan proses kerja yang terbaik. Proses produksi merupakan suatu proses kerja yang masing-masing bagiannya saling mendukung. Prosedur kerja yang tidak ergonomis di tempat kerja seringkali mendapat perhatian dari manajemen perusahaan. Bagian dari prosesnya adalah pengguna merasakan kualitas yang lebih ergonomis di lingkungan

kerja. Disadari atau tidak, hal tersebut akan mempengaruhi produktivitas, efisiensi dan efektivitas karyawan (Ramadhan et al., 2019). Proses produksi merupakan proses utama dalam industri manufaktur. Jika proses produksi terhambat atau terganggu maka akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Proses produksi tidak boleh dihentikan atau dicegah agar perusahaan tidak dirugikan (Saputro, 2021).

Postur kerja merupakan faktor penentu dalam penilaian prestasi kerja. Apabila kondisi kerja karyawan baik maka hasil yang diperoleh karyawan tersebut pun akan baik. Namun jika posisi kerja pengguna tidak ergonomis, maka pengguna akan mudah lelah (Erliana et al., 2022). Faktor yang dapat meningkatkan timbulnya gangguan musculoskeletal, yaitu postur kerja. Faktor yang dapat meningkatkan prevalensi gangguan musculoskeletal yaitu kinerja buruk, intensitas tinggi, pengulangan jam kerja yang panjang, dapat menyebabkan kelelahan, dan kerja. Kondisi kerja yang buruk seringkali disebabkan oleh desain kantor yang tidak memperhatikan kesesuaian dengan karyawannya (Waluyo & Nurfajriah, 2020).

Beban kerja adalah kemampuan seorang karyawan dalam menerima suatu pekerjaan. Dari sudut pandang ergonomi, setiap pekerjaan yang diterima oleh seseorang harus sesuai dan adil terhadap kemampuan fisik dan mental pekerja yang menerima pekerjaan tersebut. Beban kerja adalah rata-rata frekuensi kerja setiap tugas dalam jangka waktu tertentu (Handika et al., 2020).

Industri garmen merupakan salah satu sektor manufaktur yang berkembang pesat di Indonesia dan membutuhkan sumber daya manusia yang mampu bekerja secara efektif untuk mencapai target kualitas dan produktivitas (Nabi et al, 2021; Hoque et al, 2022). Dalam proses produksi, bagian *ironing* memiliki kontribusi penting karena menentukan tampilan akhir produk sebelum diserahkan kepada *buyer*.

PT XYZ merupakan perusahaan *garment* yang memproduksi berbagai jenis pakaian

dengan system produksi *Make to Order* (MTO). Berdasarkan data PT XYZ, ditemukan total *defect* sebesar 3.743 unit pada produk tipe N001A, yang terdiri dari 49,59% *defect* kotor noda, 44,43% *defect* gosok, dan 5,98% *defect* lainnya

Besarnya *defect* gosok menandakan adanya indikasi masalah ergonomi pada operator *ironing* yang bekerja dengan target 30 pcs/jam, durasi kerja 8–10 jam per hari, dan posisi berdiri statis dalam jangka panjang.

Postur kerja yang tidak ergonomis dapat meningkatkan risiko *Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs)*, yaitu gangguan pada otot, tendon, ligamen, saraf, dan jaringan pendukung lainnya akibat aktivitas berulang dan posisi kerja tidak netral (Himawan, 2020).

Pekerja *ironing* di PT XYZ menunjukkan keluhan pada lengan bawah, pergelangan tangan, pinggang, dan kaki akibat pekerjaan berulang dan durasi berdiri yang panjang, seperti yang tercermin dalam hasil *Nordic Body Map* (NBM) pada penelitian ini.

Untuk menganalisis risiko ergonomi secara komprehensif, penelitian ini menerapkan tiga metode, yaitu *Nordic Body Map* (NBM), *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), dan *Quick Exposure Check* (QEC). NBM digunakan untuk mengidentifikasi keluhan muskuloskeletal pekerja. REBA digunakan untuk menilai risiko postur pada aktivitas menyetrika. Sementara, QEC digunakan untuk mengevaluasi risiko paparan terhadap faktor pekerjaan seperti beban kerja, durasi paparan, gerakan berulang, dan tingkat *stress* kerja.

Ketiga metode tersebut memberikan gambaran yang saling melengkapi. NBM mengungkap lokasi keluhan, REBA menilai postur kerja secara kuantitatif, dan QEC menilai faktor risiko pekerjaan secara lebih menyeluruh. Hasil ketiga metode ini dianalisis untuk menentukan akar permasalahan melalui *fishbone diagram*.

Nordic Body Map (NBM) adalah alat evaluasi yang digunakan untuk mengidentifikasi dan merekam keluhan *muskuloskeletal* (otot dan tulang) pada tubuh

manusia (Hanafie et al, 2024) . Analisis risiko *ergonomic* menggunakan metode NBM bertujuan untuk mengetahui tingkat keluhan pada bagian tubuh. Dari hasil metode NBM, kemudian dapat dilakukan tindak lanjut dari permasalahan tersebut. Hasil NBM dapat menjadi dasar pengukuran ergonomi untuk menetapkan faktor risiko kondisi muskuloskeletal (Pradana et al., 2024).

Metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) menyediakan kerangka kerja yang memungkinkan penilaian postur kerja dengan cepat, dan mempertimbangkan postur tubuh keseluruhan, gerakan, dan pembebanan pada tubuh pekerja untuk menentukan tingkat risiko cedera dari pekerja tersebut (Hafizh, 2023; Hita-Gutiérrez et al, 2020; Ghasemi & Mahdavi, 2020; Joshi, 2020). REBA membantu mengidentifikasi postur yang mungkin menyebabkan *stress* pada bagian tubuh tertentu oleh karena itu perlu dilakukan analisis menggunakan metode REBA.

Kemudian dilakukan penelitian menggunakan metode QEC dikarenakan metode ini dapat membantu mengidentifikasi faktor-faktor risiko ergonomi dengan cepat, pada metode ini dilakukan penilaian sejumlah faktor, yaitu postur kerja, kekuatan fisik yang diperlukan, durasi eksposur, dan tugas yang dijalankan (Hafizh, 2023). Metode QEC ini membantu dalam mengidentifikasi potensi risiko cedera muskuloskeletal dengan mempertimbangkan berbagai aspek secara bersamaan.

2. Metodologi

Penelitian dilakukan pada pekerja bagian *ironing* di PT XYZ yang menjalankan proses penyetrikan akhir (*finishing ironing*) pada produk garmen. Empat pekerja dijadikan responden untuk analisis keluhan muskuloskeletal menggunakan NBM dan penilaian faktor risiko menggunakan QEC. Untuk analisis postur kerja menggunakan REBA, dipilih satu pekerja yang dianggap paling representatif berdasarkan kesamaan pola kerja, standar operasi, dan keseragaman tugas harian antara seluruh operator.

Objek yang diobservasi pada penelitian ini adalah postur kerja dan faktor risiko pekerja pada pekerja ironing di perusahaan PT XYZ menggunakan menggunakan metode NBM, REBA, da, QEC.

Pemilihan satu operator sebagai sampel REBA dilakukan berdasarkan pertimbangan berikut:

1. Keseragaman tugas dan postur kerja
Keempat pekerja menjalankan prosedur kerja yang sama, yaitu menyetrika produk dalam posisi berdiri dengan pola gerakan berulang. Tidak terdapat variasi signifikan pada instruksi kerja, jenis produk, maupun metode penyetrikaan.
2. Keseragaman lingkungan kerja
Semua operator bekerja pada stasiun dengan desain meja, tinggi meja, jenis setrika, dan kondisi lingkungan yang sama.
3. Representativitas operator
Operator yang dipilih adalah pekerja dengan pengalaman kerja paling stabil dan pola gerakan paling konsisten sehingga dapat merepresentasikan mayoritas aktivitas kerja.
4. Tujuan penilaian postur
Analisis REBA berfokus pada penilaian *task analysis* (analisis tugas), bukan penilaian individual. Penilaian satu operator yang melakukan tugas yang sama dapat mewakili tugas kerja yang bersifat seragam.

Dengan pertimbangan tersebut, analisis satu operator tidak menimbulkan bias signifikan dan valid untuk menggambarkan postur kerja keseluruhan.

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

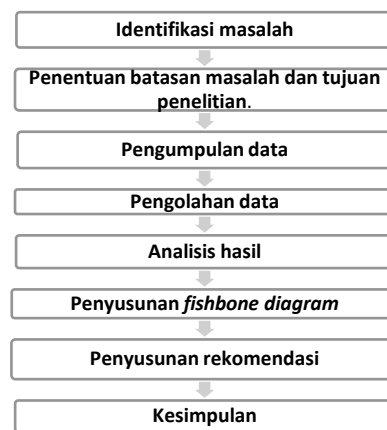
a. Data Primer

Data primer adalah data yang bersumber internal yang didapatkan secara langsung melalui pelaksanaan observasi, yaitu pengamatan secara langsung, dan lain-lain (Siregar et al., 2022). Pada penelitian ini, data primer yang digunakan adalah hasil kuesioner yang diisi oleh pekerja ironing pada perusahaan PT XYZ. Kuesioner NBM untuk mengukur tingkat keluhan muskuloskeletal

operator. Observasi dan dokumentasi foto/video postur kerja untuk analisis REBA. Kuesioner QEC untuk menilai paparan risiko ergonomi pada masing-masing operator.

b. Data Sekunder

Data sekunder bersumber eksternal yang didapat melalui referensi dari luar, baik artikel, jurnal, dan lainnya (Siregar et al., 2022). Data sekunder adalah data yang diberikan oleh PT XYZ dan data pendukung yang didapatkan dari jurnal-jurnal, literatur, serta informasi terkait permasalahan yang sedang diteliti.



Gambar 1. Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian. Berikut merupakan penjelasan mengenai Gambar 1:

- a. Identifikasi masalah melalui observasi lapangan dan studi awal *defect* produk.
- b. Penentuan batasan masalah dan tujuan penelitian.
- c. Pengumpulan data melalui NBM, observasi REBA, dan kuesioner QEC.
- d. Pengolahan data meliputi: Skoring NBM, Penilaian REBA (postur, beban, gerakan, dan *coupling*), serta Perhitungan QEC (paparan punggung, bahu/lengan, pergelangan tangan, leher, kecepatan kerja, getaran, dan *stress*)
- e. Analisis hasil untuk menggabungkan temuan ketiga metode
- f. Penyusunan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi akar masalah

g. Penyusunan rekomendasi ergonomi berdasarkan hasil analisis

h. Kesimpulan

Operator mengisi kuesioner NBM berisi 27 titik tubuh yang diklasifikasikan ke dalam skala likert:

1 = Tidak Sakit

2 = Agak Sakit

3 = Sakit

4 = Sangat Sakit

Total skor NBM digunakan untuk menentukan tingkat risiko keluhan musculoskeletal, yaitu rendah, sedang, atau tinggi.

Analisis REBA dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Pengambilan foto postur kerja pada dua posisi utama:
 - a. Posisi 1: menyetrika dengan pakaian diletakkan di meja
 - b. Posisi 2: menyetrika dengan pakaian diangkat
2. Pengelompokan anggota tubuh sesuai lembar REBA:
 - a. Grup A: leher, punggung, kaki
 - b. Grup B: lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan
3. Penilaian sudut postur berdasarkan foto:
Contoh hasil pengukuran pada posisi 1 (mengacu pada dokumen):
 - Sudut leher: 25°
 - Sudut punggung: 32°
 - Sudut lengan atas: 12°
 - Sudut lengan bawah: 83°
 - Sudut pergelangan tangan: 14°(Sumber: hasil observasi di naskah)
4. Penilaian beban (*Load/Force*)
Beban setrika < 5 kg $\rightarrow$ skor 0
5. Penilaian *Coupling*
Operator memiliki pegangan setrika yang baik $\rightarrow$ kategori *good* $\rightarrow$ skor 0
6. Menggunakan Tabel REBA untuk Skor Grup A dan B
Sudut-sudut pada Grup A dan Grup B dikombinasikan untuk menghasilkan skor awal.

7. Menggabungkan skor Grup A dan Grup B, yang menghasilkan skor C sesuai tabel REBA.

8. Menambahkan faktor aktivitas

a. Aktivitas berulang lebih dari 4 kali/menit

b. Durasi statis lama

c. Pergeseran postur cepat

9. Skor akhir REBA
Hasil perhitungan pada dua posisi memperoleh skor akhir 7, termasuk *Action Level 2*, artinya perlu tindakan perbaikan.

QEC menilai faktor risiko berdasarkan empat komponen utama, yaitu punggung (statis), bahu/lengan, pergelangan tangan, dan leher. Setiap operator mendapatkan total skor paparan (*exposure score*), kemudian diklasifikasikan ke dalam tingkatan risiko. Dalam penelitian ini, seluruh operator memiliki skor ≥ 129 sehingga termasuk *Action Level 4*, kategori risiko sangat tinggi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Metode NBM

Hasil pengisian kuesioner Nordic Body Map (NBM) menunjukkan bahwa seluruh operator mengalami keluhan pada beberapa bagian tubuh. Keluhan yang paling dominan terdapat pada lengan bawah, pergelangan tangan, punggung bawah, dan kaki. Rata-rata total skor NBM menempatkan seluruh operator pada kategori risiko sedang, yang berarti keluhan sudah cukup signifikan dan dapat mempengaruhi kenyamanan serta performa kerja.

Responden merupakan pekerja bagian ironing. Tugas utama dari pekerja ironing adalah menyetrika baju yang telah selesai diproduksi, bagi perusahaan garment, ironing merupakan tahap penting dalam produksi pakaian. Pekerja ironing bekerja dengan durasi 8 hingga 10 jam perhari, dan istirahat selama 1 jam, serta bekerja selama 6 hari perminggunya.

Temuan keluhan pada lengan bawah dan pergelangan tangan menunjukkan adanya aktivitas berulang (*repetition*), gerakan

flexion-extension berlebihan, serta beban setrika yang digunakan secara terus-menerus. Sementara itu, keluhan pada punggung bawah menunjukkan adanya postur membungkuk selama proses penyetrakaan, baik pada posisi menyetraka di atas meja maupun saat mengangkat pakaian. Hal ini sejalan dengan faktor risiko postural yang muncul pada hasil REBA.

NBM mengindikasikan adanya masalah pada segmen tubuh atas (*upper extremities*) dan punggung bawah yang berpotensi berkembang menjadi *Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs)* jika tidak dilakukan perbaikan.

3.2. Analisis Metode REBA

Analisis REBA dilakukan berdasarkan dua posisi kerja utama. Pengamatan menunjukkan bahwa operator ironer bekerja dengan postur berdiri statis dalam waktu yang lama, mengulangi gerakan tangan saat menyetraka, dan beberapa kali harus membungkuk saat mengambil atau mengatur pakaian.

Berdasarkan analisis sudut pekerja ironing dalam melakukan pekerjaannya, dilakukan analisis skor REBA menggunakan software *ergofellow*. *Ergofellow* tersebut berisi 5 pilihan pada masing-masing bagian tubuh yang dianalisis. Pada penelitian ini dilakukan berdasarkan pengamatan sudut dari salah satu pekerja *ironing* dengan dilakukan 2 posisi, yaitu posisi 1 saat menyetraka baju dengan posisi baju diletakkan pada meja produksi kemudian posisi 2 yaitu posisi saat menyetraka baju dengan posisi baju diangkat. Terdapat empat pekerja *ironing* yang menjadi responden namun keempat pekerja tersebut memiliki posisi yang sama oleh karena itu dilakukan pengolahan data salah satu dari keempat pekerja tersebut yang telah mewakili dari keempat responden yang ada.

a. Perhitungan Hasil REBA Posisi 1

Neck, Trunk, and Legs, pada bagian ini didapatkan skor dari masing-masing bagian yaitu pada leher sebesar 25,020. Kemudian pada bagian punggung didapatkan sudut

sebesar 32,150. Dan pada kaki dapat dibantu oleh satu kaki.

Load, Pekerja ironing melakukan pekerjaannya dengan tangan kanan memegang *setrika* dan tangan kiri memegang pakaian yang akan disetraka. Pada kedua beban tersebut memiliki berat kurang dari 5 kg.

Upper Arm, Lower Arm, and Wrist, pada bagian lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan pada operator, didapatkan masing-masing sudut dari bagian-bagian tersebut. Pada bagian lengan atas memiliki sudut sebesar $12,14^{\circ}$. Pada bagian lengan bawah memiliki sudut $83,51^{\circ}$. Kemudian pada bagian pergelangan memiliki sudut sebesar $14,52^{\circ}$.

Coupling, pada bagian ini, pekerja ironing mengangkat beban yaitu setrika dimana memiliki pegangan yang kuat dan sesuai tangan pekerja. Hasil yang didapatkan bahwa *coupling* pada pekerja *ironing* masuk kedalam kategori *good*.

Activity, pada operator *ironing*, terdapat aktivitas dimana pada bagian tubuh statis yaitu pinggang kebawah ditahan selama berjam-jam dalam proses setrika produk jadi tersebut, kemudian dilakukan pengulangan gerakan dalam waktu singkat dan diulang terus-menerus pada proses setrika produk jadi. Dan pada pekerja terdapat gerakan yang menyebabkan perubahan atau pergeseran postur yang cepat dari postur awal yaitu pada saat menggantung pakaian selesai disetraka, kemudian dalam proses menyetraka kadang dilakukan proses setrika pada posisi pakaian digantung. Hasil yang didapatkan setelah dilakukan semua perhitungan diatas, didapatkan hasil skor akhir pada software *ergofellow* adalah sebesar 7.

b. Perhitungan Hasil REBA Posisi 2

Neck, Trunk, and Legs, pada bagian ini didapatkan skor dari masing-masing bagian yaitu pada leher sebesar 14,300. Kemudian pada bagian punggung didapatkan sudut sebesar 5,950. Dan pada kaki dapat dibantu oleh satu kaki.

Load, Pekerja ironing melakukan pekerjaannya dengan tangan kanan

memegang setrika dan tangan kiri memegang pakaian yang akan disetrika. Pada kedua beban tersebut memiliki berat kurang dari 5 kg.

Upper Arm, Lower Arm, and Wrist, pada bagian lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan pada operator, didapatkan masing-masing sudut dari bagian-bagian tersebut. Pada bagian lengan atas memiliki sudut sebesar 50,630. Pada bagian lengan bawah memiliki sudut 89,840. Kemudian pada bagian pergelangan memiliki sudut sebesar 41,900.

Coupling, pada bagian ini, pekerja ironing mengangkat beban yaitu setrika dimana memiliki pegangan yang kuat dan sesuai tangan pekerja. Berdasarkan kategori diatas, didapatkan hasil bahwa coupling pada pekerja ironing masuk kedalam kategori good.

Activity, pada operator ironing, terdapat aktivitas dimana pada bagian tubuh statis yaitu pinggang kebawah ditahan selama berjam-jam dalam proses setrika produk jadi tersebut, kemudian dilakukan pengulangan gerakan dalam waktu singkat dan diulang terus-menerus pada proses setrika produk jadi. Dan pada pekerja terdapat gerakan yang menyebabkan perubahan atau pergeseran postur yang cepat dari postur awal yaitu pada saat menggantung pakaian selesai disetrika, kemudian dalam proses menyetrika kadang dilakukan proses setrika pada posisi pakaian digantung. Kemudian setelah dilakukan semua perhitungan diatas, didapatkan hasil skor akhir pada software ergofellow adalah sebesar 7.

Berdasarkan perhitungan REBA yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil bahwa postur kerja dari pekerja ironing bernilai 7 pada kedua posisi dimana posisi 1 agak membungkuk dan posisi 2 pekerja tegak dalam melakukan proses ironing. Skor tersebut masuk kedalam action level 2 dimana diperlukan tindakan perbaikan dari postur kerja tersebut. Pada posisi 1 didapatkan skor dari masing-masing bagian yaitu pada leher sebesar 25,020. Kemudian pada bagian punggung didapatkan sudut sebesar 32,150. Pada bagian lengan atas memiliki sudut sebesar 12,140. Pada bagian lengan bawah memiliki sudut 83,510. Kemudian pada bagian

pergelangan memiliki sudut sebesar 14,520. Coupling pada pekerja ironing masuk kedalam kategori good. Pada posisi 2 didapatkan skor dari masing-masing bagian yaitu pada leher sebesar 14,300. Kemudian pada bagian punggung didapatkan sudut sebesar 5,950. Pada bagian lengan atas memiliki sudut sebesar 50,630. Pada bagian lengan bawah memiliki sudut 89,840. Kemudian pada bagian pergelangan memiliki sudut sebesar 41,900. Coupling pada pekerja ironing masuk kedalam kategori good.

Kemudian terdapat aktivitas dimana pada bagian tubuh statis yaitu pinggang kebawah ditahan selama berjam-jam dalam proses setrika produk jadi tersebut, kemudian dilakukan pengulangan gerakan dalam waktu singkat dan diulang terus-menerus pada proses setrika produk jadi. Dan pada pekerja terdapat gerakan yang menyebabkan perubahan atau pergeseran postur yang cepat dari postur awal. Aktivitas yang dilakukan yaitu kegiatan menyetrika pakaian jadi dengan posisi berdiri secara statis selama 8 jam bekerja atau bisa lebih dengan ditopang kedua kaki. Pekerja melakukan pekerjaannya dengan posisi lengan selalu tertekuk hampir 90° melakukan gerakan menyetrika secara berulang-ulang sehingga menyebabkan pekerja mudah merasakan kelelahan. Kemudian posisi pekerja yang selalu menunduk dan tegak secara berulang-ulang membuat pinggang sering terasa sakit. Hal tersebut menyebabkan pekerjaan dengan posisi seperti itu selama 8 jam lebih akan mengakibatkan menurunnya tingkat produktivitas pekerja dalam bekerja. Dan jika dilakukan secara rutin tiap harinya maka akan berpengaruh pada kondisi tubuh pekerja dan berisiko pada meningkatnya kemungkinan terjadi CTDs.

Perhitungan REBA menghasilkan skor akhir 7, yang masuk ke dalam Action Level 2, yaitu memerlukan tindakan perbaikan dalam waktu dekat. Beberapa penyebab tingginya skor REBA meliputi:

- a. Sudut leher 20–25° yang mengarah ke depan, menyebabkan tekanan pada otot leher.

- Postur punggung membungkuk 30–32°, yang meningkatkan beban pada tulang belakang.
- Sudut lengan bawah 80–90° akibat gerakan repetitif saat menyetrika.
- Durasi kerja statis yang panjang tanpa adanya jeda istirahat yang cukup.
- Aktivitas berulang > 4 kali per menit, sesuai kriteria peningkatan skor pada REBA.

Postur tidak netral ini diperkuat oleh dokumentasi foto posisi 1 dan posisi 2 (yang akan ditambahkan pada bagian gambar sesuai saran reviewer), sehingga pembaca dapat memahami sumber risiko secara visual.

Skor REBA mengonfirmasi bahwa operator ironing bekerja pada level risiko sedang ke tinggi, yang secara ergonomis sudah membutuhkan intervensi.

3.3. Analisis Metode QEC

Berdasarkan hasil perhitungan QEC dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa keempat pekerja memiliki skor masing-masing adalah 129, 132, 132, dan 132 kemudian keempatnya masuk kedalam action level 4 dimana memiliki risiko yang sangat tinggi dan dibutuhkan investigasi lebih lanjut dan dilakukan penanganan secepatnya.

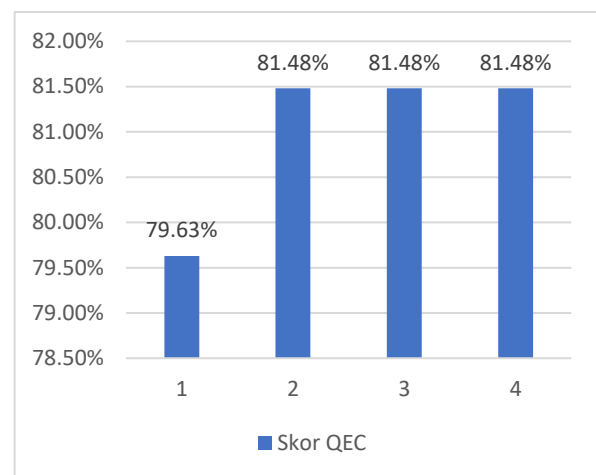
Tabel 1. Nilai Exposure Score Pekerja

Anggota Tubuh yang Diamati	Pekerja			
	1	2	3	4
Punggung (statis)	26	26	26	26
Bahu/lengan	30	30	30	30
Pergelangan tangan	40	40	40	40
Leher	18	18	18	18
Mengemudi	1	1	1	1
Getaran	9	9	9	9
Kecepatan Kerja	4	4	4	4
Stress	1	4	4	4
Jumlah Skor	129	132	132	132

Pada data keseluruhan nilai exposure score pekerja, bagian pergelangan memiliki nilai yang sangat besar yaitu 40 pada keempat pekerja, hal tersebut dikarenakan pekerja melakukan pekerjaannya dengan tangan yang selalu bergerak selama 8 jam dan berulang-ulang, hal tersebut menyebabkan rasa sakit

pada bagian tersebut dan menyebabkan risiko dikemudian hari.

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa pada punggung keempat pekerja memiliki skor 26 dimana masuk kedalam level *high*, kemudian pada bahu keempat pekerja memiliki skor 30 dimana masuk kedalam kategori level *high*, pada pergelangan tangan memiliki skor 40 dimana masuk kedalam kategori *high*, dan leher memiliki skor sebesar 18 dimana masuk kedalam kategori level *very high*. Semua aspek tersebut memiliki *exposure score* diantara *high* sampai *very high*, hal tersebut menandakan bahwa pekerja memiliki level risiko yang tinggi dimana diperlukan investigasi dan dilakukan penanganan secepatnya dan dari skor tersebut maka berisiko menimbulkan cedera apabila tidak diperbaiki.



Gambar 2. Nilai Skor QEC Pekerja Ironing

Penilaian menggunakan QEC dilakukan pada empat operator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Semua operator menunjukkan skor total ≥ 129 , sehingga masuk kategori Action Level 4 atau risiko sangat tinggi, sehingga perbaikan harus dilakukan segera. Komponen yang paling berkontribusi pada tingginya skor QEC antara lain:

- Bahu/lengan → gerakan berulang dan frekuensi tinggi
- Pergelangan tangan → *flexion-extension* berulang mengikuti gerakan setrika
- Punggung → posisi membungkuk saat mengatur pakaian



Gambar 3. Diagram *Fishbone*

- d. Leher → posisi menunduk saat mengawasi permukaan kain
- e. Kecepatan kerja → target produksi yang tinggi (30 pcs/jam)
- f. Stres kerja (*work stress*) → pengaruh beban target produksi dan kondisi lingkungan

QEC menunjukkan bahwa risiko tidak hanya berasal dari postur, tetapi juga dari faktor paparan kerja (beban kerja, kecepatan, durasi, *stress*), sehingga analisis ergonomi harus bersifat multidimensi.

3.4. Analisis Keseluruhan

NBM mengungkap keluhan subjektif pada bahu, lengan bawah, pergelangan tangan, dan punggung bawah. REBA memverifikasi bahwa sektor tubuh yang sama berada pada postur tidak netral, terutama akibat gerakan repetitif dan posisi membungkuk. QEC melengkapi dua metode sebelumnya dengan mengidentifikasi bahwa faktor paparan kerja (beban kerja, durasi, kecepatan, dan stres) berkontribusi pada risiko.

Dengan demikian, NBM mengindikasikan lokasi keluhan, REBA mengindikasikan penyebab posturalnya, QEC mengindikasikan paparan dan lingkungan penyebab keluhan. Ketiga metode tersebut menghasilkan gambaran komprehensif yang saling menguatkan: bagian ironing PT XYZ memiliki risiko ergonomi yang sedang hingga sangat tinggi, baik dari sudut pandang biomekanik maupun faktor paparan kerja.

Berdasarkan dari pengolahan data yang dilakukan, didapatkan akar permasalahan dari masing-masing analisis yang ada yang tercantum pada diagram *fishbone* seperti pada Gambar 3.

Fishbone diagram merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab dari suatu masalah. Permasalahan yang terjadi ada dalam beberapa kategori yaitu *machine*, *method*, *environment*, dan *man*. Dari permasalahan yang ada pada kegiatan *ironing* tersebut maka akan mendapatkan terjadinya beban kerja yang dialami oleh pekerja. Berdasarkan dari diagram *fishbone* tersebut, terdapat beberapa permasalahan dari beberapa aspek yaitu:

a. *Machine*

Pada diagram *fishbone* terdapat faktor mesin dimana dalam melakukan proses ironing terdapat permasalahan dalam mesin yang dipakai.

1) Getaran pada Mesin

Pada faktor mesin, terdapat permasalahan terkait dengan getaran yang ada pada meja produksi dan ukuran mesin yang tidak efisien bagi pekerja ironing. Getaran yang ada tersebut mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan dimana dengan adanya getaran tersebut, proses ironing yang dilakukan kadang pekerja menjadi kurang teliti dan menyebabkan adanya *defect* gosok pada produk, dan dengan adanya getaran tersebut memberikan dampak negatif bagi kesehatan dan keselamatan pekerja dimana pekerja yang

terpapar getaran secara terus menerus akan menyebabkan pekerja mudah lelah dan mempengaruhi fisik dari pekerja.

2) Ukuran Mesin tidak Efisien dengan Pekerja

Ukuran mesin yang tidak efisien juga mempengaruhi proses ironing yaitu pada bagian meja produksi dimana pekerja dalam melakukan pekerjaannya melakukan proses ironing dengan posisi tangan tertekuk hampir 90° selama 8 jam perharinya, hal tersebut menyebabkan rasa sakit yang dialami pekerja pada bagian lengan bawah kanan dan kiri pekerja, dan jika kegiatan tersebut dilakukan terus menerus maka akan mempengaruhi fisik pekerja dan proses ironing menjadi tidak maksimal, dengan adanya ukuran meja produksi yang tidak efisien tersebut juga berpengaruh pada risiko munculnya WMSDs pada pekerja.

b. Method

1) Metode Produksi yang Tidak Efisien antara Target yang Ditetapkan dengan Kapasitas Fisik Pekerja.

Pada diagram *fishbone* terdapat faktor metode dimana dalam melakukan proses ironing terdapat permasalahan dalam metode yang digunakan yaitu terdapat ketidakefisien dari metode produksi. Dalam melakukan proses produksinya, terdapat ketidaksesuaian antara target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan dengan kapasitas operator. Perusahaan menargetkan pekerja untuk menyelesaikan 30 pcs baju untuk disetrika dalam waktu 1 jam, namun realitanya, banyak terdapat *defect* yang terjadi pada proses ironing tersebut sehingga *defect* produk tersebut. Hal tersebut menyebabkan target perusahaan yang awalnya menargetkan 30 pcs meningkatkan target produksi tersebut agar tidak mengurangi dari total target produksi di akhir untuk tiap harinya. Dengan adanya ketidaksesuaian target produksi dengan kapasitas pekerja, maka proses ironing yang dilakukan tidak maksimal dan menjadi tidak efisien.

2) Terdapat beban kerja yang tinggi beresiko terjadi *Muskuloskeletal Disorders*

Pada divisi produksi bagian *ironing*, terdapat beban kerja yang tinggi yaitu

ketidakseimbangan antara target yang ditentukan oleh perusahaan dengan kapasitas kerja dari pekerja sehingga mengakibatkan terjadinya beban kerja pada pekerja ironing. Dikarenakan hal tersebut, jika dilakukan secara terus menerus akan beresiko bagi fisik pekerja yang menyebabkan terjadinya *Muskuloskeletal Disorders*.

c. Environment

1) Suara Mesin yang Berisik

Pada diagram *fishbone* terdapat faktor environment dimana dalam melakukan proses ironing terdapat permasalahan dalam fluktuasi suhu, dimana dalam melakukan proses ironing terdapat mesin dengan suara yang berisik sehingga mengganggu pekerja dalam melakukan pekerjaannya. Suara berisik tersebut menyebabkan pekerja menjadi kurang fokus.

2) Suhu Area Produksi yang Terlalu Tinggi

Pada diagram *fishbone* terdapat faktor environment dimana dalam melakukan proses ironing terdapat permasalahan dalam fluktuasi suhu, dimana dalam lingkungan kerja tersebut memiliki suhu yang panas dan hal tersebut berpengaruh pada kinerja pekerja yaitu mudah kelelahan. Suhu yang panas menyebabkan pekerja mudah berkeringat ditambah dengan pekerja melakukan pekerjaannya dengan posisi statis selama 8 jam. Suhu yang panas tersebut menyebabkan kelelahan dan penurunan konsentrasi pada pekerja dan dapat beresiko pada kualitas pekerjaan tersebut. Terdapat penurunan akurasi dalam melakukan pekerjaannya dan lebih sering pekerja membuat kesalahan dikarenakan kondisi lingkungan yang tidak nyaman.

d. Man

1) Kurang Keterampilan

Pada diagram *fishbone* terdapat faktor man dimana dalam melakukan proses ironing terdapat permasalahan dalam keterampilan pekerja. Dengan adanya keterampilan pekerja yang kurang, menyebabkan kualitas produk yang tidak sesuai dan terdapat banyak *defect* yang terjadi pada proses ironing.

2) Kapasitas Fisik Pekerja Kurang Tidak Sesuai dengan Target yang Ditetapkan Perusahaan

Dalam melakukan proses produksinya, terdapat ketidaksesuaian antara target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan dengan kapasitas operator. Perusahaan menargetkan pekerja untuk menyelesaikan 30 pcs baju untuk disetrika dalam waktu 1 jam, namun realitanya, banyak terdapat *defect* yang terjadi pada proses ironing tersebut sehingga *defect* produk tersebut. Hal tersebut menyebabkan target perusahaan yang awalnya menargetkan 30 pcs meningkatkan target produksi tersebut agar tidak mengurangi dari total target produksi di akhir untuk tiap harinya. Dengan adanya peningkatan target perusahaan tersebut menyebabkan pekerja tidak memiliki kapasitas fisik yang dapat mengimbangnya sehingga pekerja memiliki faktor resiko yang lebih besar jika dipaksakan untuk terus bekerja dalam melebihi target perusahaan.

3.5. Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka perlu dilakukan rekomendasi pada bagian pekerjaan tersebut dikarenakan semua aspek tubuh pekerja memiliki risiko cedera WMSDs apabila tidak segera diperbaiki. Rekomendasi dari masing-masing faktor permasalahan yang ada adalah:

a. Machine

Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Memasang peredam getaran alat pelindung getaran pada meja produksi tersebut agar dapat mengurangi getaran yang ada sehingga dapat meningkatkan produktivitas.
- 2) Melakukan re-design pada meja produksi pekerja ironing yang ergonomis dengan usulan perbaikan pada tinggi meja produksi yang efisien menggunakan metode antropometri. Re-design tersebut dilakukan dengan menggabungkan persentil 0,05 hingga 0,95 agar dapat memenuhi kebutuhan dari sebagian besar populasi pengguna.

b. Method

Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan :

- 1) Mengoptimalkan rencana produksi dan menyesuaikan dengan kapasitas pekerja, dengan menerapkan prinsip dari lean manufacturing untuk meningkatkan efisiensi produksi sehingga tidak terjadi ketidaksesuaian antara target produksi dengan kapasitas pekerja. Prinsip lean manufacturing ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan menghilangkan pemborosan dalam proses produksi. Beberapa prinsip lean dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut yang melibatkan pengelolaan sumber daya manusia dan proses produksi secara lebih efisien.

- 2) perusahaan melakukan pengoptimalan sumber daya manusia di perusahaan dengan memperhatikan resiko-resiko yang memungkinkan terjadi pada pekerja dan melakukan serta memberikan prosedur K3 untuk pekerja agar dapat meringankan beban kerja dan meningkatkan keselamatan dari pekerja sehingga mengurangi adanya resiko muskuloskeletal *disorders*.

c. Environment

- 1) Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan memberi penutup telinga kepada pekerja agar pekerja tidak terganggu dengan kebisingan yang terjadi pada mesin sehingga dapat meningkatkan kinerja dan fokus dari pekerja.
- 2) Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan pendingin ruangan agar suhu ruangan tidak terlalu panas. Pada perusahaan PT XYZ sudah terdapat kipas angin pada lingkungan kerja ironing namun kipas angin tersebut rusak dan tidak diperbaiki oleh perusahaan sehingga tidak ada pendingin ruangan dan hal tersebut menyebabkan suhu ruangan panas. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan dari kipas angin tersebut.

d. Man

Rekomendasi yang dapat dilakukan adalah dengan:

- 1) Melakukan program pelatihan untuk meningkatkan keterampilan pekerja.

Kemudian melakukan evaluasi kinerja secara teratur agar kinerja pekerja tetap terjaga

- 2) Perusahaan melakukan analisis target produksi yang disesuaikan dengan kapasitas fisik pekerja agar dari pekerja tidak mengalami tekanan dan melakukan pekerjaan yang tidak sesuai kapasitas yang akan menyebabkan cedera fisik nantinya jika dilakukan secara terus-menerus.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis postur kerja dan faktor risiko pada pekerja proses ironing pada PT XYZ, didapatkan kesimpulan bahwa pada metode REBA, postur kerja dari pekerja ironing bernilai 7 pada kedua posisi (posisi 1 dan posisi 2) dan masuk kedalam action level 2 dimana diperlukan tindakan perbaikan dari postur kerja tersebut. Hal tersebut dikarenakan pekerja melakukan pekerjaannya dengan postur yang kurang baik dan berisiko bagi tubuh pekerja dan akan mengakibatkan menurunnya tingkat produktivitas pekerja dalam bekerja. Kemudian pada faktor risiko menggunakan metode QEC, didapatkan kesimpulan bahwa keempat pekerja memiliki skor masing-masing adalah 129, 132, 132, dan 132 kemudian keempatnya masuk kedalam action level 4 dimana memiliki risiko yang sangat tinggi dan dibutuhkan investigasi lebih lanjut dan dilakukan penanganan secepatnya. Berdasarkan hasil analisis diatas mengenai permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan rekomendasi pada bagian pekerjaan tersebut. Rekomendasi yang dilakukan adalah dengan memasang peredam getaran alat pelindung getaran pada meja produksi, melakukan *redesign* pada meja produksi pekerja ironing yang ergonomis dengan usulan perbaikan pada tinggi meja produksi yang efisien menggunakan metode antropometri, mengoptimalkan rencana produksi dan menyesuaikan dengan kapasitas pekerja, dengan menerapkan prinsip dari lean manufacturing untuk meningkatkan efisiensi produksi, memberikan prosedur K3, memberi penutup telinga untuk mengurangi kebisingan,

memberikan pendingin ruangan agar suhu ruangan tidak terlalu panas, dan melakukan program pelatihan untuk meningkatkan keterampilan pekerja.

Daftar Pustaka

- Abdul, M. (2022). Penerapan Teknologi Sistem Informasi Dan Teknologi Tepat Guna Pada Usaha Kecil Menengah. *Seminar Ilmiah Nasional Komputer Dan Sistem Intelijen Auditorium Universitas Gunadarma*, 8(5), 135.
- Erliana, C. I., Syarifuddin, S., Wahyuri, R., & Abdullah, D. (2022). Analisis Posture Kerja pada Pekerja Es Balok CV. Mulieng Iceberg. *Industrial Engineering Journal*, 11(2), 1–8. <https://doi.org/10.53912/iej.v11i2.944>
- Ghasemi, F., & Mahdavi, N. (2020). A new scoring system for the Rapid Entire Body Assessment (REBA) based on fuzzy sets and Bayesian networks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103058.
- Hafizh, M. (2023). Analisa Penilaian Postur Kerja Berdasarkan Metode Quick Exposure Check (QEC) dan Rapid Entire Body Assessment (REBA) pada Operator Proses Sand-Mold Casting. *Industrial Engineering Journal*, 1(5), 20–33.
- Hanafie, A., Haslindah, A., Bora, M. A., & Imran, A. (2024). Analisis Tingkat Kenyamanan Kerja Pada Operator Central Control Room Pltu Barru Berbasis Nordic Body Map Yang Ergonomis. *Iltek : Jurnal Teknologi*, 19(02), 114–122. <https://doi.org/10.47398/iltek.v19i02.184>
- Handika, F. S., Yuslistyari, E. I., & Hidayatullah, M. (2020). Analisis Beban Kerja Fisik dan Mental Operator Produksi di PD. Mitra Sari. *Jurnal Intent: Jurnal Industri Dan Teknologi Terpadu*, 3(2), 83–88. <https://doi.org/10.47080/intent.v3i2.953>
- Himawan, R. (2020). Analisa Penilaian Postur Kerja Berdasarkan metode Quick

- Exposure Checklist (QEC) pada Operator Mesin Milling. *Industrial Engineering*, 1(8), 1–3.
- Hita-Gutiérrez, M., Gómez-Galán, M., Díaz-Pérez, M., & Callejón-Ferre, Á. J. (2020). An overview of REBA method applications in the world. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2635.
- Hoque, I., Alam, S. S., & Rahman, M. S. (2022). Buyer–supplier role in improving ergonomics in garment supplier factories. *Sustainability*, 14(1), 492.
- Joshi, M. (2020). Investigative study and sensitivity analysis of Rapid Entire Body Assessment (REBA). *International Journal of Industrial Ergonomics*.
- Michelle. (2019). Peranan Aktivitas Pengendalian Pada Siklus Produksi Untuk Meningkatkan Efektivitas Produksi Perusahaan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 72–85.
- Nabi, M. H., Kongtip, P., Woskie, S., Nankongnab, N., Sujirarat, D., & Chantanakul, S. (2021). Factors associated with musculoskeletal disorders among female readymade garment workers in Bangladesh: A comparative study between OSH-compliant and non-compliant factories. *Risk Management and Healthcare Policy*, 14, 1119–1133.
- Pradana, F. I., Hutabarat, J., & Priyasmanu, T. (2024). Usulan Penambahan Alat Memindahkan Pakan Pada Peternakan Ayam Menggunakan Metode Nordic Body Map Dan Reba Untuk Meminimalisir MSDS. *Jurnal Valtech*, 7(1), 90–99. <https://doi.org/10.36040/valtech.v7i1.9265>
- Ramadhan, M. A., Malaka, T., & Fitri, A. D. (2019). Hubungan Risiko Ergonomi dengan Keluhan Musculoskeletal Disorders (MSDs) pada Pekerja Buruh di PT. Xylo Indah Pratama Sumatera Selatan. *Majalah Kedokteran Sriwijaya*, 49(1), 18–22. <https://doi.org/10.32539/mks.v49i1.8320>
- Saputro, D. T. (2021). Pembuatan Proses Bisnis Persiapan Material untuk Produksi dengan Business Process Modelling Notation (BPMN) di Pabrik Generator Sets (Genset) PT ABC. *Indonesia Sosial Teknologi*, 2(1), 23–24.
- Siregar, Y. S., Darwis, M., Baroroh, R., & Andriyani, W. (2022). Peningkatan Minat Belajar Peserta Didik dengan Menggunakan Media Pembelajaran yang Menarik pada Masa Pandemi Covid 19 di SD Swasta HKBP 1 Padang Sidempuan. *Jurnal Ilmiah Kampus Mengajar*, 2(1), 70–74. <https://doi.org/10.56972/jikm.v2i1.33>
- Waluyo, R., & Nurfajriah. (2020). Analisis Ergonomi Proses Pembuatan Sate Bandeng dengan Posture Evaluation Index dalam Virtual Environment. *Tekmapro: Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(02), 85–93.