

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produktivitas tenaga kerja sangat penting di dunia industri modern. Desain ergonomi yang berpusat pada manusia tidak hanya mampu mencegah gangguan fisik dan kelelahan mental, tetapi juga dapat meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan pekerja. Sistem kerja sebagai salah satu aspek dalam desain ergonomi dapat memengaruhi produktivitas manusia. Perancangan sistem kerja yang ergonomis sangat esensial guna meningkatkan efisiensi dan menurunkan kelelahan operator (Ansori et al., 2025). Perancangan sistem kerja dalam industri manufaktur berperan penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang nyaman, produktif, dan efisien. Sistem yang dirancang secara ergonomis mampu mengurangi beban kerja, meminimalkan kelelahan, dan memperbaiki alur proses yang sebelumnya tidak efektif. Perbaikan sistem kerja akan memberikan pengaruh terhadap peningkatan *output*, pengurangan waktu siklus, serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan kerja, sehingga mendukung keberlanjutan proses produksi di industri manufaktur (Makhmudah et al., 2022).

Putra & Saripudin (2025) menyatakan bahwa konveyor merupakan komponen penting dalam sistem industri modern untuk proses produksi maupun distribusi material. Konveyor digunakan sebagai alat untuk memindahkan material dari satu titik ke titik tertentu secara otomatis dan berkelanjutan. Sistem kerja pada konveyor yang dirancang dengan tepat dapat meningkatkan efisiensi serta efektivitas operasional, karena proses pemindahan material menjadi lebih cepat, konsisten, dan minim kesalahan. Penelitian Salawu & Glen (2023) menunjukkan bahwa pengaturan parameter pada sistem konveyor berpengaruh terhadap jumlah *output* yang dihasilkan. Pengaturan sistem konveyor yang tidak tepat dapat meningkatkan slip, gesekan berlebih hingga menurunkan efisiensi kerja konveyor. Selain berpengaruh terhadap performa mesin, kondisi kerja konveyor juga memengaruhi beban kerja operator, utamanya pada bagian pengemasan atau perakitan yang aktivitasnya membutuhkan aliran perpindahan dengan konveyor.

Secara khusus, sistem kerja pemindah barang (konveyor) perlu memperhatikan jarak material satu dengan selanjutnya. Jarak yang berdekatan bahkan hampir tidak ada jeda menyebabkan repetisi tinggi dan *cycle time* pendek, sehingga menuntut operator bekerja dengan ritme yang lebih cepat (Lasota, 2015). Kondisi kerja dengan ritme cepat dapat meningkatkan beban kerja fisik dan mental, sehingga menimbulkan tingkat kelelahan yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Hamidya et al. (2025), yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara ritme kerja dengan kelelahan operator. Ritme kerja yang tinggi berpengaruh terhadap peningkatan kelelahan operator. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Javanmardi et al. (2024), juga membuktikan bahwa kecepatan kerja (*work pace*) berpengaruh signifikan terhadap respon fisiologis. Kecepatan kerja yang tinggi menuntut pekerja untuk melakukan gerakan repetitif dalam waktu lebih singkat, sehingga meningkatkan respon fisiologis.

Dalam sistem kerja manual seperti aktivitas *packing*, jarak jangkauan (*reach distance*) merupakan salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan karena berkaitan langsung dengan pola gerakan dan beban kerja operator. Jarak jangkauan yang terlalu jauh dari tubuh pekerja dapat menyebabkan operator melakukan pergerakan lengan dan bahu yang lebih besar, sehingga beban kerja pada sistem muskuloskeletal meningkat (Konz & Johnson, 2017). Namun pada pekerjaan repetitif, jarak jangkauan yang terlalu dekat juga dapat meningkatkan beban statis pada otot lengan bawah dan pergelangan, sehingga berisiko menimbulkan kelelahan (Fachrushidieq, 2025). Oleh karena itu, jarak jangkauan pada pekerjaan pengemasan perlu ditentukan dalam rentang optimal, bukan sekadar diminimalkan, tujuannya untuk mendukung efisiensi waktu kerja dan menurunkan beban kerja pada aktivitas manual berulang.

Pada sisi lain, arah aliran material konveyor merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan sistem kerja. Hal ini dikarenakan akan menentukan pola gerak dan jangkauan operator saat melakukan aktivitas pengambilan maupun penempatan material. Aliran material dari arah yang berbeda (sisi kiri atau sisi kanan) akan menghasilkan pola gerak tubuh yang berbeda. Kondisi ini dapat memengaruhi beban kerja fisik, kenyamanan, serta kecepatan operator dalam menyelesaikan tugas (Kuo et al., 2023). Penelitian Ansori et al. (2026)

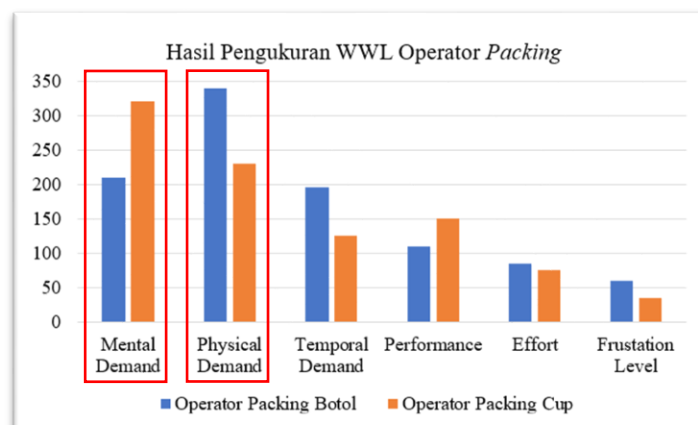
menggunakan pendekatan *Response Surface Methodolgy* (RSM) dengan salah satu faktor kategorikal arah material, membuktikan bahwa arah aliran material berpengaruh terhadap tuntutan fisiologis (*Cardiovascular Load*) maupun kognitif (*Heart Rate Variability*) dengan $p\text{ value} < 0,05$. Hasil penelitian Gallagher & Heberger (2015), menggunakan metode desain eksperimen juga menunjukkan bahwa faktor orientasi operator saat mengerjakan *packing palet* pada ujung kanan konveyor lebih optimal dibandingkan dari sisi kiri.

Efisiensi waktu merupakan salah satu indikator utama dalam menilai sistem kerja di lingkungan industri, terutama pada aktivitas yang melibatkan proses manual dan berulang. Penelitian oleh Roswandi et al. (2021), menunjukkan bahwa efisiensi waktu dipengaruhi oleh rancangan sistem kerja dan kesesuaian metode kerja. Penelitian menemukan bahwa stasiun kerja yang tidak tertata dan metode kerja yang tidak sistematis menimbulkan waktu tunggu, serta meningkatkan beban pekerja sehingga menurunkan efisiensi proses. Menurut Yunitia & Arista (2024), pengukuran waktu kerja penting dilakukan untuk mengetahui durasi yang dibutuhkan dalam menyelesaikan suatu aktivitas secara optimal. Penggunaan waktu kerja yang tidak optimal dapat menyebabkan meningkatnya beban kerja dan menurunkan produktivitas, sehingga berdampak langsung pada performa operator maupun *output* produksi.

Pengukuran beban kerja fisik dan mental penting dilakukan untuk memastikan tuntutan pekerjaan tidak melebihi kapasitas operator, karena kondisi tersebut dapat memicu kelelahan, menurunkan produktivitas, serta meningkatkan risiko penyakit akibat kerja. Beban kerja fisik merupakan tingkat tuntutan fisiologis yang diterima tubuh saat melakukan aktivitas kerja dan tercermin dari perubahan denyut jantung serta usaha otot manusia (Kurniawan & Widajati, 2025). Penelitian oleh Hartati et al. (2022), pada sektor produksi manual menunjukkan bahwa tingginya beban kerja fisik berpengaruh terhadap penurunan produktivitas, meningkatnya waktu istirahat tidak terencana, serta tingginya tingkat kesalahan kerja terutama pada pekerjaan manual yang mengandalkan manusia. Sementara beban kerja mental berkaitan dengan tingkat tuntutan kognitif yang harus dipenuhi oleh seseorang dalam menyelesaikan pekerjaan, dipengaruhi oleh tingkat kesulitan pekerjaan, kondisi lingkungan, serta kemampuan adaptasi individu (Prasetyo & Iridiastadi, 2025).

Peneliti menegaskan bahwa beban kerja mental yang melampaui kapasitas kognitif manusia dapat meningkatkan stres, menurunkan performa, serta memengaruhi ketepatan dalam pengambilan keputusan.

PT Swabina Gatra (SWA) adalah perusahaan manufaktur dan jasa dengan salah satu lini bisnis memproduksi air mineral. Pada bagian *packing*, terdapat indikasi tingginya beban kerja fisik dan mental. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai rata-rata skor NASA-TLX (berdasarkan nilai WWL atau *weighted workload*) dari empat operator yang bekerja di bagian pengemasan sebesar 64,5 yang termasuk dalam kategori beban kerja tinggi, dengan rata-rata nilai indikator tertinggi yaitu pada kebutuhan fisik dan kebutuhan mental, seperti ditunjukkan pada gambar 1.1. Kondisi ini mengindikasikan bahwa aktivitas pengemasan berpotensi menimbulkan beban kerja yang cukup besar baik secara fisik maupun mental. Selain itu, ditemukan permasalahan berkaitan dengan kurangnya efisiensi waktu yang ditunjukkan dengan terjadinya penumpukan/inventori material seperti ditunjukkan pada gambar 1.2.



Gambar 1.1 WWL Operator *packing* PT Swabina Gatra

Dalam proses pengemasan produk, SWA menggunakan sistem konveyor sebagai alat bantu utama untuk memindahkan produk secara otomatis dan berkelanjutan. Produk yang dikemas yaitu air mineral kemasan botol dan air mineral kemasan gelas (*cup*) dengan masing-masing memiliki sistem kerja serta kondisi operator yang berbeda. Pada lini pengemasan botol, jarak material pada konveyor sangat rapat hampir tanpa jeda, sehingga operator dituntut bekerja dengan ritme yang lebih cepat dalam proses memasukkan botol ke dalam kardus. Peningkatan kecepatan kerja dapat menyebabkan meningkatnya repetisi gerakan

dan tuntutan fisiologis, sehingga berpotensi menimbulkan kelelahan (Öner-Közen et al., 2017). Pada lini pengemasan botol, jarak jangkauan operator terhadap objek pada konveyor relatif lebih jauh. Kondisi ini memengaruhi kemampuan dalam menjangkau objek (Liu et al., 2017). Selain itu, arah aliran material datang dari sisi kanan operator ke kiri sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.2 (i). Arah aliran yang bersifat monoton dapat memberikan tingkat stimulus yang berbeda terhadap respons mental dan fisiologis individu (Gallagher & Heberger, 2015). Sedangkan pada lini pengemasan *cup*, jarak material lebih longgar, sehingga ritme kerja operator cenderung lebih lambat dengan jarak jangkauan terhadap objek yang sangat dekat. Pekerjaan monoton yang merujuk pada aktivitas berulang dan minim variasi dapat berdampak negatif pada pekerja, karena dapat memicu kebosanan dalam bekerja (Loukidou et al., 2009). Jarak jangkauan yang terlalu dekat dapat meningkatkan beban statis pada otot lengan bawah dan pergelangan, sehingga berisiko menimbulkan kelelahan (Fachrushidieq, 2025). Arah aliran material pada lini pengemasan gelas (*cup*) yaitu bergerak dari sisi kiri operator ke kanan seperti ditunjukkan pada gambar 1.2 (ii). Arah aliran material yang datang dari sisi kanan lebih optimal karena dapat mengurangi tuntutan kognitif dan fisiologis dibandingkan aliran dari sisi kiri operator, sejalan dengan penelitian Ansori et al. (2026) serta didukung penelitian Gallagher & Heberger (2015). Gambaran perbedaan posisi operator saat melakukan pekerjaan pengemasan dapat dilihat pada gambar 1.2. Pada gambar sebelah kiri merupakan lini pengemasan botol sedangkan gambar sebelah kanan lini pengemasan *cup*.



Gambar 1.2 perbandingan posisi kerja operator aktivitas *packing* menggunakan konveyor

Hasil wawancara dengan pihak departemen HSE (*Health Safety and Environment*), observasi, dan studi literatur diduga perbedaan jarak material, jarak jangkauan, dan arah aliran material menjadi faktor yang memengaruhi tingginya beban kerja fisik dan mental, serta perbedaan waktu pengerjaan pada kedua lini pengemasan. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design of Experiment* (DOE) di Laboratorium EPSK. Faktor yang diteliti meliputi jarak material, jarak jangkauan, dan arah aliran material. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi faktor yang optimal terhadap tiga respon yaitu waktu pengerjaan, beban kerja mental secara obyektif menggunakan pendekatan *Heart Rate Variability* (HRV), dan beban kerja fisik menggunakan pendekatan *Cardiovascular Load* (CVL) operator. NASA-TLX digunakan pada tahap identifikasi masalah karena merupakan instrumen subjektif yang umumnya digunakan untuk mengevaluasi persepsi pekerja terhadap *mental workload* (Hart & Staveland, 1998). Namun demikian, penelitian ini bertujuan mengevaluasi perubahan respon beban kerja mental pada setiap kombinasi perlakuan eksperimen. Oleh karena itu digunakan *Heart Rate Variability* (HRV) dengan parameter RMSSD sebagai indikator fisiologis yang mampu merefleksikan aktivitas sistem saraf otonom yang berkaitan dengan tuntutan kognitif dan *mental workload* secara obyektif. HRV digunakan sebagai indikator aktivitas sistem saraf otonom dan banyak diaplikasikan untuk mengevaluasi respon fisiologis terhadap tuntutan kognitif, stres mental, dan regulasi psikologis (Laborde et al., 2017). Penelitian oleh Alaimo et al. (2020) menunjukkan bahwa peningkatan *mental workload* yang diukur menggunakan NASA-TLX berkorelasi dengan penurunan nilai HRV, yang mengindikasikan berkurangnya aktivitas parasimpatis akibat meningkatnya tuntutan kognitif. Temuan tersebut menunjukkan bahwa HRV dapat digunakan sebagai indikator fisiologis yang relevan untuk merepresentasikan perubahan *mental workload* yang sebelumnya teridentifikasi melalui NASA-TLX.

Proses optimasi dilakukan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD). Penelitian ini menggunakan dua faktor kontinu, yaitu jarak material (X_1) dan jarak jangkauan (X_2), serta satu faktor kategorikal yaitu arah aliran material (X_3) dengan dua level. Faktor kategorikal tidak diikutsertakan dalam pembentukan titik aksial

maupun perhitungan nilai alfa (α), karena titik aksial hanya berlaku untuk faktor kontinu. Rancangan CCD dibangun berdasarkan dua faktor kontinu, sedangkan faktor arah aliran material diperlakukan sebagai faktor kategorikal yang diulang pada setiap kombinasi rancangan CCD. Titik pusat (*center point*) tetap berada pada kombinasi level tengah faktor kontinu dan digunakan untuk mengestimasi *pure error* serta mengevaluasi *curvature model*. Faktor arah aliran material dianalisis sebagai faktor kualitatif dalam model tanpa memengaruhi struktur geometris CCD maupun estimasi *varians pure error*.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan permasalahan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran material terhadap respon waktu pada pekerjaan *packing*?
2. Bagaimana pengaruh jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran material terhadap respon beban kerja mental operator *packing*?
3. Bagaimana pengaruh jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran material terhadap respon beban kerja fisik operator *packing*?
4. Bagaimana kombinasi parameter jarak material, jarak jangkauan, dan arah aliran material yang optimal berdasarkan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk meminimalkan waktu kerja, beban kerja mental, dan beban kerja fisik operator *packing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini meliputi sebagai berikut.

1. Melakukan percobaan untuk menganalisis pengaruh faktor jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran terhadap respon waktu pada pekerjaan *packing*.
2. Melakukan percobaan untuk menganalisis pengaruh jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran terhadap beban kerja mental operator *packing*.
3. Melakukan percobaan untuk menganalisis pengaruh faktor jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran terhadap respon beban kerja fisik operator *packing*.
4. Menentukan kombinasi parameter yang optimal dari jarak material, jarak jangkauan, dan arah aliran material berdasarkan model *Response Surface*

Methodology (RSM) untuk mengoptimalkan waktu kerja serta meminimalkan beban kerja mental dan beban kerja fisik operator *packing*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini meliputi sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh faktor jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran terhadap respon waktu pada pekerjaan *packing*.
2. Mengetahui pengaruh faktor jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran terhadap beban kerja mental operator *packing*.
3. Mengetahui pengaruh faktor jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran terhadap respon beban kerja fisik operator *packing*.
4. Memberikan rekomendasi desain sistem kerja untuk mengoptimalkan waktu kerja, beban kerja mental dan beban kerja fisik pada operator *packing* berdasarkan jarak material, jarak jangkauan dan arah aliran material.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan permasalahan pada penelitian ini meliputi sebagai berikut.

1. Percobaan dilakukan pada pekerjaan *packing* produk air mineral kemasan *cup* menggunakan konveyor di Laboratorium Ergonomi Perancangan Sistem Kerja (EPSK) Universitas Trunodjoyo Madura.
2. Hasil penelitian difokuskan untuk masukan pada aktivitas *packing* di PT Swabina Gatra, namun rekomendasi sistem kerja optimal dapat bersifat adaptif pada pekerjaan *packing* dengan operator dan kondisi serupa.