

BAB I

PENDAHULUAN

Bab satu pendahuluan memuat uraian mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan. Bab ini disusun untuk memberikan gambaran awal mengenai kondisi dan permasalahan yang menjadi dasar dilakukannya penelitian, sekaligus menjelaskan urgensi serta arah penelitian yang akan dilakukan.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem produksi pada industri manufaktur modern tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan kapasitas dan kecepatan produksi, tetapi juga mulai memperhatikan keberlanjutan sistem kerja dengan menempatkan manusia sebagai komponen penting dalam proses produksi. Pendekatan ini sejalan dengan konsep industri 5.0 yang menekankan kesejahteraan pekerja serta keseimbangan antara teknologi dan peran manusia dalam sistem kerja (Trstenjak et al., 2025). Meskipun tingkat otomasi terus berkembang, operator tetap memiliki peran dominan pada aktivitas tertentu, khususnya pada proses pengemasan (*packing*) yang bersifat semi-manual dan memerlukan keterlibatan fisik serta konsentrasi secara langsung (Lasota, 2025).

Aktivitas pengemasan menggunakan *conveyor* menuntut keterlibatan fisik dan kognitif operator secara simultan. Operator harus mempertahankan ritme kerja, melakukan koordinasi gerak yang berulang, serta menjaga konsentrasi secara berkelanjutan selama proses berlangsung. Apabila desain sistem kerja tidak dirancang sesuai dengan prinsip ergonomi, maka tuntutan tersebut berpotensi meningkatkan beban kerja fisik dan mental operator. Kondisi ini dapat memicu kelelahan, menurunkan performa kerja, serta berdampak pada produktivitas sistem secara keseluruhan (Wurzelbacher et al., 2020).

Dalam sistem produksi manufaktur, *conveyor* merupakan sarana utama penanganan material yang berfungsi memindahkan produk secara kontinu antar stasiun kerja guna meningkatkan efisiensi aliran produksi (Deka et al., 2024). Namun demikian, pada banyak sistem pengemasan menggunakan *conveyor*, proses kerja belum sepenuhnya terotomasi sehingga masih memerlukan aktivitas manual

seperti pengambilan, penataan, dan pemasukan produk ke dalam kemasan akhir (Lasota, 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem *conveyor* tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu mekanis, tetapi juga membentuk sistem kerja terpadu yang melibatkan interaksi antara mesin, lingkungan kerja, dan operator manusia. Oleh karena itu, aspek ergonomi menjadi faktor penting dalam menjaga kinerja operator dan produktivitas sistem pengemasan (Wurzelbacher et al., 2020).

Dalam kajian ergonomi, beban kerja dipahami sebagai hasil interaksi antara tuntutan pekerjaan dan kapasitas individu dalam melaksanakan tugas (Zidan et al., 2024). Beban kerja mencakup beban kerja fisik dan mental, di mana beban kerja fisik berkaitan aktivitas otot dan respon fisiologis tubuh terhadap aktivitas kerja (Ahmadi et al., 2022), sedangkan beban kerja mental berkaitan dengan tuntutan kognitif seperti perhatian, konsentrasi, dan pengolahan informasi (Young et al., 2015). Beban kerja fisik maupun mental yang melebihi kapasitas individu dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti peningkatan kelelahan, penurunan performa, serta meningkatnya risiko kesalahan kerja (Bagherifard et al., 2022).

Salah satu faktor lingkungan kerja yang dominan pada sistem pengemasan berbasis *conveyor* adalah kebisingan yang berasal dari mesin *conveyor* dan peralatan pendukung yang beroperasi secara kontinu. Paparan kebisingan diketahui tidak hanya berdampak pada sistem pendengaran, tetapi juga memengaruhi konsentrasi, kenyamanan kerja, serta respon fisiologis operator. Penelitian Jafari et al (2019), menunjukkan bahwa perhatian dan kemampuan kognitif pekerja menurun secara signifikan saat terpapar kebisingan tinggi. Selain itu, kebisingan juga memicu respon sistem saraf otonom yang dapat diamati melalui perubahan *Heart Rate Variability*, yang mencerminkan meningkatnya stres fisiologis dan beban kerja mental operator (Fan et al., 2022).

Selain kebisingan, kondisi suhu lingkungan kerja juga berperan penting dalam memengaruhi kondisi fisik dan mental operator. Paparan suhu yang tidak nyaman dapat menurunkan kewaspadaan, mempercepat kelelahan, serta meningkatkan beban fisiologis, terutama pada pekerjaan repetitif yang menuntut perhatian berkelanjutan (Stroom et al., 2021; Mazloumi et al., 2014). Penelitian Rastegar et al. (2022) menunjukkan bahwa paparan suhu panas yang berlebihan berhubungan dengan peningkatan kesalahan kerja dan melambatnya waktu respon. Temuan

tersebut diperkuat oleh (Nasution 2017) yang menyatakan bahwa suhu dan kebisingan memiliki pengaruh signifikan terhadap proses kerja operator serta frekuensi denyut jantung, dengan kontribusi pengaruh suhu sebesar 59,032% dan kebisingan sebesar 33,33%. Selain itu, penelitian oleh (Marlius & Sholihat, 2022) juga menyatakan bahwa lingkungan kerja fisik berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja operator.

Selain faktor lingkungan fisik, aspek desain kerja berupa posisi kerja operator terhadap arah aliran *conveyor* juga memengaruhi besarnya beban kerja yang diterima. Perbedaan posisi kerja, seperti posisi menghadap dan menyamping terhadap arah aliran *conveyor*, berpotensi memengaruhi pola gerakan, koordinasi visual-motorik, serta tuntutan perhatian selama aktivitas pengemasan. Posisi kerja yang kurang selaras dengan sistem kerja berpotensi meningkatkan tuntutan biomekanik dan kognitif operator, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan beban kerja fisik dan mental (Teixeira et al., 2022; Longo et al., 2022).

Permasalahan riil juga terjadi pada proses pengemasan (*packing*) air mineral di PT X, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi dan distribusi air minum dalam kemasan. Proses *packing* dilakukan pada sistem *conveyor* yang beroperasi secara kontinu sebagai bagian dari rangkaian proses produksi. Area *packing* berlokasi berdekatan dengan mesin *conveyor*, mesin pengisian, dan mesin *sealer* yang beroperasi secara simultan, serta terhubung langsung dengan area distribusi tanpa adanya pembatas fisik. Kondisi ini menyebabkan operator menerima paparan kebisingan yang berasal dari kombinasi mesin produksi dan aktivitas distribusi. Selain itu, area kerja pengemasan belum dilengkapi sistem pengkondisian udara terkontrol dan hanya mengandalkan kipas angin sebagai ventilasi. Kepadatan mesin dan produk di dalam ruangan menyebabkan sirkulasi udara kurang optimal. Tidak adanya sekat antara ruang *packing* dan area distribusi juga berpotensi meningkatkan suhu lingkungan kerja.

Di sisi lain, terdapat perbedaan posisi kerja operator dalam proses *packing*. Operator *packing* air mineral dalam kemasan cup bekerja dengan posisi duduk menyamping terhadap arah aliran *conveyor*, sedangkan operator kemasan botol bekerja dengan posisi duduk menghadap langsung ke arah *conveyor*. Perbedaan posisi kerja ini menimbulkan variasi pola gerakan, tuntutan koordinasi visual-motorik, serta kebutuhan perhatian selama bekerja. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan perbedaan beban kerja fisik dan mental antar operator. Selain itu, pada kondisi tertentu aliran produk pada *conveyor* juga berpotensi mengalami penumpukan di area kerja operator ketika ritme pengambilan produk tidak seimbang dengan kecepatan aliran *conveyor*. Hal ini menunjukkan adanya tuntutan kerja yang cukup tinggi bagi operator untuk mempertahankan kecepatan dan ketelitian selama proses pengemasan berlangsung. Ilustrasi perbedaan posisi kerja operator serta kondisi aliran produk pada *conveyor* ditampilkan pada Gambar 1.1 sebagai gambaran kondisi aktual di area *packing*.



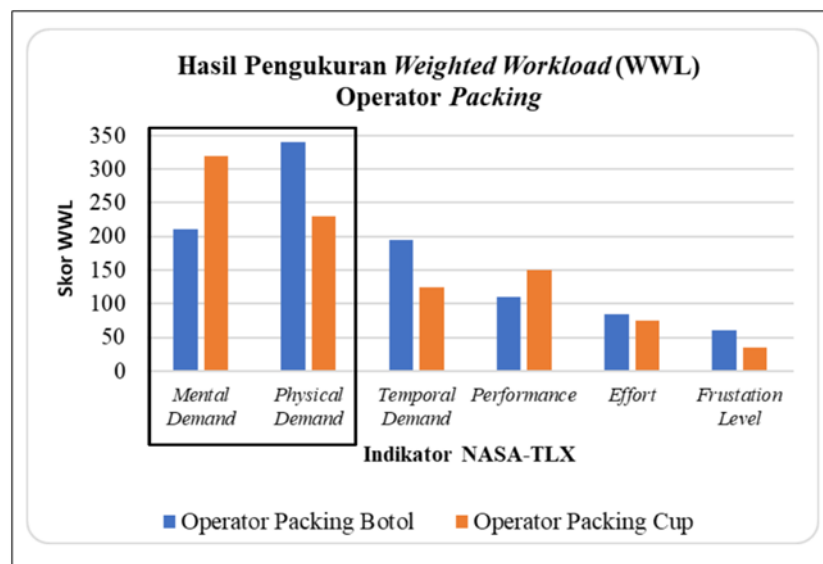
Gambar 1.1 Kondisi lingkungan dan stasiun kerja di PT X

(Sumber: Observasi di PT X)

Berdasarkan hasil pengukuran terhadap lingkungan kerja pada area *packing*, diperoleh data rata-rata tingkat kebisingan sebesar 87 dB dan suhu sebesar 31°C. Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. Kep.51/MEN/1999, nilai ambang batas (NAB) tertinggi kebisingan adalah 85 dB untuk durasi 8 jam kerja per hari. Sementara itu, berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor: 405/Menkes/SK/XI/2002, nilai ambang batas suhu ruangan industri berada pada

rentang 18°C hingga 30°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat kebisingan telah mencapai batas maksimum yang diperkenankan, sedangkan suhu lingkungan kerja melebihi batas yang direkomendasikan, sehingga berpotensi memengaruhi kondisi fisiologis operator.

Sebagai indikasi awal permasalahan, dilakukan observasi pendahuluan melalui pengukuran beban kerja menggunakan metode NASA-TLX serta wawancara terhadap empat operator pada bagian pengemasan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai rata-rata skor NASA-TLX sebesar 64,5 yang termasuk dalam kategori beban kerja tinggi. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 1.2, yang menunjukkan bahwa indikator dengan kontribusi tertinggi adalah *physical demand* dan *mental demand*, hal tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas pengemasan memberikan tekanan yang cukup besar baik secara fisik maupun mental.



Gambar 1.2 Grafik hasil data nilai indikator NASA-TLX

(Sumber: Observasi di PT X)

Temuan tersebut diperkuat oleh hasil wawancara, di mana operator menyatakan bahwa kebisingan serta suhu lingkungan kerja yang relatif tinggi seringkali mengganggu konsentrasi, mempercepat timbulnya kelelahan, dan menurunkan kenyamanan selama proses *packing* berlangsung. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi permasalahan ergonomi pada sistem kerja pengemasan yang perlu dianalisis lebih lanjut secara kuantitatif dan eksperimental.

Apabila kondisi kerja tersebut tidak dikaji dan dikendalikan secara ergonomis, akumulasi kelelahan fisik dan mental operator berpotensi meningkat dalam jangka panjang, yang dapat berdampak pada penurunan konsistensi performa kerja, meningkatnya risiko kesalahan, serta menurunnya keberlanjutan sistem produksi. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih meninjau faktor kebisingan, suhu, dan posisi kerja secara terpisah. Pendekatan yang mengintegrasikan ketiga faktor tersebut dalam satu rancangan eksperimen terkontrol dengan mempertimbangkan respon fisiologis operator *packing* secara simultan masih terbatas. Selain itu, kajian yang memodelkan interaksi antar faktor untuk menentukan kombinasi kondisi kerja yang optimal pada aktivitas pengemasan menggunakan *conveyor* belum banyak dilakukan.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pemodelan dan optimasi kombinasi kondisi kerja proses pengemasan menggunakan *conveyor* melalui pengendalian faktor kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja operator guna meminimalkan beban kerja fisik dan mental dengan menggunakan indikator fisiologis objektif berupa *Cardiovascular Load* (CVL) dan *Heart Rate Variability* (HRV). Pendekatan yang digunakan adalah *Design of Experiments* (DOE) dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) melalui *Central Composite Design* (CCD). Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan model matematis hubungan antara faktor kebisingan, suhu, dan posisi kerja terhadap respon beban kerja operator dalam bentuk model regresi orde dua, sehingga pengaruh masing-masing faktor serta interaksinya dapat dianalisis secara kuantitatif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kondisi kerja yang optimal sebagai dasar perancangan sistem kerja pengemasan yang ergonomis dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh dan interaksi kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja terhadap beban kerja fisik operator *packing* yang diukur menggunakan indikator *Cardiovascular Load* (CVL)?

2. Bagaimana pengaruh dan interaksi kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja terhadap beban kerja mental operator *packing* yang diukur menggunakan indikator *Heart Rate Variability* (HRV)?
3. Bagaimana rekomendasi kombinasi level faktor kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja yang optimal untuk meminimalkan beban kerja fisik dan mental operator *packing* berdasarkan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan yang ingin dicapai sebagai berikut.

1. Melakukan percobaan untuk menganalisis pengaruh dan interaksi kebisingan, suhu lingkungan kerja dan posisi kerja terhadap beban kerja fisik operator *packing* yang diukur menggunakan indikator *Cardiovascular Load* (CVL).
2. Melakukan percobaan untuk menganalisis pengaruh dan interaksi kebisingan, suhu lingkungan kerja dan posisi kerja terhadap beban kerja mental operator *packing* yang diukur menggunakan indikator *Heart Rate Variability* (HRV).
3. Menentukan kombinasi level faktor kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja yang optimal untuk meminimalkan beban kerja fisik dan mental operator *packing* menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM).

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh dan interaksi kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja terhadap beban kerja fisik operator *packing* berdasarkan pengukuran *Cardiovascular Load* (CVL).
2. Mengetahui pengaruh dan interaksi kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja terhadap beban kerja mental operator *packing* berdasarkan pengukuran *Heart Rate Variability* (HRV).
3. Adanya penelitian ini diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam penetapan kondisi kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja pada

proses *packing* berbasis *conveyor*, sehingga beban kerja fisik dan mental operator dapat dikendalikan secara lebih terukur.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Penelitian ini dilakukan melalui simulasi proses pengemasan air mineral *cup*

Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan proses pengemasan air mineral *cup* menggunakan *conveyor* di Laboratorium Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja (EPSK).
2. Penelitian ini tidak membahas analisis postur kerja secara biomekanik maupun risiko gangguan *musculoskeletal*, tetapi berfokus pada respon fisiologis dan beban kerja operator.
3. Penelitian ini tidak menganalisis aspek produktivitas, waktu kerja, maupun kualitas hasil *packing*, melainkan hanya berfokus pada respon fisiologis operator.
4. Partisipan pada penelitian ini dibatasi pada laki-laki untuk meminimalkan variasi fisiologis akibat perbedaan jenis kelamin yang dapat memengaruhi respon denyut jantung, %CVL, dan HRV selama eksperimen berlangsung.
5. Hasil penelitian difokuskan pada simulasi aktivitas *packing* yang merepresentasikan kondisi kerja di PT X dalam lingkungan laboratorium terkontrol. Rekomendasi parameter kondisi kerja yang diperoleh berlaku pada aktivitas *packing* dengan karakteristik operator dan kondisi lingkungan yang serupa. Penerapan pada lingkungan industri lain memerlukan penyesuaian dan validasi lebih lanjut.

1.6 Sistematika Penulisan

Tahapan dalam sistematika penulisan laporan penelitian ini terdiri dari lima bab yang saling berkaitan satu sama lain, yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang permasalahan penelitian yang berkaitan dengan beban kerja fisik dan mental operator *packing* pada sistem pengemasan berbasis

conveyor, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori dan penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar dalam menganalisis pengaruh kebisingan, suhu lingkungan kerja, dan posisi kerja terhadap beban kerja operator. Selain itu, juga membahas metode pengukuran beban kerja *Cardiovascular Load* (CVL) dan *Heart Rate Variability* (HRV), serta konsep *Design of Experiments* (DOE), *Response Surface Methodology* (RSM), dan *Central Composite Design* (CCD) yang digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan jenis dan desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat penelitian, penentuan variabel penelitian (faktor dan respon), rancangan eksperimen menggunakan DOE dengan pendekatan RSM dan CCD, prosedur pengumpulan serta pengolahan data, dan teknik analisis statistik yang digunakan untuk memperoleh model dan kondisi kerja yang optimal.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengolahan dan analisis data penelitian, meliputi pengaruh faktor utama, interaksi antar faktor, serta model respon beban kerja fisik dan mental operator yang diperoleh dari analisis RSM. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan hasil penelitian dengan teori dan penelitian terdahulu, serta interpretasi ergonomis terhadap kondisi kerja yang dihasilkan. Pada bab ini juga disajikan hasil optimasi berupa kombinasi parameter kondisi kerja yang optimal.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian. Kesimpulan disusun untuk menjawab tujuan penelitian yang telah dirumuskan, sedangkan saran ditujukan bagi pihak industri, pengelola sistem kerja, serta peneliti selanjutnya sebagai bahan pertimbangan dalam penerapan dan pengembangan penelitian selanjutnya.