BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tahap tinjauan pustaka dilakukan untuk mengkaji teori, konsep, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan pemborosan biaya produksi di PT XYZ. Referensi diperoleh melalui Google Scholar, Scopus, Mendeley, serta repositori Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemborosan biaya produksi umumnya dipengaruhi oleh ketidakseimbangan beban kerja, pembagian tugas yang tidak proporsional, sistem kerja yang belum terstandarisasi, serta penggunaan material yang kurang efisien. Proses pencarian tinjauan pustaka dilakukan berdasarkan beberapa kata kunci yang relevan dengan topik tugas akhir, seperti pemborosan, *cost analysis, cost reduction,* analisis beban kerja, pemerataan beban kerja, keseimbangan lini produksi, serta penyesuaian filter tahun publikasi artikel diterbitkan.

Proses produksi merupakan rangkaian kegiatan yang menggabungkan berbagai faktor produksi, seperti tenaga kerja, bahan baku, mesin, teknologi, dan biaya, dengan tujuan menciptakan produk yang memiliki nilai guna bagi konsumen, baik berupa barang maupun jasa (Arwini, 2021). Secara operasional, proses produksi tidak hanya berfokus pada penciptaan barang atau jasa, tetapi juga pada bagaimana kegiatan tersebut dapat dilakukan secara efisien. Apabila proses produksi tidak dikelola secara efektif, maka dapat muncul berbagai bentuk pemborosan (*waste*) yang menyebabkan penggunaan sumber daya melebihi kebutuhan serta tidak memberikan nilai tambah (*non-value added*) terhadap produk. Oleh karena itu, identifikasi dan pengendalian pemborosan menjadi salah satu upaya penting dalam meningkatkan efisiensi proses produksi.

Penelitian yang dilakukan oleh Sugiandhari et al. (2024) menerapkan metode *Value Engineering* pada pembangunan Gedung Kantor Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah untuk mengatasi pembengkakan biaya akibat penggunaan material yang kurang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergantian alternatif desain material mampu menghasilkan penghematan biaya sebesar 5,59% tanpa mengurangi fungsi bangunan. Senada dengan hal tersebut, Uğural (2023) juga menggunakan metode *Value Engineering* dalam menentukan material isolasi termal dinding yang optimal guna mencapai keseimbangan antara kualitas, biaya, dan waktu proyek. Hasil tiga alternatif yang dibandingkan berdasarkan

kriteria fungsional berbobot, material terpilih terbukti meningkatkan rasio manfaat terhadap biaya sebesar 137,7% dibandingkan alternatif lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Hanifah (2020) membahas permasalahan ketidakefisienan pengelolaan limbah jerigen hemodialisa di RS Islam Surabaya yang berdampak pada peningkatan biaya transportasi dan pemusnahan hingga 50%. Penelitian menggunakan metode *Cost Benefit Analysis* dan ditemukan bahwa penerapan sistem 3R *(Reduce, Reuse, Recycle)* mampu menekan biaya pengelolaan menjadi Rp32.159.233, jauh lebih rendah dibandingkan sistem lama sebesar Rp268.326.525. Senada dengan hal tersebut, Abdurrohman Baihaqi & Kurnia (2024) juga menerapkan metode *Cost Benefit Analysis* untuk menentukan material kolam bioflok paling efisien di UKM Hanan's Fish Farm, yang dilatarbelakangi oleh penggunaan material yang belum optimal serta biaya perawatan yang relatif tinggi. Perbandingan tiga alternatif material yaitu HDPE, PVC, dan PE menggunakan indikator NPV, BCR, *payback period*, dan biaya perawatan, mendapatkan hasil analisis yang menunjukkan bahwa material HDPE merupakan pilihan paling layak dengan nilai NPV tertinggi sebesar Rp83.493.466, BCR sebesar 32,55, *payback period* selama 2,3 bulan, serta penghematan biaya perawatan sebesar 35–75,6% dibandingkan alternatif lainnya.

Sugiono et al. (2024) meneliti pengembangan alat bantu *press* laminasi *core* semi otomatis sebagai upaya meningkatkan efisiensi proses produksi pada perusahaan manufaktur otomotif. Penelitian dilakukan pada proses laminasi core PSD Motor di PT X yang sebelumnya masih dilakukan oleh pihak eksternal perusahaan sehingga menyebabkan *cycle time* tinggi dan berdampak pada biaya operasional produksi. Penelitian menggunakan metode rancang bangun alat dengan tahapan identifikasi masalah, perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara, studi literatur, serta pengujian langsung terhadap alat yang dirancang. Analisis penelitian difokuskan pada kekuatan material, kualitas hasil laminasi, dan perbandingan *cycle time* menggunakan metode *Paired T-Test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi alat bantu press laminasi *core* semi otomatis berhasil menurunkan rata-rata *cycle time* proses laminasi dari 17,642 detik menjadi 10,682 detik atau mengalami peningkatan efisiensi sebesar 39,45%. Hasil lainnya menunjukkan bahwa alat mampu mencapai kapasitas produksi hingga 2696 *core* per hari sehingga berpotensi meningkatkan produktivitas dan menurunkan biaya proses produksi perusahaan.

Penelitian yang dilakukan oleh Reddy et al. (2024) terkait pemilihan material bangunan yang optimal dengan menggunakan teknik *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), yaitu *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (Fuzzy AHP). Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kompleksitas pengambilan keputusan yang disebabkan oleh banyaknya alternatif material serta adanya ketidakpastian dalam data penilaian. Penelitian ini menunjukkan bahwa kriteria penilaian diklasifikasikan ke dalam tiga tingkat (level), di mana faktor teknis memiliki bobot tertinggi pada Level 3. Proses penilaian dilakukan melalui perbandingan berpasangan (pairwise comparison) antar kriteria dan alternatif. Studi kasus diterapkan pada proyek perumahan di Hanamkonda, India, untuk menentukan peringkat material yang paling sesuai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Portland Pozzolana Cement (PPC), pasir sungai, bata tanah liat bakar, UPVC (untuk pintu, jendela, dan pipa), serta ubin marmer merupakan material yang paling optimal, karena dinilai paling sesuai dengan preferensi klien dan kondisi lokasi proyek.

Huang et al. (2024) membandingkan *life cycle assessment* tiga jenis kemasan distribusi makanan segar, yaitu EPS (sekali pakai), VIP dari r-PET, dan EPE (keduanya *reusable*), dan menemukan bahwa meskipun kemasan *reusable* memiliki dampak lingkungan lebih tinggi pada awal penggunaan, dampaknya menjadi lebih rendah setelah 7 siklus untuk VIP dan 12 siklus untuk EPE, bahkan pada 300 siklus mampu menurunkan dampak lingkungan masing-masing sebesar 87% dan 74% dibandingkan EPS. Penelitian lain oleh Si Gao et al. (2025)mengkaji aspek ekonomi kemasan *reusable plastic crate* (RPC) menggunakan metode *Life Cycle Costing* (LCC), di mana hasil analisis menunjukkan bahwa mode pembelian RPC memiliki biaya siklus hidup terendah dibandingkan mode sewa maupun kemasan kardus sekali pakai, sehingga penggunaan kemasan *reusable* dinilai memberikan keunggulan lingkungan maupun ekonomi yang signifikan dalam jangka panjang.

Kim et al. (2023) melakukan perbandingan *life cycle assessment* terhadap tiga jenis kemasan distribusi makanan segar, yaitu kemasan sekali pakai berbahan *expanded polystyrene* (EPS) dan dua jenis kemasan *reusable*, yaitu kotak berbahan *vacuum insulation panel* (VIP) dari *recycled polyethylene terephthalate* (r-PET) dan kotak berbahan *expanded polyethylene* (EPE). Studi ini menganalisis dampak lingkungan dari tahap produksi bahan baku, transportasi, penggunaan ulang, hingga pembuangan dalam 18 kategori dampak. Hasil analisis

menunjukkan bahwa untuk satu kali penggunaan, kemasan *reusable* memiliki dampak lingkungan lebih tinggi dibandingkan EPS. Terlepas dari hal tersebut, seiring bertambahnya jumlah penggunaan ulang, dampak lingkungan kemasan *reusable* menjadi lebih rendah, yaitu setara dengan EPS setelah 7 kali penggunaan untuk VIP dan 12 kali untuk EPE. Pada 300 siklus penggunaan, kemasan VIP dan EPE menunjukkan penurunan dampak lingkungan masing-masing sebesar 87% dan 74% dibandingkan EPS. Temuan ini mendukung kesimpulan bahwa penggantian kemasan sekali pakai dengan kemasan *reusable* secara signifikan mengurangi konsumsi material plastik dan meningkatkan efisiensi sumber daya dalam jangka panjang.

Bressan et al. (2023) mengembangkan metode *tree-based heuristic* untuk menyelesaikan permasalahan *one-dimensional cutting stock problem* (1D-CSP) dengan mempertimbangkan pemanfaatan sisa potongan material. Proses pemotongan menunjukkan sisa yang dihasilkan dapat berupa *leftovers* yang masih dapat digunakan kembali untuk memenuhi permintaan berikutnya, atau *losses* yang langsung terbuang sebagai *trim loss*. Guna mengatasi hal tersebut, dikembangkan algoritma *OptimizationTREE* yang bertujuan meminimalkan jumlah batang yang dibutuhkan sekaligus memaksimalkan sisa yang dapat dimanfaatkan kembali dengan mengelompokkan kerugian sisa pemotongan. Hasil simulasi yang dibandingkan dengan algoritma *RGRL1* menunjukkan bahwa metode yang diusulkan berhasil mengurangi waktu pemrosesan dan jumlah material yang digunakan, sekaligus menghasilkan sisa potongan yang lebih besar untuk dimanfaatkan pada permintaan berikutnya, sehingga berkontribusi langsung pada pengurangan *trim loss*, penggunaan bahan baku, dan biaya produksi dalam proses industri.

Jariyavajee et al. (2025) mengkaji permasalahan *cutting stock problem* (CSP) pada industri pemotongan baja dengan mengembangkan model matematika yang mempertimbangkan spesifikasi mesin dan batasan kondisi pemotongan sebagai kendala. Permasalahan utama yang diangkat adalah inefisiensi dalam perencanaan pola pemotongan yang mengakibatkan tingginya *trim loss* dan sisa material yang terbuang, sehingga berdampak langsung pada peningkatan biaya produksi. Proses penyelesaian masalah dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu representasi masalah berdasarkan batang baja dan pesanan pelanggan, reduksi ruang solusi dengan mengeliminasi solusi yang tidak optimal, serta pencarian solusi optimal menggunakan algoritma *Adaptive Pathfinding*

Optimization yang menggabungkan metode *Wandering Ant Colony Optimization* dengan pendekatan *brute force*. Algoritma ini diuji pada pesanan nyata di sebuah produsen baja dan menunjukkan hasil yang signifikan, yaitu penghematan biaya rata-rata USD 3,95 per ton atau setara 52,18% dari kondisi awal, sekaligus mereduksi waktu perencanaan pemotongan dari 6 jam menjadi kurang dari 1 jam. Studi ini juga menegaskan bahwa algoritma yang dikembangkan dapat diterapkan pada permasalahan *cutting stock* lainnya, termasuk pemotongan roll kertas, batang logam, dan lembaran kayu, sehingga relevan sebagai referensi dalam upaya optimasi pola pemotongan material laminasi untuk meminimalkan *trim loss* pada proses produksi.

Sari et al. (2022) melakukan analisis beban kerja menggunakan metode *Full Time Equivalent* (FTE) pada lini produksi *spare part* berlapis di PT X yang mengalami keterlambatan produksi akibat kekurangan tenaga kerja dan distribusi beban yang tidak merata. Pengukuran dilakukan melalui *stopwatch time study* pada setiap elemen kerja, kemudian dikonversikan ke nilai FTE untuk menentukan kondisi masing-masing operator. Penelitian tersebut menemukan bahwa dari 10 operator yang ada, 3 berada dalam kondisi *overload*, 5 *normal*, dan 2 *underload*. Usulan perbaikan berupa penambahan 2 operator dan mutasi horizontal menghasilkan kondisi akhir dengan 8 operator normal dan 4 operator *underload,* yang menunjukkan pemerataan beban yang lebih proporsional tanpa menambah biaya fasilitas.

Kurniawan et al. (2022) menerapkan metode FTE untuk menganalisis kebutuhan tenaga kerja pada unit penyelesaian hukum dan unit-unit pendukungnya di PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari 8 unit yang dianalisis, 6 unit berada dalam kondisi *overload*, sementara 2 unit lainnya sudah dalam kondisi normal. Unit-unit yang *overload* direkomendasikan untuk dilakukan penambahan tenaga kerja mulai dari 2 hingga 7 orang per unit, bergantung pada besarnya kesenjangan antara beban aktual dan kapasitas yang tersedia. Penelitian ini menunjukkan bahwa FTE dapat digunakan secara praktis dalam berbagai konteks organisasi untuk mengidentifikasi ketimpangan beban kerja secara kuantitatif.

Azizy et al. (2024) mengkombinasikan metode FTE dan *Rating Scale Mental Effort* (RSME) untuk menganalisis beban kerja fisik dan mental pada divisi produksi CV Aurexell. Metode FTE digunakan untuk mengukur beban kerja fisik melalui

perbandingan waktu kerja aktual dengan waktu kerja tersedia, sementara RSME digunakan untuk dimensi mental. Hasil analisis FTE menunjukkan seluruh karyawan berada dalam kategori beban kerja normal, yang mengindikasikan jumlah tenaga kerja yang sudah sesuai. Penelitian ini memberikan kontribusi metodologis dengan menunjukkan bahwa FTE dapat diintegrasikan dengan pendekatan lain untuk menghasilkan gambaran beban kerja yang lebih komprehensif.

Rasit dan Hidayati (2025) menganalisis beban kerja di Departemen Produksi PT KLM menggunakan metode FTE. Hasil analisis pada delapan posisi yang dianalisis, sebagian besar berada dalam kategori *fit*, namun operator *welding* mengalami *overload* (FTE 1,3125) yang mengindikasikan kekurangan tenaga kerja, sementara operator *cutting* dan staf HSE berada dalam kondisi *underload*. Penelitian ini menunjukkan bahwa FTE mampu mengidentifikasi secara spesifik posisi yang memiliki ketimpangan beban kerja, sehingga intervensi perbaikan dapat difokuskan pada area yang benar-benar membutuhkan perubahan tanpa mengganggu posisi yang sudah optimal.

Pratama et al. (2025) menganalisis beban kerja delapan pekerja produksi di PT Mulia Jaya Mandiri Balikpapan menggunakan metode FTE berbasis *stopwatch time study*. Hasil penelitian menemukan bahwa dua pekerja mengalami *overload,* yakni bagian *purchasing* (FTE 1,29) dan operator pengguliran *casing* (FTE 1,39). Sisi lain, enam pekerja lainnya berada dalam kondisi *underload*. Kondisi ini mengindikasikan distribusi beban kerja yang tidak proporsional, di mana kekurangan sumber daya pada beberapa posisi kritis berdampingan dengan kelebihan kapasitas di posisi lainnya. Penelitian ini merekomendasikan penambahan tenaga kerja pada divisi yang *overload* serta penyusunan ulang deskripsi pekerjaan sebagai langkah menuju distribusi beban yang lebih seimbang.

Lestari et al. (2024) menerapkan metode FTE pada lini produksi komponen *Link Engine Hanger* untuk menganalisis ketidakmerataan beban kerja yang ditandai dengan tingginya variasi nilai FTE antar operator dan besarnya *idle time* pada beberapa stasiun. Redistribusi elemen kerja berdasarkan hasil analisis FTE berhasil meningkatkan efisiensi lini dari 76% menjadi 88%, sekaligus menurunkan kebutuhan operator dari tujuh menjadi enam orang tanpa pengurangan output. Penelitian ini menegaskan bahwa FTE tidak hanya berguna untuk mendiagnosis

ketidakseimbangan beban kerja pada level individu, tetapi juga dapat menjadi dasar pengurangan jumlah tenaga kerja secara terukur dan rasional.

Arifin et al. (2025) menggunakan metode FTE pada lini produksi komponen ragum di laboratorium politeknik. Hasil analisis pada empat operator yang ada menunjukkan bahwa tiga berada dalam kondisi *overload* sementara satu dalam kondisi *underload*, yang memunculkan *waste* berupa *waiting time* dan peningkatan *defect.* Berdasarkan analisis FTE, penelitian ini merekomendasikan penambahan jumlah operator dari empat menjadi sebelas orang untuk mencapai distribusi beban yang *fit* dan seimbang. Penelitian ini memperkuat relevansi FTE dalam mengidentifikasi kesenjangan beban kerja sebagai landasan perancangan ulang sistem kerja.

Penelitian lain yang terkait dengan keseimbangan lini produksi memberikan perspektif yang saling melengkapi dengan pendekatan FTE. Ghane (2021) melakukan perbaikan efisiensi pada lini perakitan kompresor udara di Atlas Copco India melalui kombinasi *time study* dan *line balancing*. Kondisi awal menunjukkan efisiensi hanya 69,69% akibat banyaknya aktivitas *non value added* dan pembagian tugas yang tidak merata. Redistribusi aktivitas dan penyederhanaan stasiun menyebabkan efisiensi meningkat 33% dengan pengurangan *man hours per unit* sebesar 11,5%.

Teshome et al. (2024) menerapkan *line balancing* yang dikombinasikan dengan simulasi Arena pada lini perakitan garmen industri Abay. Data waktu siklus dikumpulkan melalui *stopwatch* dan observasi langsung, kemudian diproses menjadi waktu baku sebagai dasar analisis keseimbangan lini. Hasilnya, efisiensi lini meningkat signifikan dan ketimpangan beban kerja antar stasiun berkurang.

Ansyah dan Kurniawati (2023) menerapkan metode *Ranked Positional Weight* (RPW) pada lini produksi *S Seal Packing* dengan efisiensi awal 59,64%. Setelah penerapan RPW berbasis data *time study*, efisiensi meningkat menjadi 68,17% dan *idle time* berkurang hampir 1.500 detik. Gunawan dan Wirawati (2023) menggunakan metode *Largest Candidate Rule* (LCR) pada lini perakitan alas kaki dengan efisiensi awal 57,12%, yang berhasil ditingkatkan menjadi 61,14% dengan penurunan waktu tunda sebesar 4,02%. Aji dan Pudji (2024) membandingkan metode RPW dengan *region approach* pada lini produksi paku dan menemukan bahwa *region approach* menghasilkan efisiensi lebih tinggi (68,17%) dengan *idle time* paling rendah. Ketiga penelitian ini secara bersama menunjukkan bahwa

pemilihan metode heuristik yang tepat, didukung data waktu yang akurat, merupakan kunci dalam perbaikan keseimbangan lini produksi manual.

Didden et al. (2023) mengangkat kompleksitas *line balancing* pada *mixed model assembly line* di VDL Nedcar dengan mengembangkan sistem berbasis *Genetic Algorithm* (GA) dan kendala horizontal *balancing,* yang berhasil menurunkan *smoothness index* hingga tiga kali lipat. El Machouti et al. (2024) dalam tinjauan sistematis mereka menemukan dominasi penggunaan metaheuristik, khususnya GA, dalam menyelesaikan permasalahan SALBP-E, serta mengidentifikasi kesenjangan penelitian pada konfigurasi lini yang lebih kompleks. Hartanti dan Permata (2020) menunjukkan bahwa penetapan waktu baku melalui *time study* dengan Westinghouse *rating* dan *allowance* ILO merupakan langkah fundamental sebelum analisis keseimbangan lini dilakukan.

Penelitian-penelitian yang telah diuraikan menyimpulkan bahwa analisis beban kerja berbasis FTE dan penerapan *line balancing* merupakan dua pendekatan yang saling melengkapi. FTE berperan dalam mengidentifikasi kondisi *overload* dan *underload* pada level operator secara individual berdasarkan perbandingan waktu kerja aktual dengan kapasitas yang tersedia, sedangkan *line balancing* berfokus pada redistribusi elemen kerja di tingkat sistem lini untuk meminimalkan *idle time* dan meningkatkan utilisasi sumber daya. Penelitian ini memiliki relevansi kuat dengan kajian-kajian tersebut, khususnya dalam mengkaji efisiensi proses produksi melalui pendekatan kuantitatif berbasis waktu kerja aktual pada lini perakitan manual yang melibatkan banyak operator dengan elemen kerja yang beragam.

Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka Permasalahan Material Pelindung dan Pemerataan Beban Kerja

No	Kajian	Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil penelitian
1	Material	Sugiandhari et al. (2024)	Pembangunan Gedung Kantor Kejaksaan Tinggi Kalimantan Tengah	Pembengkakan biaya akibat desain material yang kurang optimal	*Value Engineering*	Alternatif desain baru menghemat biaya sebesar 5,59%
2	Material	Uğural (2023)	Material isolasi termal dinding bangunan.	Sulitnya menyeimbangkan kualitas, biaya, dan waktu proyek konstruksi.	*Value Engineering*	Material terpilih meningkatkan rasio manfaat–biaya sebesar 137,7%.
3	Material	Hanifah (2020)	Pengelolaan limbah jerigen hemodialisa di rumah sakit.	Biaya transportasi dan pemusnahan limbah tinggi.	*Cost Benefit Analysis*	Sistem 3R lebih efisien dengan biaya Rp32.159.233 dibandingkan sistem lama Rp268.326.525.
4	Material	Abdurrohman Baihaqi & Kurnia (2024)	Material kolam bioflok UKM Hanan's Fish Farm.	Nilai aset rendah dan biaya perawatan tinggi.	*Cost Benefit Analysis*	HDPE paling optimal (NPV Rp83,49 juta; BCR 32,55).
5	Material	Sugiono dkk. (2024)	Rancang bangun alat bantu press	Proses laminasi core masih dilakukan oleh pihak eksternal perusahaan	Rancang bangun alat dan analisis *Paired T-Test*	Berhasil menurunkan *cycle time* dari 17,642 detik menjadi 10,682 detik serta mencapai kapasitas produksi 2696 core/hari.
6	Material	Reddy et al. (2024)	Pemilihan material bangunan proyek perumahan.	Kompleksitas dan ketidakpastian penilaian material	Fuzzy AHP	Material optimal adalah PPC, pasir sungai, bata tanah liat bakar, UPVC, dan ubin marmer.

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Kajian	Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil penelitian
7	Material	Huang et al. (2024)	Sistem kemasan *reusable* di sektor	Kurangnya kajian komprehensif mengenai analisis biaya siklus hidup kemasan *reusable*	*Life Cycle Cost Analysis*	Kemasan *reusable* menghasilkan penghematan biaya jangka panjang yang signifikan
8	Material	Gao et al. (2025)	Kemasan *reusable plastic crate* vs kemasan sekali pakai pada distribusi buah dan sayuran	Kurangnya kajian ekonomi komprehensif terhadap sistem kemasan *reusable* yang mempertimbangkan seluruh komponen biaya siklus hidupnya	*Life Cycle Costing*	Mode pembelian RPC memiliki biaya siklus hidup terendah dibandingkan kemasan sekali pakai
9	Material	Kim et al. (2023)	Kemasan distribusi makanan segar	Tingginya dampak lingkungan dan biaya akibat penggunaan kemasan *single-use* EPS	*Life Cycle Assessment*	Kemasan *reusable* VIP dan EPE menurunkan dampak lingkungan hingga 87% dan 74% dibandingkan EPS
10	Material	Bressan et al. (2023)	*One-dimensional cutting stock problem*	Tingginya pemborosan material akibat proses pemotongan yang menghasilkan sisa	*Tree-based heuristic*	Mampu mengurangi waktu proses, penggunaan material, dan biaya produksi.
11	Material	Jariyavajee et al. (2025)	*Cutting stock problem* pada industri pemotongan baja	Tingginya *trim loss* akibat pemotongan yang belum mempertimbangkan spesifikasi mesin dan batasan pemotongan.	Pemodelan matematika dan *Adaptive Pathfinding Optimization*	Penghematan biaya rata-rata 52,18% dari *baseline*, waktu perencanaan berkurang dari 6 jam menjadi kurang dari 1 jam

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Kajian	Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil Penelitian
12	Beban kerja	Sari et al. (2022)	Lini produksi *spare part* berlapis (*coated spare parts*) PT X, sektor otomotif	Keterlambatan produksi akibat kekurangan tenaga kerja dan distribusi beban kerja tidak merata	*Full Time Equivalent* (FTE) berbasis *stopwatch time study*.	Dari 10 operator: 3 *overload*, 5 normal, 2 *underload*. Usulan penambahan 2 operator dan mutasi horizontal menghasilkan 8 operator normal dan 4 *underload*
13	Beban kerja	Kurniawan et al. (2022)	Unit penyelesaian hukum dan unit pendukung PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk.	Ketidakeimbangan beban kerja pada 8 unit; 6 unit *overload* dengan FTE melebihi batas normal.	*Full Time Equivalent* (FTE)	6 unit *overload* membutuhkan penambahan 2-7 orang; 2 unit normal tidak memerlukan penambahan tenaga kerja
14	Beban kerja	Azizy et al. (2024)	Divisi produksi CV Aurexell	Ketidakseimbangan beban kerja fisik dan mental operator di lini produksi	FTE untuk beban kerja fisik dan *Rating Scale Mental Effort* (RSME) untuk beban kerja mental	Seluruh karyawan berada dalam kategori beban kerja fisik normal; operator 7 dan 9 memiliki beban kerja mental kategori *great effort*
15	Beban kerja	Rasit & Hidayati (2025)	Departemen Produksi PT KLM	Ketidakseimbangan beban kerja aktual dengan kapasitas tenaga kerja yang tersedia	*Full Time Equivalent* (FTE)	Redistribusi tugas berhasil menghasilkan distribusi beban kerja yang lebih proporsional dan efisien
16	Beban kerja	Pratama et al. (2025)	Delapan pekerja produksi PT Mulia Jaya Mandiri Balikpapan	*Overload* pada posisi tertentu disertai *underload* pada posisi lainnya; tingginya lembur	*Full Time Equivalent* (FTE) berbasis *stopwatch time study*.	2 pekerja *overload* (*purchasing* FTE 1,29; operator pengguliran *casing* FTE 1,39); 6 pekerja *underload*. Rekomendasi: penambahan SDM dan *redesign job description*

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Kajian	Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil Penelitian
17	Beban kerja	Lestari et al. (2024)	Lini produksi komponen *Link Engine Hanger*	Tingginya variasi nilai FTE antar operator dan besarnya *idle time* pada beberapa stasiun	*Full Time Equivalent* (FTE)	Efisiensi lini meningkat dari 76% ke 88%; operator berkurang dari 7 menjadi 6 tanpa penurunan output.
18	Beban kerja	Arifin et al. (2025)	Lini produksi komponen ragum laboratorium politeknik	Tiga operator *overload* dan satu *underload*; menyebabkan *waste waiting* dan peningkatan *defect*	*Full Time Equivalent* (FTE)	Operator optimal meningkat dari 4 menjadi 11 orang; beban kerja menjadi *fit* dan seimbang.
19	Beban kerja	Ghane (2021)	Lini perakitan kompresor udara Atlas Copco India	Efisiensi awal rendah (69,69%); banyak aktivitas *non value added* dan pembagian tugas tidak seimbang	*Time Study* dan *Line Balancing* dengan redistribusi aktivitas dan penyederhanaan stasiun	Efisiensi meningkat 33%; *man hours* per unit turun 11,5%; *bottleneck* berkurang signifikan
20	Beban kerja	Teshome et al. (2024)	Lini perakitan garmen industri Abay	Ketidakseimbangan beban kerja menyebabkan *bottleneck*, *idle time* berlebih, dan gap antara target dan output aktual	*Time Study*, *Line Balancing*, dan simulasi Arena	Efisiensi lini meningkat signifikan; ketimpangan beban kerja antar stasiun berkurang
21	Beban kerja	Ansyah & Kurniawati (2023)	Lini produksi S Seal Packing	Ketidakseimbangan antar stasiun; efisiensi awal hanya 59,64%	*Ranked Positional Weight* (RPW) dan *Time Study*	Efisiensi meningkat menjadi 68,17%; *idle time* berkurang hampir 1.500 detik
22	Beban kerja	Gunawan & Wirawati (2023)	Lini perakitan alas kaki	Efisiensi awal rendah (57,12%); stasiun *assembling* padat dan tidak seimbang	*Time Study* dan *Line Balancing* metode *Largest Candidate Rule* (LCR)	Efisiensi naik menjadi 61,14%; waktu tunda turun 4,02%; output per jam meningkat

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Kajian	Peneliti	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode	Hasil Penelitian
23	Beban kerja	Aji & Pudji (2024)	Lini produksi paku	*Bottleneck* di polishing; efisiensi awal hanya 54,54%	Perbandingan RPW dan *Region Approach*	*Region Approach* terbaik: efisiensi 68,17%, *idle time* paling rendah, penurunan jumlah stasiun
24	Beban kerja	Didden et al. (2023)	Lini perakitan otomotif VDL Nedcar (*mixed model*)	Ketidakseimbangan kompleks akibat variasi model produk dan banyaknya batasan penugasan	*Genetic Algorithm* (GA) dengan kendala horizontal *balancing*	*Smoothness index* turun hingga 3×; *idle time* berkurang; efisiensi meningkat signifikan
25	Beban kerja	El Machouti et al. (2024)	SALBP E (*Systematic Literature Review*)	Minimnya riset memaksimalkan efisiensi lini pada konfigurasi lini kompleks	Metaheuristik, terutama *Genetic Algorithm*	Dominasi GA pada 13 studi SALBP E; direkomendasikan riset pada U line dan *mixed model*
26	Beban kerja	Hartanti & Permata (2020)	Lini perakitan manual produk plastik	Tidak ada waktu standar; menyebabkan *bottleneck* dan penurunan produktivitas	*Time Study* dengan Westinghouse *rating* dan *allowance* ILO	Waktu standar ditetapkan 646,05 detik; digunakan sebagai dasar pemerataan tugas dan identifikasi hambatan

2.2. Dasar Teori

Dasar teori pada tugas akhir ini disusun berdasarkan kajian ilmu yang relevan dengan dua permasalahan utama yang dianalisis, yaitu pemborosan biaya tenaga kerja dan pemborosan biaya material pelindung. Kajian teori yang digunakan menjadi landasan dalam menganalisis dan merancang solusi perbaikan yang tepat, berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan.

2.2.1. Pemborosan

Pemborosan (*waste*) merupakan segala bentuk aktivitas yang menggunakan sumber daya, seperti tenaga kerja, material, waktu, maupun biaya, tetapi tidak memberikan nilai tambah (*non-value added*) terhadap produk atau jasa yang dihasilkan. Keberadaan pemborosan menyebabkan proses produksi menjadi kurang efisien karena perusahaan mengeluarkan sumber daya lebih besar tanpa meningkatkan nilai yang diterima oleh pelanggan. Konsep *Lean Manufacturing*, pemborosan menjadi salah satu penyebab utama rendahnya efisiensi proses produksi, sehingga perusahaan perlu mengidentifikasi dan menghilangkan aktivitas yang tidak bernilai tambah agar proses produksi dapat berlangsung secara lebih efektif dan efisien. Upaya pengurangan pemborosan tidak hanya berdampak pada peningkatan produktivitas, tetapi juga mampu menekan biaya produksi, mempercepat waktu proses, serta meningkatkan kualitas produk.

Menurut Rosyidah dan Ismariani (2022), *Lean Manufacturing* merupakan pendekatan sistematis yang berfokus pada identifikasi dan eliminasi pemborosan melalui perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*). Pendekatan ini bertujuan menciptakan aliran proses yang lebih efisien dengan memaksimalkan aktivitas yang memberikan nilai tambah dan meminimalkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Dengan demikian, penerapan *Lean Manufacturing* dapat membantu perusahaan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mengurangi pemborosan biaya dalam proses produksi.

2.2.2. *Concept of Cost and Cost Efficiency*

Cost Efficiency merupakan salah satu tujuan utama dalam manajemen operasi dan akuntasi biaya. Menurut Horngren et al. (2012), *cost* merupakan pengorbanan sumber daya ekonomi yang diukur dalam satuan uang, yang dipakai untuk memperoleh barang ataupun jasa yang diharapkan memberikan manfaat di masa depan. Biaya dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis, yaitu biaya langsung

dan biaya tidak langsung, serta biaya tetap dan variabel, tergantung pada hubungannya dengan objek biaya tertentu. Pemahaman terhadap struktur dan perilaku biaya sangat penting dalam mengidentifikasi area yang berpotensi menimbulkan pemborosan serta menentukan langkah penghematan yang tepat.

Horngren et al. Menyebutkan bahwa *cost efficiency* dapat dicapai Ketika suatu organisasi mampu menghasilkan output maksimum dengan *cost* minimum tanpa mengurangi kualitas produk. Mencapai *cost efficiency* dapat dilakukan dengan cara menyeimbangkan hubungan antara sumber daya yang digunakan (*input)* dan *output* yang dihasilkan, yakni ketika biaya aktual berada pada ataupun dibawah standar biaya yang telah ditetapkan. Operasional konteks industri manufaktur menunjukkan bahwa *cost efficiency* dapat dicapai melalui evaluasi material, metode kerja dan sistem lainnya, agar dapat mencapai keseimbangan antara fungsi dan biaya yang dikeluarkan.

2.2.3. *Cost Reduction*

Menurut Drury (2013), *cost reduction* merupakan kegiatan berkelanjutan yang bertujuan untuk menurunkan biaya tanpa mengurangi kualitas, efisiensi kerja, maupun standar produk. *Cost reduction* berfokus mengidentifikasi peluang penghematan yang bersifat permanen melalui analisis menyeluruh terhadap aktivitas produksi dan operasional. *Cost reduction* bukan sekedar pemangkaasn biaya secara langsung, melainkan proses strategis untuk memastikan sumber data digunakan secara optimal guna mencapai hasil yang sama atau lebih baik dengan biaya yang lebih rendah.

Konsep yang sama dengan pandangan tersebut, Drury (2013) menjelaskan bahwa pengurangan biaya merupakan kerangka kerja sistematis yang dirancang untuk mengidentifikasi dan menghilangkan biaya yang tidak perlu dalam proses produksi dan operasional, dengan tetap mempertahankan atau bahkan meningkatkan kualitas. Penerapan *cost reduction* perlu difokuskan pada lima area utama, yakni tenaga kerja, material, perbaikan proses, desain produk atau kemasan, serta biaya overhead.

2.2.4. *Value Analysis*

Menurut Miles (1972), *Value Analysis* (VA) merupakan suatu pendekatan sistematis yang digunakan untuk meningkatkan nilai suatu produk, proses, atau layanan dengan menganalisis hubungan antara fungsi yang diberikan dan biaya

yang dikeluarkan untuk memenuhi fungsi tersebut. Pendekatan ini menunjukkan setiap elemen dievaluasi berdasarkan seberapa baik elemen tersebut menjalankan fungsinya serta apakah biaya yang dikeluarkan sebanding terhadap manfaat atau fungsi yang dihasilkan. VA membantu mengidentifikasi elemen-elemen yang menambah biaya tetapi tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap fungsi, sehingga dapat dijadikan target untuk dilakukannya perbaikan.

VA melakukan penilaian nilai melalui analisis fungsi, yaitu pendekatan yang mengutamakan “apa yang harus dilakukan” dibandingkan “bagaimana bentuknya”. Miles menegaskan bahwa fungsi terdiri dari fungsi dasar, yaitu fungsi utama yang harus dipenuhi oleh produk atau proses, dan fungsi tambahan, yaitu fungsi pendukung yang tidak bersifat krusial. Pemahaman terkait dengan kedua jenis fungsi ini menunjukkan bahwa alternatif yang mampu memberikan fungsi yang sama namun dengan biaya yang lebih rendah dapat dicari, tanpa mengurangi kualitas maupun performa.

Proses VA dimulai dengan tahap pengumpulan informasi mengenai produk atau proses yang dianalisis, termasuk biaya, material, spesifikasi, serta tujuan fungsionalnya. Tahap berikutnya adalah analisis fungsi yang dilakukan melalui perumusan fungsi dalam bentuk kata kerja ataupun kata benda untuk memperjelas tujuan utamanya. Tahap selanjutnya adalah pada fungsi terdefinisi dilakukan tahap kreatif untuk menghasilkan berbagai alternatif solusi yang dapat memenuhi fungsi dengan cara yang lebih efisien. Alternatif tersebut kemudian dievaluasi berdasarkan kelayakan teknis, dampaknya terhadap biaya, serta konsekuensinya terhadap mutu dan performa. Hasil evaluasi ini menjadi dasar pemilihan rekomendasi terbaik yang mampu meningkatkan nilai secara keseluruhan. Melalui proses tersebut, VA bertujuan untuk menghilangkan biaya yang tidak perlu, mengoptimalkan penggunaan material dan metode, serta meningkatkan efisiensi produk maupun proses tanpa mengorbankan fungsinya.

2.2.5. *Life Cycle Costing* (LCC)

Menurut Woodward (1997), *Life Cycle Costing* (LCC) merupakan metode analisis biaya yang digunakan untuk mengevaluasi total biaya suatu produk, aset, atau sistem selama seluruh masa pakainya. Pendekatan ini tidak hanya mempertimbangkan biaya awal, tetapi juga seluruh biaya yang timbul sejak tahap perencanaan, pengadaan, operasi, pemeliharaan, hingga tahap akhir seperti penggantian atau pembuangan. Setiap komponen biaya dianalisis berdasarkan

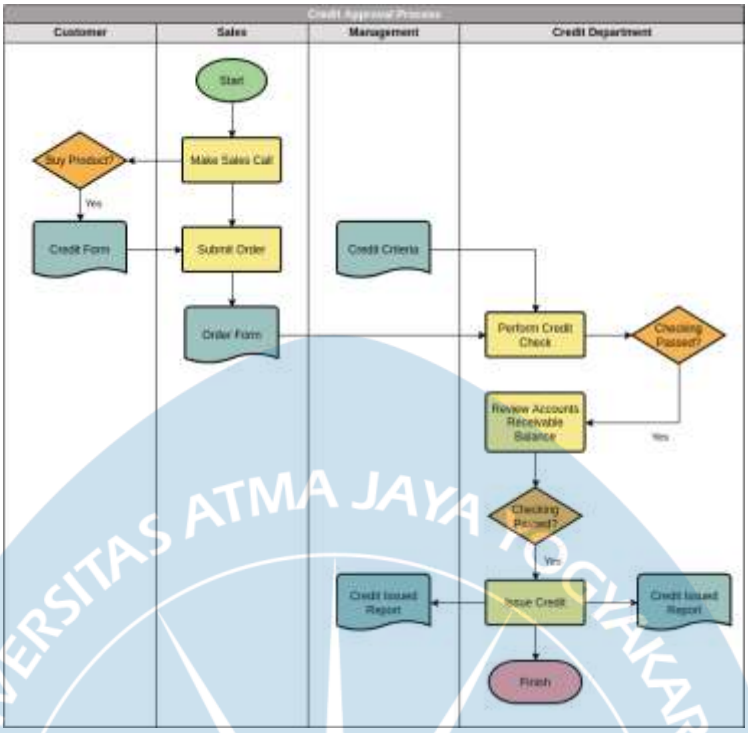
kontribusinya terhadap keseluruhan siklus hidup sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai total biaya yang dibutuhkan selama umur penggunaan suatu produk atau sistem. Biaya yang diperhitungkan meliputi biaya investasi awal, biaya operasional, biaya pemeliharaan, biaya perbaikan, *downtime*, konsumsi energi, hingga biaya pada akhir masa pakai, seperti pembongkaran atau daur ulang.

Proses penerapan LCC diawali dengan menetapkan tujuan analisis serta menentukan batasan siklus hidup yang akan dievaluasi. Seluruh komponen biaya yang muncul selama masa pakai kemudian diidentifikasi dan diestimasi nilainya, serta dapat disesuaikan dengan konsep nilai waktu uang (*discounting*) apabila analisis dilakukan untuk investasi jangka panjang. Hasil perhitungan digunakan untuk membandingkan alternatif berdasarkan total biaya selama siklus hidupnya, sehingga dapat dipilih alternatif yang memberikan biaya terendah dengan tetap memenuhi kebutuhan operasional. Pendekatan ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih objektif dan strategis, khususnya dalam evaluasi investasi pada mesin, peralatan produksi, maupun infrastruktur.

2.2.6. Proses Bisnis dan Peta Proses Bisnis

Menurut Weske (2019), proses bisnis merupakan sekumpulan aktivitas yang saling berhubungan dan dilaksanakan secara terstruktur untuk mencapai tujuan tertentu serta menghasilkan keluaran yang bernilai bagi pelanggan atau organisasi. Aktivitas-aktivitas tersebut melibatkan berbagai pihak, sumber daya, informasi, dan pengambilan keputusan yang terintegrasi dalam suatu alur kerja. Peta proses bisnis (*business process map*) digunakan sebagai representasi visual untuk menggambarkan urutan aktivitas, hubungan antar proses, aliran informasi, serta pihak-pihak yang terlibat dalam suatu proses secara sistematis. Penggunaan peta proses bisnis membantu organisasi memahami kondisi proses yang sedang berjalan, mengidentifikasi ketidakefisienan dan pemborosan, serta menemukan peluang perbaikan. Peta proses bisnis juga dapat digunakan untuk mendokumentasikan kondisi proses saat ini (*as-is process*) maupun proses usulan (*to-be process*), sehingga memudahkan analisis dan perancangan solusi yang lebih efektif dan efisien.

Gambar 2.1. di bawah merupakan contoh peta proses bisnis yang menggambarkan aliran aktivitas, pengambilan keputusan, serta pihak-pihak yang terlibat dalam suatu proses.



Gambar 2.1. Contoh Peta Proses Bisnis

(Sumber: Contoh Peta Proses Bisnis)

2.2.7. *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Dalam buku yang ditulis oleh Thomas L. Saaty (2012) *Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan suatu metode pengambilan keputusan yang digunakan untuk memilih alternatif terbaik dari beberapa pilihan dengan mempertimbangkan berbagai kriteria. AHP merupakan teori pengukuran melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang mengandalkan penilaian untuk menghasilkan skala prioritas. Perbandingan dilakukan menggunakan skala penilaian *absolut* yang merepresentasikan seberapa besar satu elemen mendominasi elemen lainnya terhadap suatu atribut tertentu. Skala perbandingan yang digunakan dalam AHP dikenal sebagai *fundamental scale* yang terdiri dari nilai 1 hingga 9, sebagaimana ditunjukkan pada gambah dibawah ini.

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak	
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one activity over another
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favored very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
Reciprocals of above	If activity i has one of the above nonzero numbers assigned to it when compared with activity j, then j has the reciprocal value when compared with i	A reasonable assumption
Rationals	Ratios arising from the scale	If consistency were to be forced by obtaining n numerical values to span the matrix

Gambar 2.2. *fundamental scale* (Saaty 2012)

Konsep pelaksanaannya, setiap elemen dibandingkan secara berpasangan menggunakan skala tersebut untuk menghasilkan matriks perbandingan berpasangan. Bobot prioritas setiap elemen kemudian dihitung menggunakan metode *eigenvector*. Untuk memastikan konsistensi penilaian, Saaty (2012) mendefinisikan *Consistency Index* (CI) menggunakan persamaan berikut.

$$Cl = \frac{\boldsymbol{\lambda max - n}}{n-1} \tag{2.4}$$

Dimana:

λmax = *Principal eigenvalue*

n = Jumlah elemen

Saaty (2012) menggunakan persamaan sebagai berikut untuk mencari *Consistency Ratio* (CR).

$$CR = \frac{Cl}{RI} \tag{2.5}$$

Dengan:

CI = *Consistency Index*

RI = *Random Consistency Index*

Menurut Saaty (2012), apabila nilai CR ≤ 0,1 maka konsistensi perbandingan berpasangan dapat diterima. Apabila CR > 0,1 maka penilaian perbandingan perlu disesuaikan untuk meningkatkan konsistensinya. Nilai RI sendiri dapat ditentukan berdasarkan jumlah elemen yang digunakan (*n*). Perbandingan antara nilai *n* dan RI dapat dilihat pada Gambar 2.2. berikut.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random consistency index (R.I.)	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Gambar 2.3. *Average random consistency index (*Saaty 2012)

2.2.8. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Menurut buku yang ditulis oleh *Thomas Pyzdek dan Paul Keller (2009), Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi berbagai kemungkinan kegagalan pada suatu proses, produk, atau sistem, serta mengevaluasi dampaknya terhadap kinerja. Pendekatan ini menunjukkan bahwa setiap kegagalan dianalisis berdasarkan tingkat keparahan dampaknya, peluang terjadinya, dan seberapa besar kemungkinan kegagalan tersebut tidak terdeteksi. ketiga aspek ini digunakan untuk menentukan prioritas risiko agar mengetahui perbaikan mana yang paling berdampak. FMEA dapat dilakukan melalui dua pendeketan, yaitu pendekatan yang berfokus pada komponen fisik, di mana setiap item atau bagian dianalisis potensi kegagalannya, dan pendekatan yang menitikberatkan pada fungsi, yaitu dengan menganalisis kegagalan berdasarkan peran atau keluaran yang diharapkan dari suatu sistem.

Proses pembuatan FMEA dimulai dari pendefinisian sistem yang dianalisis, penyusunan peta proses untuk menggambarkan operasi, hubungan antarproses, dan interdependensi fungsional, melakukan analisis fungsi, mengidentifikasi potensi kegagalan pada setiap langkah serta mendefinisikan efeknya terhadap sistem secara keseluruhan, analisis dampak, hingga penilaian risiko melalui tingkat keparahan (*severity)*, kemungkinan terjadinya (*occurrence*), dan kemampuan kegagalan terdeteksi (*detection)*. Hasil penilaian tersebut

menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN) yang digunakan sebagai dasar menentukan prioritas perbaikan.

2.2.9. Pengukuran Kerja (*Work Measurement*)

Pengukuran kerja merupakan salah satu metode dalam *work design* yang bertujuan menetapkan waktu yang wajar bagi seorang operator untuk menyelesaikan suatu pekerjaan pada kondisi normal. Barnes (1980) menyatakan bahwa pengukuran kerja membantu atau menentukan standar performa, menetapkan kebutuhan tenaga kerja, mengevaluasi efisiensi, serta menjadi dasar untuk pembagian tugas yang adil pada sistem produksi. Waktu baku dapat memetakan apakah beban kerja antaroperator sudah seimbang atau masih terdapat ketimpangan yang memengaruhi kelancaran aliran produksi.

Menurut Sutalaksana, Anggawisastra, dan Tjakraatmadja (2006), pengukuran kerja juga digunakan untuk menghilangkan aktivitas yang tidak perlu, menentukan metode kerja terbaik, serta mengoptimalkan penugasan tenaga kerja. Merujuk pada konteks tugas akhir ini, pengukuran kerja menjadi langkah awal untuk mengetahui durasi aktual setiap aktivitas operator sebelum dilakukan analisis beban kerja menggunakan metode *Full Time Equivalent* (FTE).

2.2.10. Studi Waktu dengan Jam Henti (*Stopwatch Time Study*)

Studi waktu dengan *stopwatch* merupakan teknik pengukuran langsung untuk mencatat lamanya suatu elemen kerja dilakukan oleh operator. Barnes (1980) menjelaskan bahwa metode ini dilakukan melalui pengamatan berulang terhadap siklus kerja untuk memperoleh waktu siklus yang representatif. Waktu siklus dihitung sebagai nilai rata-rata aritmetika dari seluruh data waktu pengamatan yang telah dinyatakan seragam dan cukup, dengan rumus sebagai berikut (Barnes, 1980). Teknik ini umum digunakan karena sederhana, fleksibel, dan dapat menangkap variasi kerja operator secara langsung di lapangan. Waktu siklus dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Ws = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n} \tag{2.6}$$

Keterangan :

Ws = waktu siklus rata-rata (detik/set)

Xi = data waktu pengamatan ke-i (detik/set)

n = jumlah pengamatan yang memenuhi syarat keseragaman dan kecukupan.

Sutalaksana et al. (2006) menegaskan bahwa studi waktu melibatkan tiga tahap utama, yaitu pencatatan waktu setiap elemen kerja, penentuan *rating* atau penyesuaian performa operator, dan perhitungan kelonggaran untuk mendapatkan waktu baku. Sebelum data waktu yang diperoleh dapat digunakan, perlu dilakukan uji keseragaman data untuk memastikan data berada dalam batas kontrol yang wajar, serta uji kecukupan data untuk memastikan jumlah pengamatan yang dilakukan sudah representatif secara statistik. Tahap terakhir, perlu dilakukan uji kenormalan data untuk memverifikasi bahwa sebaran data observasi mengikuti distribusi normal, sehingga nilai rata-rata yang digunakan sebagai estimasi waktu siklus dapat dipertanggungjawabkan secara statistik (Barnes,1980). Pengerjaan tugas akhir penulis menggunakan hasil studi waktu yang digunakan untuk menghitung waktu siklus aktual per operator yang selanjutnya menjadi *input* utama dalam analisis beban kerja menggunakan metode FTE.

2.2.11. Penyesuaian Performa (*Performance Rating*)

Penilaian performa diperlukan untuk menyesuaikan waktu pengamatan dengan tingkat kecepatan kerja operator. Barnes (1980) mengemukakan bahwa operator dapat bekerja lebih cepat, lebih lambat, atau pada kecepatan normal, sehingga faktor penyesuaian diperlukan untuk menghasilkan waktu yang objektif dan dapat dibandingkan antar operator.

Salah satu metode penilaian performa yang umum digunakan adalah Westinghouse *Rating System*, yang mempertimbangkan empat komponen utama, yaitu *skill, effort, condition,* dan *consistency*. Menurut Freivalds dan Niebel (2014), keempat dimensi tersebut memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi aktual operator saat melakukan pekerjaan, sehingga hasil penilaian dapat digunakan untuk mengkonversi waktu pengamatan menjadi waktu normal yang lebih representatif.

Secara matematis, *rating factor* (RF) dirumuskan sebagai berikut (Freivalds & Niebel, 2014, halaman 370).

$$RF = 1 + (\textit{Skill} + \textit{Effort} + \textit{Condition} + \textit{Consistency}) \qquad (2.7)$$

Keterangan :

RF = *rating factor* (tidak bersatuan), *skill, effort, condition*, dan *consistency* = nilai komponen *Westinghouse Rating System*.

Nilai RF yang diperoleh dari keempat komponen tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung waktu normal. Waktu normal merupakan waktu yang dibutuhkan seorang operator dengan performa rata-rata untuk menyelesaikan suatu elemen kerja, diperoleh dengan mengalikan waktu siklus rata-rata dengan *rating factor* yang telah ditetapkan (Freivalds & Niebel, 2014). Secara matematis, waktu normal dirumuskan sebagai berikut.

$$\mathrm{Wn} = \mathrm{Ws} \times \mathrm{RF} \tag{2.8}$$

Keterangan :

Wn = waktu normal (detik/set)

Ws = waktu siklus rata-rata (detik/set)

RF = rating factor.

2.2.12. Kelonggaran (*Allowance*)

Kelonggaran adalah tambahan watu yang diberikan di luar waktu normal untuk mengakomodasi kelelahan, kebutuhan pribadi, dan hambatan kerja yang tidak dapat dihindari. Menurut Barnes (1980), kelonggaran harus dihitung secara hati-hati untuk memastikan tenaga kerja tidak terbebani secara berlebihan namun tetap mempertahankan produktivitas yang optimal.

Sutalaksana et al. (2006) membagi kelonggaran menjadi tiga kategori utama. Pertama, kelonggaran kelelahan, yaitu untuk menyesuaikan penurunan performa akibat aktivitas fisik yang berkelanjutan. Kedua, kelonggaran penundaan, yang disebabkan oleh gangguan tak terduga seperti mesin macet atau keterlambatan material. Ketiga, kelonggaran kebutuhan pribadi, untuk aktivitas personal seperti minum atau ke kamar kecil. Penentuan kelonggaran ini penting dalam tugas akhir karena memengaruhi hasil waktu baku yang selanjutnya menjadi *input* dalam perhitungan beban kerja per operator.

2.2.13. Waktu Baku (*Standard Time*)

Waktu baku adalah waktu normal yang telah ditambahkan dengan kelonggaran. Freivalds dan Niebel (2014) menyatakan bahwa waktu baku diperlukan sebagai dasar untuk perencanaan kapasitas, penjadwalan produksi, penilaian performa, serta pengaturan keseimbangan beban kerja antar operator. Semakin besar perbedaan waktu baku antar operator, semakin besar potensi ketidakseimbangan lini yang terjadi.

Groover (2015) menambahkan bahwa waktu baku yang akurat merupakan fondasi dari seluruh sistem perencanaan tenaga kerja, karena tanpa standar waktu yang valid, analisis kebutuhan tenaga kerja dan pemerataan beban kerja tidak dapat dilakukan secara objektif. Konsep pengerjaan pada tugas akhir ini, waktu baku dari seluruh elemen kerja per operator dihitung untuk mengetahui total beban kerja aktual di setiap stasiun, yang kemudian menjadi *input* utama dalam analisis menggunakan metode *Full Time Equivalent* (FTE).

Secara matematis, waktu baku dirumuskan sebagai berikut (Kanawaty, 1992, halaman 336).

$$Wb = Wn \times (1 + Allowance\%) \quad (2.8)$$

Keterangan :
Wb = waktu baku (detik/set)
Wn = waktu normal (detik/set)
$Allowance\%$ = total persentase kelonggaran yang ditetapkan (%).

2.2.14. Analisis Beban Kerja (*Workload Analysis*)

Analisis beban kerja merupakan suatu proses sistematis untuk mengidentifikasi dan mengukur jumlah pekerjaan yang harus diselesaikan oleh seorang tenaga kerja dalam periode waktu tertentu dibandingkan dengan kapasitas kerja yang tersedia. Cascio (2019) mendefinisikan beban kerja sebagai jumlah pekerjaan yang dibebankan kepada seseorang atau unit kerja, yang dapat diukur secara kuantitatif melalui perbandingan antara waktu kerja aktual dengan waktu kerja yang tersedia dalam suatu periode.

Konteks sistem produksi manufaktur menunjukkan bahwa analisis beban kerja bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi ketidakseimbangan antara beban kerja yang diemban oleh masing-masing operator. Heneman dan Judge (2009) menjelaskan bahwa ketidakseimbangan beban kerja dapat mengakibatkan kondisi *overload* pada operator dan *underload* pada operator lainnya, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas, peningkatan *idle time*, dan pemborosan biaya tenaga kerja. Analisis beban kerja menjadi landasan penting dalam perancangan redistribusi kerja yang lebih efisien dan proporsional.

2.2.15. *Full Time Equivalent* (FTE)

Full Time Equivalent (FTE) merupakan satuan ukuran yang digunakan untuk mengkonversi beban kerja aktual menjadi angka yang setara dengan kapasitas kerja penuh seorang tenaga kerja dalam satu periode tertentu. Cascio (2019) menjelaskan bahwa FTE dihitung dengan membandingkan total waktu kerja aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dengan total waktu kerja yang tersedia bagi seorang tenaga kerja dalam periode yang sama.

Secara matematis, rumus dasar FTE adalah sebagai berikut:

FTE = Waktu Kerja Aktual Operator ÷ Waktu Kerja Tersedia (*Takt Time*) (2.9)

Keterangan :
FTE = nilai Full Time Equivalent
Waktu kerja aktual operator = total waktu baku elemen kerja yang dikerjakan operator dalam satu siklus (detik/set)
Waktu kerja tersedia = kapasitas waktu referensi per siklus (detik/set).

Lini produksi serial yang beroperasi dengan banyak produk (*multi product line*) yang merupakan kondisi *real* pada lantai produksi tempat pengambilan objek tugas akhir penulis mengakibatkan penentuan waktu kerja tersedia tidak selalu dapat menggunakan target produksi harian sebagai acuan, mengingat tidak semua produk berjalan sepanjang hari kerja penuh. Kondisi tersebut mengharuskan waktu kerja tersedia direpresentasikan oleh waktu baku stasiun dengan beban kerja tertinggi (*bottleneck*), yang secara fungsional menggambarkan kapasitas penuh satu siklus produksi aktual. Pendekatan ini selaras dengan prinsip yang dikemukakan oleh Groover (2015) bahwa waktu siklus stasiun *bottleneck* ($Ts = \max(Tsi)$) menentukan ritme keseluruhan lini produksi serial.

Merujuk pada pertimbangan tersebut, formulasi FTE yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

$$FTEi = \frac{Wbi}{Wbmax} \quad (2.10)$$

Keterangan :
$FTEi$ = nilai *Full Time Equivalent* operator ke-i
Wbi = waktu baku operator ke-i (detik/set)
$Wbmax$ = waktu baku operator dengan beban kerja tertinggi (*bottleneck*) yang merepresentasikan kapasitas penuh satu siklus produksi (detik/set).

Heneman dan Judge (2009) menjelaskan bahwa hasil perhitungan FTE dapat diinterpretasikan ke dalam tiga kategori kondisi beban kerja. Pertama, kondisi *overload* apabila nilai FTE > 1, yang berarti beban kerja operator melebihi kapasitas waktu yang tersedia sehingga operator tidak mampu menyelesaikan tugasnya dalam satu siklus. Kedua, kondisi *fit* apabila nilai FTE mendekati 1 (umumnya dalam rentang 0,9 – 1,0), yang berarti beban kerja operator proporsional dengan kapasitas waktu yang dimiliki. Ketiga, kondisi *underload* apabila nilai FTE < 1 dengan selisih yang signifikan, yang berarti operator memiliki waktu menganggur (*idle time*) yang besar sehingga kapasitas kerjanya tidak dimanfaatkan secara optimal.

Secara operasional pada konteks lini produksi manufaktur, FTE digunakan untuk menganalisis distribusi beban kerja aktual per operator berdasarkan data waktu baku hasil *time study*. Tahap menghitung nilai FTE tiap operator pada kondisi *existing*, dapat diidentifikasi stasiun kerja mana yang mengalami *underload* sehingga berpotensi untuk dilakukan penggabungan atau redistribusi aktivitas kerja. Tahap yang dilakukan setelah redistribusi dilakukan, penulis melakukan perhitungan FTE kembali dilakukan pada kondisi *after balancing* untuk memverifikasi bahwa distribusi beban kerja telah menjadi lebih merata dan mendekati nilai *fit*.

Merujuk pada konteks tugas akhir ini, nilai FTE tidak hanya digunakan untuk mengidentifikasi ketidakseimbangan beban kerja pada kondisi awal, tetapi juga berfungsi sebagai indikator evaluasi setelah dilakukan redistribusi elemen kerja melalui *line balancing*. Dengan kata lain, FTE digunakan dua kali, pertama sebagai alat diagnosa untuk menunjukkan siapa yang pekerjaannya *overload* dan *underload*, dan yang kedua sebagai alat verifikasi untuk menunjukkan bahwa setelah redistribusi, seluruh nilai FTE operator berada dalam rentang normal (mendekati 1).

2.2.16. Konsep *Line Balancing* (Keseimbangan Lini)

Keseimbangan lini adalah proses mengalokasikan elemen kerja ke setiap stasiun agar waktu kerja antaroperator mendekati waktu siklus yang seragam. Menurut Groover (2015), tujuan utama penyeimbangan lini adalah meminimalkan waktu menganggur (*idle time*), mengurangi *bottleneck*, serta memastikan aliran produksi berjalan stabil dan efisien.

Groover (2015) menambahkan bahwa keseimbangan lini pada dasarnya adalah masalah pengalokasian sumber daya manusia yang mempertimbangkan dua aspek utama, yaitu aspek teknis berupa urutan dan durasi elemen kerja, serta aspek operasional berupa kemampuan dan ketersediaan tenaga kerja. Merujuk pada konteks tugas akhir ini, *line balancing* digunakan sebagai kerangka solusi untuk memetakan ketidakseimbangan beban kerja dan merancang redistribusi kerja yang lebih optimal tanpa memerlukan perubahan *layout* atau penambahan fasilitas produksi.

Merujuk pada terminologi *line balancing*, Groover (2015) membedakan beberapa istilah waktu yang relevan. *Cycle time* (Tc) adalah waktu yang dibutuhkan suatu stasiun kerja untuk menyelesaikan satu unit *output*. *Station time* (Tsi) adalah total waktu kerja yang dialokasikan pada stasiun ke-i, yang dapat terdiri dari satu atau lebih elemen kerja. *Takt time* adalah waktu yang tersedia per unit produksi berdasarkan target output dan waktu kerja yang tersedia, dihitung sebagai rasio waktu kerja efektif terhadap target produksi. Lini produksi yang sudah berjalan menunjukkan bahwa waktu siklus stasiun *bottleneck* $(Ts = \max(Tsi))$ secara praktis menentukan ritme keluaran lini, sehingga sering digunakan sebagai acuan utama dalam analisis keseimbangan lini (Groover, 2015).

2.2.17. Indikator Keseimbangan Lini

Menurut Groover (2015), terdapat beberapa indikator yang dapat digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi performansi keseimbangan lini sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan.

2.2.17.1. *Idle Time*

Waktu menganggur (*idle time*) adalah selisih antara waktu siklus maksimum lini dengan waktu kerja aktual pada suatu stasiun kerja. Menurut Freivalds dan Niebel (2014), nilai *idle time* yang besar pada suatu stasiun mengindikasikan adanya pembagian tugas yang tidak merata, di mana operator pada stasiun tersebut memiliki kapasitas yang tidak dimanfaatkan secara optimal. Semakin kecil total *idle time* pada seluruh stasiun, semakin baik kualitas keseimbangan lini yang dicapai.

Rumus untuk menghitung idle time adalah sebagai berikut.

$$Idle\ Time = n \times Tsmax - Twc \tag{2.11}$$

Keterangan :

$Idle\ Time$ = total waktu menganggur seluruh lini dalam satu siklus (detik/set)

n = jumlah operator/stasiun kerja

$Tsmax$ = waktu baku stasiun *bottleneck* (detik/set)

Twc = *total work content*, yaitu penjumlahan waktu baku seluruh stasiun (detik/set).

2.2.17.2. Balance Delay

Balance delay menunjukkan persentase ketidakefisienan lini yang disebabkan oleh ketidakseimbangan waktu kerja antar stasiun. Groover (2015) menyatakan bahwa *balance delay* dihitung sebagai rasio antara total *idle time* dengan total waktu yang tersedia di seluruh stasiun kerja. Semakin kecil nilai *balance delay*, semakin baik penyeimbangan lini yang dicapai karena pemborosan waktu semakin minimal.

Rumus untuk menghitung *balance delay* adalah sebagai berikut.

$$d = \frac{n \times Tsmax - Twc}{n \times Tsmax} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan :

d = *balance delay* (%)

n = jumlah operator/stasiun kerja

$Tsmax$ = waktu baku stasiun *bottleneck* (detik/set)

Twc = *total work content* (detik/set).

2.2.17.3. *Line Efficiency*

Efisiensi lini menggambarkan perbandingan antara total waktu kerja produktif seluruh stasiun dengan total waktu yang tersedia pada seluruh stasiun kerja. Scholl dan Becker (2006) menegaskan bahwa efisiensi lini merupakan komplemen dari *balance delay*, di mana nilai efisiensi yang tinggi mencerminkan pemanfaatan kapasitas tenaga kerja yang lebih optimal. Merujuk pada tugas akhir ini, efisiensi lini menjadi salah satu parameter utama untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah dilakukan redistribusi beban kerja.

Rumus untuk melakukan perhitungan *line efficiency* adalah sebagai berikut.

$$Eb = \frac{Twc}{n \times Tsmax} \times 100\% \quad (2.13)$$

Keterangan :

Eb = *line efficiency* (%)

Twc = *total work content* (detik/set)

n = jumlah operator/stasiun kerja

$Tsmax$ = waktu baku stasiun *bottleneck* (detik/set).

2.2.17.4. *Smoothness Index*

Indeks penghalusan (*smoothness index*) menunjukkan variasi beban kerja antar stasiun dalam satu lini produksi. Groover (2015) menjelaskan bahwa *smoothness index* dihitung berdasarkan selisih kuadrat antara waktu siklus maksimum dengan waktu kerja aktual di setiap stasiun. Semakin kecil nilai *smoothness index*, semakin seragam distribusi beban kerja antar operator, yang mengindikasikan keseimbangan lini yang semakin baik.

Rumus untuk menghitung *smoothness index* adalah sebagai berikut.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Tsmax - Tsi)^2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

SI = *smoothness index*

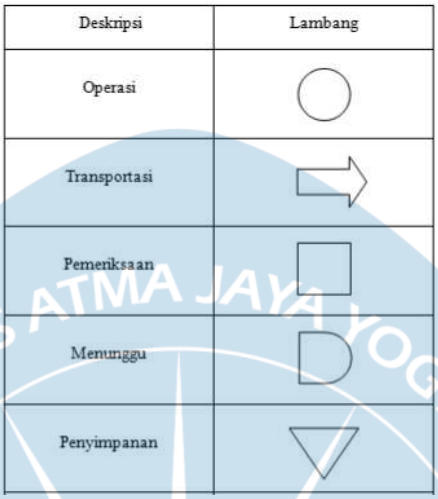
$Tsmax$ = waktu baku stasiun *bottleneck* (detik/set)

Tsi = waktu baku stasiun ke-i (detik/set).

2.2.18. Peta Aliran Proses (*Flow Process Chart*)

Peta Aliran Proses (PAP) atau dalam literatur internasional dikenal sebagai *flow process chart* merupakan salah satu jenis peta kerja keseluruhan yang menggambarkan urutan seluruh aktivitas yang dialami oleh suatu objek selama menjalani proses, mulai dari awal hingga akhir. Sutalaksana, Anggawisastra, dan Tjakraatmadja (2006) mendefinisikan PAP sebagai peta yang memperlihatkan semua kegiatan termasuk kegiatan produktif seperti operasi dan pemeriksaan, maupun kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah seperti transportasi, menunggu, dan penyimpanan, dilengkapi dengan informasi waktu dan jarak perpindahan pada setiap kegiatannya.

Penggambaran PAP menggunakan lima lambang standar yang ditetapkan oleh *American Society of Mechanical Engineers* (ASME, 1947) dan digunakan secara konsisten dalam literatur teknik industri hingga saat ini. Kelima lambang tersebut adalah sebagai berikut (Sutalaksana et al., 2006; Niebel & Freivalds, 2014).



Gambar 2.4. Lambang yang Digunakan dalam Peta Aliran Proses

Sutalaksana et al. (2006) mengklasifikasikan PAP menjadi tiga jenis berdasarkan objek yang dipetakan, yaitu PAP tipe bahan yang memetakan apa yang terjadi pada suatu material atau produk sepanjang proses berlangsung, PAP tipe orang yang memetakan aktivitas seorang pekerja selama menjalankan tugasnya, dan PAP tipe kertas yang memetakan aliran dokumen atau formulir dalam suatu prosedur administratif. Pemilihan jenis PAP ditentukan oleh objek mana yang menjadi fokus analisis perancangan.

Fungsi lain dari PAP selain berfungsi sebagai alat untuk menganalisis kondisi yang sedang berjalan adalah dapat juga digunakan sebagai alat perancangan untuk menggambarkan kondisi usulan setelah dilakukan perbaikan sistem kerja, sehingga perbedaan antara kondisi sebelum dan sesudah perbaikan dapat dibandingkan secara kuantitatif melalui rekapitulasi jumlah dan total waktu masing-masing jenis kegiatan (Sutalaksana et al., 2006). Kemampuan PAP untuk membandingkan dua kondisi secara terstruktur inilah yang menjadikannya alat representasi yang tepat untuk memvisualisasikan hasil perancangan redistribusi beban kerja.



Gambar 2.5. Contoh Format Peta Aliran Proses

Sumber : Modul Praktikum Analisis dan Perancangan Sistem Kerja, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Merujuk pada konteks tugas akhir ini, PAP disusun menggunakan tipe bahan (material) karena objek yang menjadi fokus analisis adalah material produk SPK 9507 yang mengalir secara sekuensial melalui setiap stasiun kerja di sepanjang lini *conveyor*. Pemilihan tipe ini didasarkan pada pertimbangan bahwa perubahan yang dirancang bersifat realokasi elemen kerja antar stasiun, sehingga aliran material melalui setiap stasiun kerja menjadi titik tinjau yang paling representatif untuk menggambarkan dampak dari perancangan redistribusi beban kerja yang dilakukan. PAP digunakan untuk memvisualisasikan kondisi sekarang dan kondisi usulan secara berdampingan, sehingga perbedaan konfigurasi elemen kerja antar kedua kondisi dapat dibandingkan secara terstruktur dan terukur sebagai output perancangan sistem kerja.

2.3. Standar dan Kode Etik

Penyusunan tugas akhir ini mengikuti ketentuan kode etik yang berlaku, baik pada tingkat nasional maupun internasional. Kepatuhan terhadap aturan tersebut merupakan bentuk penghargaan terhadap validitas, integritas, dan kerahasiaan data yang digunakan selama proses penulisan tugas akhir. Selain memastikan bahwa penulisan laporan dilakukan secara etis, penerapan kode etik juga mencakup perlindungan terhadap informasi sensitif milik perusahaan, termasuk spesifikasi produk dan data internal lainnya yang bersifat rahasia. Landasan hukum dan regulasi yang relevan menjadi acuan dalam menjaga kualitas, keamanan, serta tanggung jawab ilmiah dalam penyusunan laporan ini.

2.3.1. Standard

Penulisan tugas akhir ini berpedoman pada sejumlah standar serta regulasi yang penulis pilih secara selektif berdasarkan relevansinya terhadap metodologi pengukuran waktu kerja, aspek ergonomi, serta kerangka ketenagakerjaan yang berlaku. Penerapan standar-standar pada tugas akhir ini memiliki tujuan agar proses analisis serta perancangan ulang distribusi beban kerja operator dapat dijalankan dengan terstruktur, objektif, sekaligus dapat dipertanggungjawabkan secara akademis dan praktis di lapangan.

Tahap pengambilan data waktu kerja, pendekatan yang digunakan adalah *time study* dengan penilaian performa operator melalui standar *Westinghouse Rating System.* Sistem ini berfungsi mengevaluasi empat faktor sekaligus dalam satu sesi pengamatan per operator kerja, yakni : *skill* (keterampilan), *effort* (kesungguhan), *conditions* (kondisi lingkungan kerja), serta *consistency* (konsistensi) pekerja. Setiap faktor dinilai menggunakan skala dalam bentuk numerik terstandar yang kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan *rating factor* (RF). Waktu *real time* hasil pengamatan langsung (*observed time)* selanjutnya akan dikalikan dengan nilai RF tersebut untuk memperoleh waktu normal (*normal time*), yang merupakan estimasi waktu yang dibutuhkan oleh seorang operator dengan performa rata-rata dalam kondisi kerja normal (Freivalds & Niebel, 2014, halaman 456 – 462).

Setelah waktu normal diperoleh, tahap berikutnya yang dilakukan adalah menambahkan kelonggaran (*allowance*) untuk menghasilkan waktu baku (*standard time*). Penentuan nilai kelonggaran dalam tugas akhir ini mengacu pada pedoman yang dijelaskan oleh Kanawaty (1992) dalam buku *Introduction to Work Study* edisi keempat, secara spesifik pada *Chapter* 23, halaman 331 – 332. Pada bagian tersebut, dijelaskan bahwa *relaxation allowance* terdiri dari dua komponen utama, yakni yang pertama adalah *fixed allowance* yang mencakup kelonggaran kebutuhan pribadi (*personal needs*) dengan rentang umumnya sebesar 5-7% dari waktu dasar, dan kelonggaran kelelahan dasar (*basic fatigue*) sebesar 4%. Komponen kedua adalah *variable allowance* yang ditambahkan apabila kondisi kerja menyimpang dari kondisi standar, misalnya akibat kebisingan ; suhu yang terlalu tinggi ; atau beban fisik yang berlebih. Berdasarkan komposisi tersebut, nilai allowance sebesar 10% yang ditetapkan oleh perusahaan sebagai *policy allowance* berada pada rentang yang sesuai secara metodologis, karena angka tersebut mencerminkan penjumlahan komponen *personal needs* dan *basic fatigue* untuk kategori pekerjaan ringan hingga menengah dalam kondisi kerja yang

memadai (normal). Tabel konversi poin *allowance* yang digunakan sebagai acuan pendukung tersedia pada Appendix 3, halaman 497 pada buku yang sama. Nilai *allowance* inilah yang nantinya akan digunakan dalam rumus perhitungan *Standard Time* = *Normal Time x* (1 + *Allowance* %), sebagaimana dirumuskan pada Chapter 23, halaman 336, lalu selanjutnya menjadi *input* utama dalam perhitungan *Full Time Equivalent* (FTE) serta penyusunan *line balancing.*

Selain standar pengukuran waktu, tugas akhir ini juga mempertimbangkan dimensi ergonomi dalam proses perancangan ulang distribusi beban kerja. Landasan yang digunakan adalah ISO 6385:2016 *Ergonomics Principles in the Design of Work Systems* (ISO, 2016)*,* spesifiknya pada Klausa 2.10., 2.11., dan 3.1. Klausa 2.10. mendefinisikan *external work load* sebagai tuntutan eksternal dalam sistem kerja yang mempengaruhi beban internal fisik maupun mental seorang pekerja, sedangkan Klausa 2.11. menjelaskan *work strain* sebagai respon internal yang muncul akibat paparan terhadap beban kerja tersebut. Klausa 3.1.selanjutnya menegaskan bahwa perancangan sistem kerja yang ergonomis bertujuan mengoptimalkan *work strain,* mencegah dampak yang dapat melemahkan performa, dan mendorong efek yang bersifat fasilitatif (ISO, 2016, Klausa 2.10., 2.11., dan 3.1.). Merujuk pada konteks tugas akhir ini, ketiga klausa tersebut dijadikan kerangka validasi untuk memastikan bahwa usulan redistribusi beban kerja antar operator yang dihasilkan melalui proses *line balancing* tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga mencegah terjadinya beban kerja yang tidak proporsional pada operator tertentu.

Berdasarkan perspektif regulasi ketenagakerjaan, tugas akhir ini merujuk pada Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan (Pemerintah RI, 2003) pada tiga pasal yang secara langsung bersinggungan dengan metodologi tugas akhir. Pasal 77 ayat (2) (Pemerintah RI, 2003) menetapkan batas waktu kerja normal adalah 7 jam per hari untuk sistem 6 hari kerja, dan 8 jam per hari untuk sistem 5 hari kerja. Ketentuan inilah yang dijadikan dasar penentuan waktu kerja tersedia (*available time*) dalam perhitungan FTE. Pasal 79 ayat (2) huruf a (Pemerintah RI, 2003) mewajibkan pemberian waktu istirahat sekurang-kurangnya 30 menit setelah pekerja bekerja selama 4 jam berutrut-turut, yang secara tidak langsung mengonfirmasi pentingnya komponen *personal needs allowance* dalam penentuan waktu baku. Pasal 86 ayat (1) dan (2) (Pemerintah RI, 2003) menegaskan hak setiap pekerja atas keselamatan dan kesehatan kerja, serta menegaskan bahwa upaya perlindungan tersebut diselenggarakan dalam rangka

mewujudkan produktivitas kerja yang optimal. Hal ini menjadi landasan etis bahwa perancangan ulang pembagian tugas dalam tugas akhir ini harus mempertimbangkan aspek perlindungan operator, bukan semata-mata efisiensi produksi.

Lebih lanjut setelah standar eksternal di atas, tugas akhir ini turut menggunakan dokumen internal perusahaan sebagai acuan kondisi aktual, meliputi *Standard Operating Procedure* (SOP), *Work Instruction* (WI), dan *routing* produksi. Dokumen-dokumen tersebut berfungsi sebagai pembanding untuk mengidentifikasi kesenjangan atau *gap* antara sistem kerja yang seharusnya berjalan dengan kondisi nyata di lapangan, terutama menyangkut jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, urutan proses produksi, dan pembagian aktivitas antar operator.

Proses analisis dan perancangan ulang pembagian kerja didasarkan pada prinsip-prinsip *line balancing* yang telah menjadi praktik standar dalam rekayasa industri. Prinsip ini mencakup penentuan waktu siklus (*cycle time*), penyusunan *precedence diagram*, identifikasi *bottleneck*, serta perhitungan efisiensi lini dan *idle time*. Penerapan prinsip-prinsip ini memastikan bahwa solusi yang dihasilkan bersifat sistematis, dapat diukur, serta mendukung peningkatan efisiensi operasional lini produksi secara berkelanjutan.

Permasalahan pemborosan biaya material pelindung pada proses produksi berkaitan erat dengan pengelolaan penggunaan sumber daya, sehingga relevan dengan penerapan ISO 14001:2015 sebagai standar sistem manajemen lingkungan. Menurut Singh et al. (2015), penerapan sistem manajemen lingkungan berdasarkan ISO 14001 mendorong organisasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya melalui pengendalian operasional yang lebih baik dan penerapan *continuous improvement*. Hal tersebut sejalan dengan persyaratan ISO 14001:2015 yang mengharuskan organisasi mengidentifikasi aspek lingkungan dari setiap aktivitas, produk, dan layanan yang berada dalam kendalinya (Klausul 6.1), serta menetapkan pengendalian operasional agar penggunaan sumber daya berlangsung secara lebih efisien (Klausul 8.1). Penerapan *PE Foam Bag* yang dapat digunakan kembali (*reuse*) mendukung prinsip tersebut karena mampu mengurangi kebutuhan pembelian material baru melalui penggunaan berulang, sehingga pemanfaatan material menjadi lebih efisien.

Permasalahan pemborosan biaya material juga berkaitan dengan efektivitas proses produksi sehingga relevan dengan penerapan ISO 9001:2015 sebagai standar sistem manajemen mutu. Tarí et al. (2012) menjelaskan bahwa penerapan ISO 9001 memberikan manfaat berupa peningkatan efektivitas proses, pengurangan pemborosan, peningkatan kualitas produk, serta penerapan *continuous improvement*. Prinsip tersebut sejalan dengan persyaratan ISO 9001:2015 yang menekankan pentingnya pengendalian proses produksi untuk menghasilkan produk yang konsisten sesuai persyaratan mutu (Klausul 8.5.1), melakukan analisis dan evaluasi terhadap kinerja proses sebagai dasar peningkatan (Klausul 9.1.3), serta menerapkan tindakan korektif dan peningkatan berkelanjutan untuk mencegah terulangnya permasalahan yang sama (Klausul 10.2 dan Klausul 10.3).

Penerapan kedua standar tersebut mendukung usulan penggantian material pelindung laminasi sekali pakai menjadi *PE Foam Bag* yang dapat digunakan kembali (*reuse*). Penggunaan material *reuse* mampu mengurangi konsumsi material sekali pakai, menekan timbulan limbah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mempertahankan kualitas perlindungan produk selama proses produksi. Dengan demikian, penerapan ISO 14001:2015 dan ISO 9001:2015 dapat mendukung perusahaan dalam meningkatkan kinerja lingkungan, meningkatkan efektivitas proses produksi, serta mengurangi pemborosan biaya material secara berkelanjutan.

2.3.2. Kode Etik

Merujuk pada penyusunan laporan tugas akhir ini, penerapan kode etik menjadi landasan penting untuk menjaga keamanan, integritas, dan tanggung jawab. Penerapan kode etik dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh proses penyusunan tugas akhir dilaksanakan secara profesional dengan tetap memperhatikan kerahasiaan informasi perusahaan maupun data pribadi pihak-pihak yang terlibat. Adapun prinsip kode etik yang diterapkan adalah sebagai berikut.

a. Perlindungan Informasi Perusahaan

Mengacu pada Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2000 tentang Rahasia Dagang. Penyusunan tugas akhir ini menjaga kerahasiaan data internal perusahaan, termasuk informasi terkait spesifikasi produk, proses produksi, biaya, serta informasi lain yang memiliki nilai komersial. Sebagai bentuk implementasi,

identitas perusahaan dan data sensitif lainnya disamarkan dalam laporan ini untuk mencegah penyalahgunaan informasi serta menjaga keamanan data perusahaan.

b. Perlindungan Data Pribadi Individu

Mengacu pada Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi. Laporan tugas akhir ini memperhatikan perlindungan data pribadi pihak-pihak yang terlibat, seperti teknisi, operator, maupun pihak lain yang berkaitan dengan proses penyusunan tugas akhir. Informasi pribadi yang dapat mengarah pada identifikasi individu tidak dicantumkan secara eksplisit guna menjaga kerahasiaan identitas serta mematuhi prinsip perlindungan data pribadi.