

DASAR-DASAR TEKNIK INDUSTRI:

EVOLUSI, SISTEM, DAN OPTIMASI

Lukmandono
Palmadi Putri Surya Negara
Andhika Cahyono Putra
Christofora Desi Kusmindari



DASAR-DASAR TEKNIK INDUSTRI: EVOLUSI, SISTEM, DAN OPTIMASI

Lukmando
Palmadi Putri Surya Negara
Andhika Cahyono Putra
Christofora Desi Kusmindari



GET PRESS INDONESIA

DASAR-DASAR TEKNIK INDUSTRI: EVOLUSI, SISTEM, DAN OPTIMASI

Penulis :

Lukmando

Palmadi Putri Surya Negara

Andhika Cahyono Putra

Christofora Desi Kusmindari

ISBN : 978-634-255-705-1

Editor : Mila Sari, M. Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S. Pd.

PENERBIT : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Dasar-dasar Teknik Industri: Evolusi, Sistem, dan Optimasi* ini dapat diselesaikan. Isi buku ini mencakup pembahasan tentang pengantar Teknik industri, perancangan lokasi dan tata letak fasilitas industri, ergonomic perancangan system kerja dan pengukuran waktu, dan optimasi sitem pengendalian operasional, manajemen sumber daya manusia, . Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi referensi dan dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi semua pembaca.

Padang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	v
BAB 1 PENGANTAR TEKNIK INDUSTRI.....	1
1.1 Definisi dan Ruang Lingkup Teknik Industri	1
1.2 Sejarah dan Evolusi Teknik Industri.....	3
1.3 Peran dan Fungsi Teknik Industri dalam Sistem Produksi dan Jasa.....	7
1.4 Pendekatan Sistem dan Teknik Industri	10
1.5 Konsep Efisiensi, Produktivitas, dan Kualitas.....	12
1.6 Tantangan dan Isu Kontemporer	15
1.7 Tantangan dan Tren Masa Depan Teknik Industri.....	16
DAFTAR PUSTAKA.....	21
BAB 2 PERANCANGAN LOKASI DAN TATA LETAK FASILITAS INDUSTRI	35
2.1 Faktor-Faktor Penentuan Lokasi Fasilitas Industri.....	37
2.2 Metode Pemilihan Lokasi Fasilitas	41
2.3 Jenis-Jenis Tata Letak Fasilitas.....	47
2.4 Prinsip dan Kriteria Tata Letak yang Baik	51
2.5 Metode Perancangan Tata Letak Fasilitas.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	57

BAB 3 ERGONOMI, PERANCANGAN SISTEM KERJA DAN PENGUKURAN WAKTU.....	61
3.1 Ergonomi	61
3.2 Perancangan Sistem Kerja	73
3.3 Pengukuran Waktu	83
DAFTAR PUSTAKA.....	87
BAB 4 OPTIMASI SISTEM, PENGENDALIAN OPERASIONAL, DAN MANAJEMEN SUMBER DAYA MANUSIA	92
4.1 Optimasi Sistem	92
4.2 Pengendalian Operasional.....	101
4.3 Manajemen Sumber Daya Manusia.....	109
4.4 Rangkuman	118
DAFTAR PUSTAKA.....	119
BIODATA PENULIS.....	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Body of Knowledge</i> Teknik Industri.....	1
Gambar 1. 2 Revolusi Industri	3
Gambar 1. 3 Trend Industri 5.0	17
Gambar 2.1 Alur proses Pengerjaan Metode Faktor Penimbang	43
Gambar 2. 2 Alur proses Pengerjaan Metode BEP	45
Gambar 2. 3 Alur proses Pengerjaan Metode Pusat Gravitasi.....	46
Gambar 2. 4 Tata Letak Berdasarkan Proses	47
Gambar 2. 5 Tata Letak Berdasarkan Produk.....	48
Gambar 2. 6 Tata Letak Posisi Tetap	49
Gambar 2. 7 Tata Letak Sel.....	50
Gambar 2. 8 Systematic Layout Planning	53
Gambar 2. 9 Activity Relationship Chart	54
Gambar 2. 10 Activity Relationship Diagram.....	55
Gambar 2. 11 <i>From-To Chart</i>	56
Gambar 3. 1 Ergonomi	63
Gambar 3. 2Pencapaian	71
Gambar 3. 3 Perancangan Sistem Kerja	73
Gambar 3. 4 Prinsip Dasar	76
Gambar 3. 5 Produk Layout	79
Gambar 3. 6 Proses Layout	80
Gambar 3. 7 Fixed Position Layout	80
Gambar 3. 8 <i>Callular Layout</i>	81

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jenis Gangguan.....	67
Tabel 4. 1 Perbandingan Metode-Metode Optimasi	96
Tabel 4. 2 Empat Perspektif Balanced Scorecard dan Contoh Indikator Kinerja	105
Tabel 4. 3 Perbandingan Sumber-Sumber Rekrutmen SDM	112

BAB 1

PENGANTAR TEKNIK INDUSTRI

Oleh Lukmandono

1.1 Definisi dan Ruang Lingkup Teknik Industri

Teknik Industri merupakan salah satu cabang ilmu teknik yang berfokus pada perancangan, perbaikan, dan instalasi sistem terintegrasi yang melibatkan manusia, mesin, material, metode, dan informasi (Sukma & Supriyono, 2025). Berbeda dengan disiplin keteknikan lainnya yang umumnya memusatkan perhatian pada objek fisik tertentu, Teknik Industri memiliki karakteristik yang unik. Keunikan ini terletak pada kemampuannya dalam mengintegrasikan aspek teknis sekaligus manajerial di dalam pemecahan masalah pada suatu sistem yang kompleks (Badenko *et al.*, 2024).

IISE Body of Knowledge



Gambar 1. 1 *Body of Knowledge* Teknik Industri
(IISE, 2026)

Merujuk pada rumusan dari *Institute of Industrial and Systems Engineers* (IISE), Teknik Industri didefinisikan sebagai disiplin yang berkaitan erat dengan desain, peningkatan, dan instalasi sistem terintegrasi yang terdiri dari manusia, material, informasi, peralatan, dan energi (Roopa & Siriram, 2024). Definisi fundamental ini secara tegas menekankan bahwa pendekatan sistem merupakan inti pokok dari keilmuan Teknik Industri. Jika ditinjau dari perspektif sejarah klasiknya, keilmuan ini berakar pada konsep *scientific management* yang digagas oleh Frederick Winslow Taylor. Pada masa awal perkembangannya, pendekatan Teknik Industri sangat berpusat pada upaya mencapai efisiensi kerja melalui pengukuran waktu dan penentuan metode kerja yang paling optimal (Wren, 2011). Namun seiring dengan dinamika industri dan perkembangan teknologi, disiplin keilmuan ini telah berevolusi secara signifikan. Teknik Industri modern kini berkembang menjadi jauh lebih luas, mencakup analisis sistem secara menyeluruh, optimasi proses, hingga pada tahap pengambilan keputusan strategis yang berbasis pada data (Sherif & Salontitis, 2025).

Oleh karena itu, ruang lingkup penerapan disiplin ilmu ini menjadi sangat luas dan tidak lagi terbatas pada rantai pabrik semata. Keilmuan Teknik Industri saat ini relevan dan diterapkan di berbagai sektor (Reyes *et al.*, 2023), antara lain:

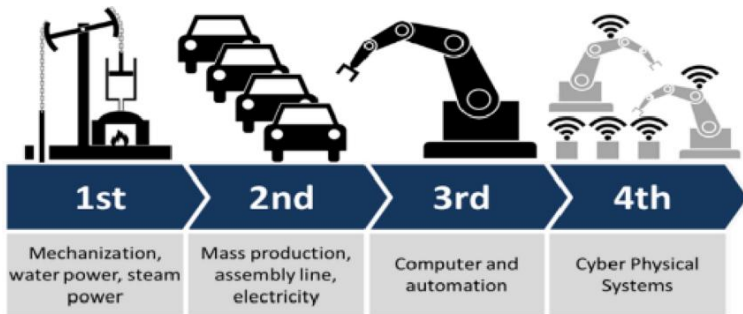
1. Industri manufaktur
2. Industri jasa
3. Sistem logistik dan rantai pasok
4. Sistem informasi dan teknologi
5. Manajemen operasional

Dengan cakupan kompetensi yang sangat fleksibel dan luas tersebut, seorang insinyur industri pada hakikatnya memegang peran sentral sebagai *system integrator*. Mereka adalah profesional yang dituntut untuk mampu merangkai dan menghubungkan berbagai komponen di dalam sebuah sistem agar dapat beroperasi secara optimal, efisien, dan selaras dengan tujuan organisasi.

1.2 Sejarah dan Evolusi Teknik Industri

1.2.1 Revolusi Industri 1.0

Perkembangan keilmuan Teknik Industri pada dasarnya tidak dapat dipisahkan dari sejarah panjang Revolusi Industri yang mulai bergulir sejak abad ke-18 (Souza *et al.*, 2025). Tahap awal dari rentetan transformasi besar ini secara resmi dikenal sebagai Revolusi Industri 1.0. Ciri utama yang paling mendefinisikan dan mengubah wajah industri pada era tersebut adalah proses mekanisasi yang digerakkan oleh penemuan mesin uap. Kehadiran teknologi uap ini secara perlahan namun pasti mulai menggantikan tenaga otot manusia dan hewan yang sebelumnya selalu menjadi tumpuan utama dalam berbagai sektor pekerjaan fisik (Souza *et al.*, 2025).



Gambar 1. 2 Revolusi Industri
(Anatan, 2022)

Penerapan mekanisasi pada revolusi industri 1.0 ini terbukti mampu mendorong tingkat produktivitas industri meningkat secara sangat signifikan dibandingkan dengan metode produksi konvensional. Kapasitas produksi berbagai pabrik melonjak tajam karena mesin-mesin uap mampu beroperasi secara terus-menerus dalam durasi yang jauh lebih panjang tanpa mengalami kelelahan.

Meskipun terjadi lonjakan hasil produksi secara kuantitas, pada masa awal ini para pelaku industri masih beroperasi tanpa adanya pendekatan sistematis dalam hal pengelolaan kerja (Wibowo, 2023). Ketiadaan manajemen kerja yang terstruktur dan minimnya efisiensi proses inilah yang pada akhirnya menyadarkan para pemikir akan perlunya tata kelola operasional, yang kelak menjadi landasan awal lahirnya disiplin ilmu Teknik Industri.

1.2.2 Revolusi Industri 2.0

Memasuki fase Revolusi Industri 2.0, dunia industri mengalami pergeseran besar yang menandai dimulainya era Revolusi Industri 2.0. Perubahan mendasar pada periode ini dipicu oleh penemuan dan pemanfaatan energi listrik secara luas untuk menggerakkan operasional mesin pabrik. Kehadiran sumber energi yang lebih stabil dan kuat ini memungkinkan perusahaan untuk beralih secara drastis dari sistem produksi skala kecil menjadi produksi massal (Jaya *et al.*, 2025). Kapasitas pabrik meningkat tajam seiring dengan fleksibilitas kemampuan dalam mendistribusikan tenaga listrik ke berbagai lini tanpa bergantung pada satu sumber penggerak sentral yang kaku.

Pada era inilah muncul sebuah terobosan revolusioner yang diinisiasi oleh Henry Ford melalui pengenalan konsep lini perakitan atau *assembly line*. Inovasi perakitan berjalan ini sukses memangkas waktu pengerjaan secara dramatis karena setiap pekerja hanya perlu berada di satu stasiun kerja sambil melakukan tugas yang spesifik secara berulang. Model lini perakitan ini kemudian diakui sebagai tonggak sejarah yang sangat krusial dalam upaya mengejar efisiensi produksi berskala masif (Warnecke & Hüser, 1995). Berkat keberhasilan metode ini pula, prinsip-prinsip awal optimalisasi kerja mulai mendapatkan bentuk praktisnya secara nyata di lapangan.

1.2.3 Revolusi Industri 3.0

Lompatan teknologi kembali terjadi pada pertengahan abad ke-20 dengan hadirnya Revolusi Industri 3.0, yang secara fundamental mengubah cara mesin beroperasi dan dikendalikan. Era baru ini ditandai secara tegas dengan penemuan teknologi informasi, penggunaan komputer secara masif, serta implementasi sistem otomatisasi di rantai produksi. Kehadiran integrasi perangkat keras dan perangkat lunak ini secara bertahap mulai menggantikan peran fisik manusia dalam melakukan pengendalian teknis secara manual. Pabrik-pabrik berubah menjadi ekosistem yang lebih presisi dan mampu beroperasi dengan tingkat kesalahan atau *human error* yang jauh lebih rendah berkat kendali berbasis logika komputasi.

Sejalan dengan masifnya kemajuan perangkat teknologi tersebut, disiplin Teknik Industri juga mengalami evolusi metodologis yang cukup pesat. Pada periode ini, fokus keilmuan para insinyur mulai meluas untuk mengadopsi berbagai metode analitis dan kuantitatif dalam merancang operasional. Pendekatan komputasional seperti pemodelan riset operasi, simulasi sistem, serta pengolahan data statistik mulai digunakan secara intensif untuk memecahkan masalah industri yang rasionalitasnya semakin kompleks. Transformasi intelektual inilah yang semakin memperkuat identitas Teknik Industri sebagai ilmu yang berbasis pada perhitungan presisi dan penyelesaian berbasis algoritma.

1.2.4 Revolusi Industri 4.0 dan 5.0

Saat ini, dunia industri global sedang berada di tengah pusaran Revolusi Industri 4.0, sebuah era dinamis di mana batasan antara dunia fisik dan dunia siber menjadi semakin terintegrasi. Periode ini diwarnai oleh gelombang digitalisasi tingkat tinggi yang didorong secara kuat oleh kemunculan teknologi *Internet of Things* (IoT), pengolahan *big data*, serta implementasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) (Alojaiman, 2023). Mesin-mesin manufaktur

modern kini tidak hanya mampu beroperasi secara mandiri, tetapi juga dapat saling bertukar informasi, mengumpulkan data operasional secara *real-time*, dan mengeksekusi penyesuaian otonom. Interkonektivitas tanpa batas ini pada akhirnya sukses menciptakan ekosistem pabrik cerdas yang sangat adaptif terhadap fluktuasi permintaan konsumen dan gangguan rantai pasok.

Diskursus keilmuan industri modern kini telah bersiap melangkah menuju visi Revolusi Industri 5.0 yang membawa kembali nilai-nilai kemanusiaan. Berbeda dengan era 4.0 yang berfokus kuat pada otomasi absolut, Industri 5.0 kembali menempatkan manusia sebagai pusat inovasi dengan menekankan kolaborasi harmonis antara kecerdasan sumber daya manusia dan keandalan teknologi (Adel, 2023). Selain itu, era mutakhir ini juga sangat menyoroti pentingnya penegakan aspek keberlanjutan (*sustainability*) agar pemenuhan kebutuhan ekonomi tidak berujung pada pengrusakan keseimbangan lingkungan. Menengok ke belakang, evolusi panjang ini membuktikan secara sah bahwa Teknik Industri selalu relevan dan terus berkembang dari pendekatan efisiensi kerja yang sederhana menuju pendekatan sistem komprehensif berbasis teknologi tingkat tinggi.

Dalam menelusuri sejarah dan dinamika evolusi disiplin keilmuan ini, menjadi sebuah keharusan untuk memahami pemikiran dari nama-nama besar yang telah membangun fondasi utamanya. Gagasan brilian dan dedikasi luar biasa mereka pada pergantian abad telah mengubah paradigma kerja fisik menjadi sebuah sistem terukur yang rasional. Kehadiran deretan tokoh ini menjadi katalisator penting bagi transisi pengelolaan pabrik berbasis intuisi tradisional menuju manajemen industri modern yang terstruktur. Berikut adalah beberapa profil penting yang diakui sebagai pelopor awal dalam perkembangan keilmuan Teknik Industri (Poazi & Timi, 2024):

1. Frederick W. Taylor

Beliau dikenal luas sebagai Bapak Manajemen Ilmiah (*Scientific Management*) yang pemikirannya banyak

mengubah wajah industri manufaktur dunia. Ia memelopori penggunaan pendekatan sistematis dalam menganalisis kerja untuk menemukan satu cara terbaik (*the one best way*) guna mencapai efisiensi yang maksimal di lantai pabrik.

2. Frank & Lillian Gilbreth

Pasangan akademisi ini meninggalkan warisan intelektual yang sangat berharga dengan mengembangkan metodologi studi gerak (*Motion Study*) secara presisi. Kontribusi pemikiran mereka secara khusus ditujukan untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi gerakan-gerakan tubuh pekerja yang tidak bernilai tambah guna mencegah kelelahan fisik.

3. Henry Gantt

Penemuan dan dedikasi intelektualnya yang paling monumental bagi dunia industri dan manajemen proyek global adalah penciptaan *Gantt Chart*. Alat bantu penjadwalan visual ini terbukti sangat efektif dan hingga kini masih diandalkan secara luas untuk merencanakan, memonitor, dan mengendalikan alur waktu operasional.

1.3 Peran dan Fungsi Teknik Industri dalam Sistem Produksi dan Jasa

1.3.1 Sektor Manufaktur

Dalam ekosistem industri manufaktur, disiplin Teknik Industri memegang peranan strategis dalam menjamin kelancaran seluruh proses transformasi bahan baku menjadi produk jadi. Fokus utamanya terletak pada upaya peningkatan efisiensi serta efektivitas sistem produksi agar perusahaan mampu bersaing secara kompetitif di pasar global (Ye & Lau, 2022). Peran ini mencakup tanggung jawab besar dalam melakukan perancangan tata letak pabrik yang logis guna meminimalkan biaya perpindahan

material yang tidak perlu. Selain itu, optimalisasi proses produksi dilakukan secara berkelanjutan untuk memastikan bahwa setiap lini kerja beroperasi pada kapasitas terbaiknya tanpa adanya hambatan yang berarti.

Selain aspek teknis perancangan, seorang insinyur industri di sektor manufaktur juga memiliki otoritas dalam pengendalian produksi dan manajemen kualitas (Hasan, 2024). Pengendalian produksi sangat krusial untuk menjaga keseimbangan antara ketersediaan inventaris dan permintaan pasar sehingga tidak terjadi penumpukan barang maupun kekurangan stok. Di sisi lain, manajemen kualitas diterapkan melalui pengawasan ketat terhadap standar produk guna memastikan setiap unit yang dihasilkan memenuhi ekspektasi pelanggan. Melalui integrasi berbagai peran tersebut, Teknik Industri memastikan bahwa aktivitas manufaktur tidak hanya sekadar menghasilkan barang, tetapi melakukannya dengan cara yang paling cerdas dan menguntungkan (Ade *et al.*, 2026).

1.3.2 Sektor Jasa

Penerapan ilmu Teknik Industri kini telah meluas melampaui batas-batas pabrik dan memberikan kontribusi yang signifikan pada sektor jasa. Dalam industri ini, fokus utamanya bergeser pada bagaimana mengelola interaksi manusia dan aliran informasi agar layanan dapat diberikan secara maksimal kepada konsumen (Musarat *et al.*, 2023). Salah satu peran yang sangat krusial adalah perancangan sistem antrean yang efisien guna mengurangi waktu tunggu pelanggan di berbagai institusi pelayanan. Dengan analisis yang tepat, insinyur industri mampu menciptakan alur pelayanan yang lancar sehingga kepuasan pelanggan dapat meningkat secara drastis (Yifter *et al.*, 2023).

Peran Teknik Industri di sektor jasa mencakup manajemen operasional di lingkungan yang kompleks seperti rumah sakit hingga institusi perbankan. Di rumah sakit, misalnya, optimalisasi

dilakukan pada alur pasien serta ketersediaan fasilitas medis agar pelayanan kesehatan dapat berjalan lebih cepat dan tepat sasaran. Selain itu, bidang logistik dan distribusi juga menjadi ranah penting di mana pengaturan rute serta pengiriman barang dirancang sedemikian rupa untuk meminimalkan keterlambatan (Suleiman *et al.*, 2026). Melalui pendekatan sistematis ini, efisiensi di sektor jasa dapat tercapai setara dengan efisiensi yang ditemukan pada industri manufaktur modern.

1.3.3 Fungsi Utama

Fungsi utama dari keilmuan Teknik Industri dapat diklasifikasikan ke dalam tiga tahapan berkesinambungan, yaitu perancangan, perbaikan, dan implementasi sistem. Tahap perancangan melibatkan pembuatan konsep awal sebuah sistem baru yang mengintegrasikan manusia, material, dan teknologi secara harmonis. Setelah sistem berjalan, fungsi perbaikan muncul untuk melakukan analisis mendalam terhadap kekurangan yang ada guna mencari peluang peningkatan kinerja (Folgado *et al.*, 2024). Akhirnya, fungsi implementasi memastikan bahwa seluruh rancangan dan perbaikan tersebut dapat diterapkan secara nyata di lapangan dengan hasil yang sesuai rencana.

Ketiga fungsi utama tersebut secara konsisten diarahkan untuk mencapai tiga indikator kinerja puncak, yakni efisiensi, produktivitas, dan kualitas yang optimal. Efisiensi dicapai melalui penggunaan sumber daya yang seminimal mungkin untuk menghasilkan output yang maksimal. Produktivitas menjadi ukuran sejauh mana sistem mampu bekerja secara efektif dalam menghasilkan nilai tambah dalam jangka waktu tertentu. Terakhir, kualitas yang optimal menjamin bahwa seluruh output dari sistem tersebut memiliki nilai guna yang tinggi dan memenuhi standar kebutuhan pelanggan (Hegab *et al.*, 2023).

1.4 Pendekatan Sistem dan Teknik Industri

1.4.1 Elemen Sistem

Setiap sistem, baik dalam konteks manufaktur maupun penyediaan jasa, senantiasa terdiri dari beberapa elemen fundamental yang bekerja secara berkesinambungan. Elemen pertama adalah input, yang mencakup seluruh sumber daya mulai dari bahan baku, tenaga kerja, modal, hingga informasi yang masuk ke dalam sistem untuk diolah (Sidik, 2022). Selanjutnya, elemen proses berperan sebagai inti dari tahap transformasi di mana seluruh input tersebut dikonversi melalui serangkaian aktivitas atau metode kerja tertentu. Hasil akhir yang diperoleh dari tahap transformasi ini disebut sebagai output, yang dapat berwujud produk fisik yang nyata maupun layanan jasa yang ditujukan bagi pelanggan.

Selain ketiga elemen utama di atas, terdapat elemen umpan balik atau *feedback* yang memegang peran vital sebagai mekanisme pengendalian performa sistem (Amissah *et al.*, 2020). Informasi yang dihasilkan pada tahap output akan terus dipantau dan dibandingkan dengan standar serta tujuan awal yang telah ditetapkan oleh organisasi. Apabila ditemukan adanya ketidaksesuaian atau deviasi, sistem akan melakukan penyesuaian kembali pada tahap input atau proses guna memperbaiki kinerja operasional. Keberadaan siklus umpan balik yang efektif inilah yang menjamin stabilitas dan keberlanjutan suatu sistem industri dalam menghadapi dinamika lingkungan yang terus berubah.

1.4.2 Karakteristik Sistem

Setiap sistem yang dirancang dalam ruang lingkup Teknik Industri pada dasarnya harus memiliki tujuan akhir yang spesifik dan terukur. Tujuan ini berfungsi sebagai panduan arah bagi seluruh aktivitas operasional agar tetap berjalan selaras dengan visi strategis organisasi. Untuk mencapai tujuan yang besar tersebut,

sebuah sistem yang kompleks umumnya tidak berdiri sendiri, melainkan terdiri dari berbagai subsistem yang lebih kecil dan saling terorganisasi (Peretz *et al.*, 2023). Pemecahan ke dalam unit-unit subsistem ini sangat memudahkan para insinyur dalam melakukan pengelolaan, pengawasan, serta perbaikan pada tingkat yang lebih mendetail dan terfokus.

Selain itu, karakteristik fundamental lainnya yang mendefinisikan sebuah sistem adalah adanya interaksi yang terus-menerus antar elemen pembentuknya. Interaksi dinamis ini menciptakan sebuah jaringan ketergantungan, di mana setiap komponen akan saling mempengaruhi performa komponen yang lain dalam satu kesatuan kerja yang utuh. Pendekatan yang komprehensif terhadap karakteristik relasional ini memungkinkan dilakukannya analisis yang jauh lebih tajam terhadap berbagai permasalahan industri yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi (Bielik *et al.*, 2023). Oleh karena itu, kemampuan untuk memetakan serta memahami karakteristik interaksi ini menjadi kunci utama dalam melakukan pemodelan dan optimasi sistem secara menyeluruh.

1.4.3 Sistem Terbuka dan Tertutup

Berdasarkan pola interaksi dan ketergantungannya, sistem dalam disiplin Teknik Industri dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yakni sistem terbuka dan sistem tertutup. Sistem terbuka merupakan suatu model yang dirancang untuk secara aktif berinteraksi dengan lingkungan di luarnya guna menjaga keberlangsungan siklus operasional. Interaksi ini dapat terwujud dalam bentuk pertukaran informasi manajerial, penyerapan material bahan baku, hingga adaptasi berkelanjutan terhadap perubahan kebijakan ekonomi di tingkat global (Brown & Fowlin, 2022). Hampir sebagian besar entitas industri di dunia nyata beroperasi menggunakan karakteristik sistem terbuka ini karena

mereka harus senantiasa responsif terhadap dinamika eksternal agar mampu bertahan di pasar.

Sebaliknya, sistem tertutup didefinisikan sebagai sebuah entitas operasional yang beroperasi secara mandiri dan dirancang untuk sama sekali tidak berinteraksi dengan lingkungan eksternalnya. Dalam praktiknya, entitas yang sepenuhnya beroperasi sebagai sistem tertutup ini sangat jarang ditemukan pada skala makro, karena hampir tidak mungkin sebuah organisasi mengisolasi diri dari rantai pasok (Pinnetta *et al.*, 2023). Meskipun demikian, konsep dasar dari sistem tertutup ini masih sering diimplementasikan pada lingkungan laboratorium yang dikendalikan dengan sangat ketat. Pendekatan konseptual ini tetap memiliki nilai akademis yang berharga untuk mempelajari perilaku internal suatu mesin tanpa memikirkan adanya gangguan variabel acak dari luar.

1.5 Konsep Efisiensi, Produktivitas, dan Kualitas

1.5.1 Efisiensi dan Efektivitas

Dalam praktik manajemen operasional, efisiensi secara langsung berkaitan erat dengan kemampuan organisasi dalam melakukan penggunaan sumber daya secara optimal. Konsep ini sangat menekankan pada upaya metodis untuk meminimalkan pemborosan, baik dalam bentuk alokasi waktu, jumlah tenaga kerja, maupun pemakaian bahan baku, selama proses produksi berlangsung (Abreu *et al.*, 2024). Seorang insinyur industri dituntut untuk selalu memastikan bahwa setiap tahapan operasional mampu memberikan nilai tambah yang maksimal dengan biaya pengeluaran yang paling rendah. Oleh sebab itu, pengukuran tingkat efisiensi sering kali dijadikan indikator paling krusial untuk menilai seberapa cerdas sebuah sistem memanfaatkan seluruh *input* yang tersedia (Mohammed *et al.*, 2025).

Di sisi lain, efektivitas memiliki dimensi penilaian yang sedikit berbeda karena konsep ini lebih difokuskan pada tingkat pencapaian tujuan yang telah ditetapkan oleh pihak manajemen. Sebuah sistem industri dapat dikatakan efektif apabila wujud *output* yang dihasilkan benar-benar telah sesuai dengan ekspektasi awal, terlepas dari seberapa banyak pengorbanan sumber daya yang dihabiskan. Meskipun memiliki fokus penekanan yang berbeda secara teoretis, efektivitas dan efisiensi sama sekali tidak dapat dipisahkan secara ekstrem dalam penerapan praktisnya . Kombinasi yang seimbang antara melakukan pekerjaan dengan metode yang benar (efisiensi) serta mencapai hasil akhir yang tepat sasaran (efektivitas) merupakan resep utama dalam menciptakan operasional industri yang unggul.

1.5.2 Produktivitas

Produktivitas secara mendasar didefinisikan sebagai rasio perbandingan matematis antara total keluaran (*output*) yang berhasil dihasilkan berbanding dengan total masukan (*input*) yang telah digunakan. Konsep pengukuran rasio ini memberikan gambaran yang sangat objektif dan terukur mengenai seberapa baik suatu sistem mengelola ketersediaan sumber dayanya (Teixeira & Ferreira, 2025). Berdasarkan cakupan variabel elemen yang dievaluasi, pengukuran tingkat produktivitas pada umumnya dapat dibagi menjadi dua pendekatan analitis yang berbeda. Kedua pendekatan operasional tersebut secara lebih spesifik dikenal di kalangan praktisi sebagai produktivitas parsial dan produktivitas total.

Pendekatan produktivitas parsial merupakan sebuah rasio yang hanya membandingkan total *output* terhadap salah satu jenis spesifik dari komponen input, seperti misalnya waktu tenaga kerja atau modal investasi (Simanjuntak & Kusnadi, 2022). Di sisi lain, produktivitas total memberikan perspektif evaluasi yang jauh lebih menyeluruh karena ikut memperhitungkan keseluruhan komponen

input yang terlibat selama proses operasional. Evaluasi terhadap indeks produktivitas yang dilakukan secara berkala menjadi sangat esensial bagi organisasi industri modern. Melalui pemahaman analisis rasio yang tajam, pihak manajemen tingkat atas dapat merumuskan langkah perbaikan berkelanjutan guna memenangkan persaingan bisnis yang semakin ketat.

1.5.3 Kualitas

Kualitas di dalam konteks ekosistem operasional pada hakikatnya merupakan representasi dari tingkat kesesuaian suatu produk atau layanan jasa terhadap tuntutan kebutuhan pelanggan. Pemenuhan tolok ukur standar kualitas ini tidak hanya terbatas pada penampilan karakteristik fisik barang, tetapi juga sangat memperhatikan konsistensi performa saat produk tersebut digunakan oleh masyarakat. Perancangan standar mutu yang superior idealnya harus ditanamkan secara terintegrasi sejak awal tahapan konseptualisasi pengembangan desain (Pereira *et al.*, 2025). Pendekatan terpadu semacam ini akan menjaga agar operasional senantiasa berorientasi teguh pada upaya maksimal dalam memuaskan ekspektasi konsumen.

Ketiga konsep fundamental yang meliputi efisiensi, produktivitas, serta kualitas memiliki ikatan keterkaitan yang tidak dapat dipisahkan secara teoretis maupun pada tatanan praktis. Peningkatan capaian produktivitas tanpa diimbangi oleh pengawasan standar mutu pada akhirnya hanya akan menciptakan kerugian yang diakibatkan oleh produk cacat. Begitu pula sebaliknya, pencapaian kualitas yang prima tetapi diperoleh lewat proses kerja yang tidak efisien akan menyebabkan pemborosan sumber daya sistem (Pereira *et al.*, 2025). Oleh karena alasan tersebut, ketiganya secara kolektif selalu diandalkan sebagai indikator utama yang paling merepresentasikan tingkat performa operasional dari sebuah entitas industri.

1.6 Tantangan dan Isu Kontemporer

Disiplin pengetahuan Teknik Industri mengembangkan cakupan keilmuan yang teramat luas untuk menjawab tantangan dan kompleksitas permasalahan operasional di segala sektor lapangan. Berbagai cabang keahlian teknis ini akan selalu bersinggungan secara dinamis serta saling melengkapi demi membentuk satu kerangka analisis pemikiran sistemik yang tangguh (Roopa *et al.*, 2024). Pemecahan fokus konsentrasi disiplin ilmu ini sengaja dirancang agar para praktisi bisa menajamkan spesialisasi kompetensinya menyesuaikan permintaan industri. Secara terstruktur, kurikulum pengetahuan Teknik Industri merangkum berbagai bidang kajian terapan yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Ruiz *et al.*, 2024), (Li, 2026):

1. Perancangan Sistem Kerja
Bidang peminatan analitis ini memusatkan fokusnya secara spesifik pada pencarian metode peningkatan efisiensi kerja yang dilakukan oleh sumber daya manusia.
2. Riset Operasi
Area analitik terapan yang selalu mengandalkan formulasi model matematis yang presisi demi mendukung manajemen puncak dalam mengambil keputusan strategis.
3. Manajemen Rantai Pasok
Spesialisasi operasional krusial yang mengurus kelancaran pengelolaan dan aliran pertukaran pergerakan barang maupun informasi secara terstruktur.
4. Sistem Produksi
Sebuah cabang kompetensi keilmuan sentral yang difokuskan pada perancangan arsitektur operasional sekaligus upaya pengendalian konstan terhadap proses produksi pabrik.
5. Ergonomi

Disiplin pendukung esensial yang bertugas menjamin adanya penyesuaian harmonis dari seluruh tata letak fasilitas dan sistem kerja dengan keterbatasan tubuh manusia.

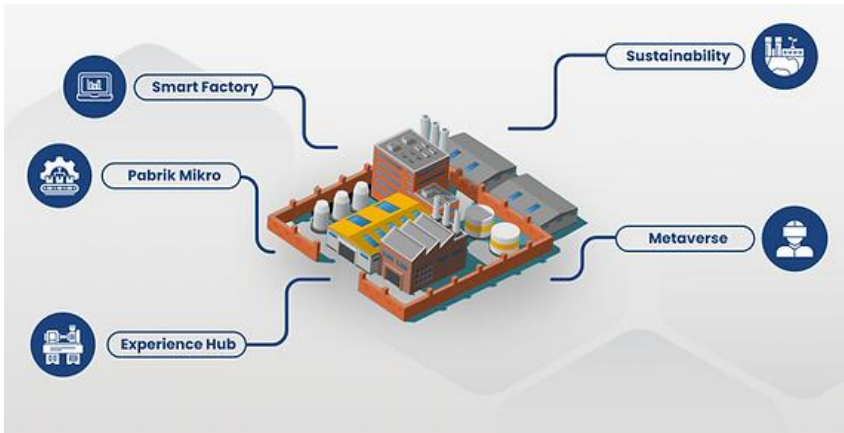
6. Sistem Informasi Industri

Bidang penerapan mutakhir yang menitikberatkan fungsi praktis dari proses integrasi infrastruktur teknologi informasi berkinerja tinggi ke dalam sistem industri.

1.7 Tantangan dan Tren Masa Depan Teknik Industri

1.7.1 Digitalisasi dan Otomasi Cerdas

Pilar pertama yang menjadi tantangan sekaligus tren masa depan adalah masifnya gelombang digitalisasi melalui penerapan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Machine Learning*. Teknologi algoritma cerdas ini terintegrasi secara langsung dan mendalam ke dalam sistem pemeliharaan prediktif, pendeteksian cacat secara otonom, serta analitik kontrol kualitas di rantai produksi (Reimer & Pistorius, 2023). Selain itu, pengembangan arsitektur *Industrial Internet of Things* (IIoT) dan komputasi tepi (*Edge Computing*) memungkinkan seluruh sensor serta perangkat fisik pabrik untuk saling terhubung tanpa jeda waktu yang berarti. Infrastruktur jaringan nirkabel berskala masif ini sangat krusial perannya dalam memfasilitasi pemantauan kinerja operasional secara *real-time* serta mendukung pengambilan keputusan korektif yang sangat cepat.



**Gambar 1. 3 Trend Industri 5.0
(Machine Vision Indonesia, 2025)**

Tren teknologi pada sub-bidang digitalisasi ini semakin diperkuat dengan pemanfaatan *Digital Twin* sebagai replika virtual interaktif dari sebuah sistem operasional fisik yang nyata. Konsep canggih ini memberikan ruang gerak bebas bagi para praktisi untuk menguji berbagai skenario optimasi proses secara presisi tanpa harus menanggung risiko kegagalan mesin di dunia nyata. Tidak ketinggalan, inovasi kolaborasi langsung antara pekerja manusia dengan robotika tingkat lanjut (*Cobots*) kini dirancang secara khusus guna menjamin standar keselamatan kerja sambil terus menggenjot angka efisiensi. Adopsi perangkat visual seperti *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) juga mulai diwajibkan oleh industri modern guna mendukung program pelatihan operator, memandu pemecahan masalah teknis jarak jauh, hingga memberikan instruksi perawatan mesin yang sangat interaktif (Wibowo, 2023).

1.7.2 Keberlanjutan (*Sustainability*) dan Manufaktur Sirkular

Tantangan strategis kedua yang tidak kalah menonjolnya adalah tuntutan regulasi global untuk secara ketat mengimplementasikan prinsip-prinsip keberlanjutan (*sustainability*) dalam proses perancangan sistem industri. Era operasional manufaktur modern secara meyakinkan mewajibkan adanya transisi fundamental menuju konsep industri hijau yang sepenuhnya memikirkan keseimbangan kelestarian ekosistem bumi. Fokus utama dari penyelesaian tantangan berkelanjutan ini terletak pada upaya analitis dalam memaksimalkan tingkat efisiensi penggunaan material dasar industri dan mempercepat transisi peralihan menuju penggunaan sumber energi bersih (Golinska-dawson *et al.*, 2023). Pergeseran paradigma operasional ini menjadi sebuah langkah krusial yang mutlak diambil untuk meminimalkan jejak karbon pabrik serta mencegah eksploitasi berlebihan terhadap ketersediaan sumber daya alam.

Sebagai bentuk solusi operasional yang konkret, penerapan praktik manufaktur sirkular (*circular manufacturing*) kini secara bertahap mulai menjadi standar operasional wajib di berbagai korporasi multinasional tingkat global. Pendekatan sirkular berkesinambungan ini dirancang secara khusus untuk menekan angka buangan sisa limbah akhir produksi hingga titik seminimal mungkin dengan cara mendaur ulang komponen secara cerdas (Sari *et al.*, 2025). Selain itu, praktik ini juga sangat menitikberatkan pada langkah modifikasi desain untuk memperpanjang usia serta siklus hidup pemakaian suatu produk di tangan konsumen. Seorang insinyur industri di masa transisi ini pada akhirnya memikul beban tanggung jawab profesional yang teramat besar dalam menentukan kelayakan dan masa depan keberlangsungan ekologi tempat kita hidup .

1.7.3 Kompleksitas Sistem dan Ketangguhan Rantai Pasok

Tren analitik mutakhir selanjutnya memiliki kaitan yang sangat kuat dengan fenomena lonjakan kompleksitas sistem pada seluruh jaringan tata operasional industri skala global (Faqih, 2025). Seiring dengan meluasnya ekspansi pasar komersial hingga menembus batas antar benua, sistem distribusi barang yang terbangun berubah menjadi sebuah entitas manajemen yang teramat rumit. Arsitektur rantai pasok global pada era kompetitif ini tidak lagi hanya diukur performanya dari seberapa murah biaya logistik yang dikeluarkan untuk memindahkan suatu barang jadi. Jaringan logistik modern tersebut kini sangat diwajibkan untuk dikonfigurasi ulang secara analitis agar memiliki level ketangguhan (*Supply Chain Resilience*) yang kokoh ketika sewaktu-waktu berhadapan dengan gejolak disrupsi pasar (Abera, 2024).

1.7.4 Pendekatan Desain Berpusat pada Manusia

Di tengah gegap gempita implementasi teknologi kecerdasan buatan dan masifnya mesin otomatisasi pabrik, kebangkitan filosofi *Human-Centered Design* secara ironis kembali mengemuka menjadi fondasi esensial (He *et al.*, 2023). Kehadiran deretan mesin cerdas berbasis sensor komputasi memang telah tervalidasi mampu mengeksekusi sebagian besar pekerjaan teknis yang berulang dengan tingkat presisi yang nyaris sempurna. Akan tetapi, peran krusial dan hak atas jaminan kesejahteraan keselamatan dari tenaga kerja fisik manusia sama sekali tidak boleh dilupakan eksistensinya dalam rancangan tata kelola ekosistem pabrik modern. Pendekatan metodologi perancangan yang bersifat holistik ini berani menegaskan komitmen nyata perusahaan dalam upayanya menghadirkan sebuah area lingkungan kerja yang sehat, terjamin keamanannya, dan terbangun secara ergonomis.

Pengimplementasian tata nilai desain berpusat pada sisi humanis ini juga ditujukan untuk senantiasa memperhatikan serta melindungi aspek kesehatan mental psikologis para tenaga kerja

operasional (Faqih, 2025). Aspek kestabilan mental di ruang kerja saat ini telah mendapatkan porsi analisis penilaian yang setara signifikansinya dengan perhitungan evaluasi beban batas ketahanan kerja fisik harian. Sasaran paripurna dari integrasi ilmu ini tiada lain adalah membangun sebuah bentuk harmoni interaksi kerja yang setara antara tingkat keandalan presisi teknologi modern dengan daya nalar fleksibilitas otak manusia. Pada akhirnya, peleburan sinergis yang saling melengkapi kelebihan masing-masing inilah yang diproyeksikan akan sukses melahirkan sistem kerja industri yang produktif, berorientasi maju, namun tidak pernah tercerabut dari akar nilai kemanusiaannya (Grabowska *et al.*, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Abera, Y. A. (2024). *Sustainable building materials: A comprehensive study on eco-friendly alternatives for construction*. 33, 1–17. <https://doi.org/10.1177/26349833241255957>
- Abreu, M., Alves, A., & Moreira, F. (2024). Business Overall Performance and Sustainability Effectiveness: An Indicator to Measure Companies' Lean-Green Compliance. *Sustainability*, 16, 4508. <https://doi.org/10.3390/su16114508>
- Ade, I. D., Nyoman, N. I., Ni, S., & Listiawati, P. (2026). *Analisis Quality Control dalam Meningkatkan Proses Produksi dan Kepuasan Pelanggan Abstrak Pendahuluan*. 9(1), 348–364.
- Adel, A. (2023). *smart cities Unlocking the Future : Fostering Human – Machine Collaboration and Driving Intelligent Automation through Industry 5 . 0 in Smart Cities*. 2742–2782.
- Alojaiman, B. (2023). *Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions*.
- Amissah, M., Gannon, T., & Monat, J. (2020). *What is Systems Thinking ? Expert Perspectives from the WPI Systems Thinking Colloquium of 2 October 2019*. October 2019, 1–26.
- Anatan, L. (2022). Strategi Memenangkan Persaingan Bisnis Era Industri 4.0. *Jurnal ABDINUS: Jurnal Pengabdian Nusantara*, 6, 195–202. <https://doi.org/10.29407/ja.v6i1.14971>

- Badenko, V., Yadykin, V., Kamsky, V., Mohireva, A., Bezborodov, A., Badenko, V., Yadykin, V., Kamsky, V., Mohireva, A., & Bezborodov, A. (2024). *Method Developing Architecture of Existing Industrial Objects for Digital Representation Tasks*.
- Bielik, T., Krell, M., Zangori, L., & Ben Zvi Assaraf, O. (2023). Editorial: Investigating complex phenomena: bridging between systems thinking and modeling in science education. *Frontiers in Education, Volume 8-2023*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1308241>
- Brown, S., & Fowlin, J. (2022). Open systems, closed interventions? A way forward requires systems thinking. *Industrial and Organizational Psychology, 15*, 95–98. <https://doi.org/10.1017/iop.2021.138>
- Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control, 32*(13), 1084–1101. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784485>
- Faqih, M. (2025). *Manajemen holistik*.
- Folgado, F. J., David Calderón, I. G., & Calderón, A. J. (2024). *Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends*.
- Golinska-dawson, P., Werner-lewandowska, K., Kolinska, K., & Kolinski, A. (2023). *Impact of Market Drivers on the Digital Maturity of Logistics Processes in a Supply Chain*. 1–19.

- Grabowska, S., Saniuk, S., & Gajdzik, B. (2022). Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. *Scientometrics*, 127(6), 3117–3144. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>
- Hasan, M. M. (2024). *INDUSTRIAL ENGINEERING APPROACHES TO QUALITY CONTROL IN HYBRID MANUFACTURING A REVIEW OF IMPLEMENTATION STRATEGIES*. June, 1–30. <https://doi.org/10.63125/3xcabx98>
- He, C., Shi, H., Si, J., & Li, J. (2023). Physics-informed interpretable wavelet weight initialization and balanced dynamic adaptive threshold for intelligent fault diagnosis of rolling bearings. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 579–592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.08.014>
- Hegab, H., Shaban, I., Jamil, M., & Khanna, N. (2023). Toward sustainable future: Strategies, indicators, and challenges for implementing sustainable production systems. *Sustainable Materials and Technologies*, 36, e00617. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00617>
- IISE. (2026). *Body of Knowledge*. <https://www.iise.org/Details.aspx?id=43631>
- Jaya, D. J., Ernawati, E., Triyono, M. B., Sudira, P., & Raharjo, N. E. (2025). Peluang dan tantangan pendidikan vokasional menghadapi era revolusi industri 4.0. *Journal of Vocational and Technical Education*, 39–48.
- Leithardt, D. R. F., Reis, V., & Leithardt, Q. (2022). *education sciences Executive Functions , Motor Development , and Digital Games Applied to Elementary School Children : A Systematic Mapping Study*.

- Li, J. (2026). Part II: Industrial Information Integration Review 2020–2025. *Journal of Emerging Technologies With Industrial Applications*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.53941/jetia.2026.100002>
- Machine Vision Indonesia. (2025). *2025 Outlook: 5 Tren Industri Manufaktur yang Akan Mendominasi di Tahun Depan*. <https://www.machinevision.global/post/5-tren-industri-di-tahun-2025>
- Mangaroo-pillay, M., & Coetzee, R. (2022). *Lean Frameworks : A Systematic Literature Review (SLR) Investigating Methods and Design Elements*. 15(2), 202–214.
- Mohammed, A., Rahman, M., Demir, G., & Shah, B. (2025). *When warehouses dream : a systems-informed exploration of Industry 5 . 0 principles in warehousing performance management*. 2674, 0–40. <https://doi.org/10.1080/23302674.2025.2559257>
- Musarat, M. A., Irfan, M., Alaloul, W. S., Maqsoom, A., & Ghufuran, M. (2023). *A Review on the Way Forward in Construction through Industrial Revolution 5 . 0*.
- Pereira, M. D. S., Castro, B. S. De, Cordeiro, B. A., Castro, B. S. De, Gabriela, M., Peixoto, M., Cornils, E., & Gonçalves, M. C. (2025). *Factors of Customer Loyalty and Retention in the Digital Environment*. 1–21.
- Peretz, R., Dori, D., & Dori, Y. J. (2023). Developing and assessing pre- and in-service science and engineering teachers' systems thinking and modeling skills through an asynchronous online course. *Frontiers in Education*, Volume 8-2023. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1154893>

- Pinnetta, G., Adamini, A., Severina, F., Fagioli, F., Zanini, C., & Ferrero, I. (2023). *Evaluating Ecological Impact and Sustainability in the Manufacturing of Advanced Therapies: Comparative Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Production of ATMPs in Open and Closed Systems*.
- Poazi, F. D. W., & Timi, E. M. (2024). A REVIEW AND PRACTICE OF CLASSICAL AND CONTEMPORARY MANAGEMENT THEORIES: THE ACCEPTABILITY, RELEVANCE AND CHALLENGES OF AFRICAN ORGANISATIONS. *International Journal of Management and Social Sciences*, 10(4), 136–147.
- Reimer, T., & Pistorius, S. (2023). *Review and Analysis of Tumour Detection and Image Quality Analysis in Experimental Breast Microwave Sensing*. 1–29.
- Reyes, J., Mula, J., & Díaz-madroñero, M. (2023). The Management of Operations Development of a conceptual model for lean supply chain planning in industry 4 . 0 : multidimensional analysis for operations management. *Production Planning & Control*, 34(12), 1209–1224. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1993373>
- Roopa, M., & Siriram, R. (2024). *Exploring Industrial Engineering Knowledge and Environmental Sustainability*.
- Roopa, M., Siriram, R., & Coetzee, R. (2024). Exploring Industrial Engineering Knowledge and Environmental Sustainability. *Sustainability*, 16, 7392. <https://doi.org/10.3390/su16177392>
- Ruiz, A., Torre, D., Borregan, J., Pikatza, N., & Maria, R. (2024). *Integrating human-centric simulations in educational production lines : advancing ergonomics for industry 5 . 0 applications*. 12, 141–157.

- Sari, U., Rusdiantini, S., Novianti, S., Samawa, U., Besar, S., Info, A., History, A., Economy, C., Industry, M., & Waste, R. (2025). *EKONOMI SIRKULAR DALAM INDUSTRI MANUFAKTUR : STRATEGI UNTUK MENGURANGI LIMBAH DAN*. 230–239.
- Sherif, Z., & Saloniitis, K. (2025). A systematic review of decision tools for process selection and performance improvement in manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1113–1141. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16806-y>
- Sidik, F. (2022). INPUT, PROCESS AND OUTPUT SYSTEM THEORY APPROACH IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS. *Irfani*, 18, 34–40. <https://doi.org/10.30603/ir.v18i1.2658>
- Simanjuntak, K., & Kusnadi. (2022). *Analisis Produktifitas Pekerja Dengan Metode Produktifitas Parsial (Studi Kasus : PT. XYZ)*. 8(12), 151–155.
- Souza, A. P. N. de, Silva, G. F. S. da, Darzé, B. C., Senra, A. V. D., & Senra, J. D. (2025). *BRIEF REFLECTIONS ON THE 4th INDUSTRIAL REVOLUTION AND ITS IMPACT IN CHEMICAL SCIENCES*. 48(1), 1–10.
- Sukma, F. H., & Supriyono. (2025). *Pengantar teknik industri*.
- Suleiman, B. A., Shalmashi, P., Won, D., West, C., & Ghali, H. (2026). *efficiency in human and veterinary hospitals : a scoping review*. 1–11.
- Teixeira, A. R., & Ferreira, J. V. (2025). *Intelligent Supply Chain Management : A Systematic Literature Review on Artificial Intelligence Contributions*.
- Try, P., Schöllmann, S., Wöhle, L., & Gebhard, M. (2021). *sensors Visual Sensor Fusion Based Autonomous Robotic System for Assistive Drinking*.

- Warnecke, H. J., & Hüser, M. (1995). Lean production. *International Journal of Production Economics*, 41(1), 37–43. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00080-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00080-1)
- Wibowo, A. (2023). *Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0*.
- Wren, D. A. (2011). *The Centennial of The Principles of Scientific Management : A Retrospective Commentary*. 11–22.
- Ye, Y., & Lau, K. H. (2022). *Competitive Green Supply Chain Transformation with Dynamic Capabilities — An Exploratory Case Study of Chinese Electronics Industry*.
- Yifter, T., Mengstenew, M., Yoseph, S., & Moges, W. (2023). Modeling and simulation of queuing system to improve service quality at commercial bank of Ethiopia Modeling and simulation of queuing system to improve service quality at commercial bank of. *Cogent Engineering*, 10(2). <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2274522>
- Abera, Y. A. (2024). *Sustainable building materials: A comprehensive study on eco-friendly alternatives for construction*. 33, 1–17. <https://doi.org/10.1177/26349833241255957>
- Abreu, M., Alves, A., & Moreira, F. (2024). Business Overall Performance and Sustainability Effectiveness: An Indicator to Measure Companies' Lean-Green Compliance. *Sustainability*, 16, 4508. <https://doi.org/10.3390/su16114508>
- Ade, I. D., Nyoman, N. I., Ni, S., & Listiawati, P. (2026). *Analisis Quality Control dalam Meningkatkan Proses Produksi dan Kepuasan Pelanggan Abstrak Pendahuluan*. 9(1), 348–364.

- Adel, A. (2023). *smart cities Unlocking the Future : Fostering Human – Machine Collaboration and Driving Intelligent Automation through Industry 5 . 0 in Smart Cities*. 2742–2782.
- Alojaiman, B. (2023). *Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions*.
- Amissah, M., Gannon, T., & Monat, J. (2020). *What is Systems Thinking ? Expert Perspectives from the WPI Systems Thinking Colloquium of 2 October 2019*. October 2019, 1–26.
- Anatan, L. (2022). Strategi Memenangkan Persaingan Bisnis Era Industri 4.0. *Jurnal ABDINUS : Jurnal Pengabdian Nusantara*, 6, 195–202. <https://doi.org/10.29407/ja.v6i1.14971>
- Badenko, V., Yadykin, V., Kamsky, V., Mohireva, A., Bezborodov, A., Badenko, V., Yadykin, V., Kamsky, V., Mohireva, A., & Bezborodov, A. (2024). *Method Developing Architecture of Existing Industrial Objects for Digital Representation Tasks*.
- Bielik, T., Krell, M., Zangori, L., & Ben Zvi Assaraf, O. (2023). Editorial: Investigating complex phenomena: bridging between systems thinking and modeling in science education. *Frontiers in Education, Volume 8-2023*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1308241>
- Brown, S., & Fowlin, J. (2022). Open systems, closed interventions? A way forward requires systems thinking. *Industrial and Organizational Psychology*, 15, 95–98. <https://doi.org/10.1017/iop.2021.138>

- Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 32(13), 1084–1101. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784485>
- Faqih, M. (2025). *Manajemen holistik*.
- Folgado, F. J., David Calderón, I. G., & Calderón, A. J. (2024). *Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends*.
- Golinska-dawson, P., Werner-lewandowska, K., Kolinska, K., & Kolinski, A. (2023). *Impact of Market Drivers on the Digital Maturity of Logistics Processes in a Supply Chain*. 1–19.
- Grabowska, S., Saniuk, S., & Gajdzik, B. (2022). Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. *Scientometrics*, 127(6), 3117–3144. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>
- Hasan, M. M. (2024). *INDUSTRIAL ENGINEERING APPROACHES TO QUALITY CONTROL IN HYBRID MANUFACTURING A REVIEW OF IMPLEMENTATION STRATEGIES*. June, 1–30. <https://doi.org/10.63125/3xcabx98>
- He, C., Shi, H., Si, J., & Li, J. (2023). Physics-informed interpretable wavelet weight initialization and balanced dynamic adaptive threshold for intelligent fault diagnosis of rolling bearings. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 579–592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.08.014>

- Hegab, H., Shaban, I., Jamil, M., & Khanna, N. (2023). Toward sustainable future: Strategies, indicators, and challenges for implementing sustainable production systems. *Sustainable Materials and Technologies*, 36, e00617. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00617>
- IISE. (2026). *Body of Knowledge*. <https://www.iise.org/Details.aspx?id=43631>
- Jaya, D. J., Ernawati, E., Triyono, M. B., Sudira, P., & Raharjo, N. E. (2025). Peluang dan tantangan pendidikan vokasional menghadapi era revolusi industri 4.0. *Journal of Vocational and Technical Education*, 39–48.
- Leithardt, D. R. F., Reis, V., & Leithardt, Q. (2022). *education sciences Executive Functions , Motor Development , and Digital Games Applied to Elementary School Children : A Systematic Mapping Study*.
- Li, J. (2026). Part II: Industrial Information Integration Review 2020–2025. *Journal of Emerging Technologies With Industrial Applications*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.53941/jetia.2026.100002>
- Machine Vision Indonesia. (2025). *2025 Outlook: 5 Tren Industri Manufaktur yang Akan Mendominasi di Tahun Depan*. <https://www.machinevision.global/post/5-tren-industri-di-tahun-2025>
- Mangaroo-pillay, M., & Coetzee, R. (2022). *Lean Frameworks : A Systematic Literature Review (SLR) Investigating Methods and Design Elements*. 15(2), 202–214.

- Mohammed, A., Rahman, M., Demir, G., & Shah, B. (2025). *When warehouses dream : a systems-informed exploration of Industry 5 . 0 principles in warehousing performance management*. 2674, 0–40. <https://doi.org/10.1080/23302674.2025.2559257>
- Musarat, M. A., Irfan, M., Alaloul, W. S., Maqsoom, A., & Ghufuran, M. (2023). *A Review on the Way Forward in Construction through Industrial Revolution 5 . 0*.
- Pereira, M. D. S., Castro, B. S. De, Cordeiro, B. A., Castro, B. S. De, Gabriela, M., Peixoto, M., Cornils, E., & Gonçalves, M. C. (2025). *Factors of Customer Loyalty and Retention in the Digital Environment*. 1–21.
- Peretz, R., Dori, D., & Dori, Y. J. (2023). Developing and assessing pre- and in-service science and engineering teachers' systems thinking and modeling skills through an asynchronous online course. *Frontiers in Education, Volume 8-2023*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1154893>
- Pinnetta, G., Adamini, A., Severina, F., Fagioli, F., Zanini, C., & Ferrero, I. (2023). *Evaluating Ecological Impact and Sustainability in the Manufacturing of Advanced Therapies: Comparative Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Production of ATMPs in Open and Closed Systems*.
- Poazi, F. D. W., & Timi, E. M. (2024). A REVIEW AND PRACTICE OF CLASSICAL AND CONTEMPORARY MANAGEMENT THEORIES: THE ACCEPTABILITY, RELEVANCE AND CHALLENGES OF AFRICAN ORGANISATIONS. *International Journal of Management and Social Sciences*, 10(4), 136–147.

- Reimer, T., & Pistorius, S. (2023). *Review and Analysis of Tumour Detection and Image Quality Analysis in Experimental Breast Microwave Sensing*. 1–29.
- Reyes, J., Mula, J., & Díaz-madroñero, M. (2023). The Management of Operations Development of a conceptual model for lean supply chain planning in industry 4 . 0 : multidimensional analysis for operations management. *Production Planning & Control*, 34(12), 1209–1224. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1993373>
- Roopa, M., & Siriram, R. (2024). *Exploring Industrial Engineering Knowledge and Environmental Sustainability*.
- Roopa, M., Siriram, R., & Coetzee, R. (2024). Exploring Industrial Engineering Knowledge and Environmental Sustainability. *Sustainability*, 16, 7392. <https://doi.org/10.3390/su16177392>
- Ruiz, A., Torre, D., Borregan, J., Pikatza, N., & Maria, R. (2024). *Integrating human-centric simulations in educational production lines : advancing ergonomics for industry 5 . 0 applications*. 12, 141–157.
- Sari, U., Rusdiantini, S., Novianti, S., Samawa, U., Besar, S., Info, A., History, A., Economy, C., Industry, M., & Waste, R. (2025). *EKONOMI SIRKULAR DALAM INDUSTRI MANUFAKTUR : STRATEGI UNTUK MENGURANGI LIMBAH DAN*. 230–239.
- Sherif, Z., & Salonitis, K. (2025). A systematic review of decision tools for process selection and performance improvement in manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1113–1141. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16806-y>

- Sidik, F. (2022). INPUT, PROCESS AND OUTPUT SYSTEM THEORY APPROACH IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS. *Irfani*, 18, 34–40. <https://doi.org/10.30603/ir.v18i1.2658>
- Simanjuntak, K., & Kusnadi. (2022). *Analisis Produktifitas Pekerja Dengan Metode Produktifitas Parsial (Studi Kasus : PT. XYZ)*. 8(12), 151–155.
- Souza, A. P. N. de, Silva, G. F. S. da, Darzé, B. C., Senra, A. V. D., & Senra, J. D. (2025). *BRIEF REFLECTIONS ON THE 4th INDUSTRIAL REVOLUTION AND ITS IMPACT IN CHEMICAL SCIENCES*. 48(1), 1–10.
- Sukma, F. H., & Supriyono. (2025). *Pengantar teknik industri*.
- Suleiman, B. A., Shalmashi, P., Won, D., West, C., & Ghali, H. (2026). *efficiency in human and veterinary hospitals : a scoping review*. 1–11.
- Teixeira, A. R., & Ferreira, J. V. (2025). *Intelligent Supply Chain Management : A Systematic Literature Review on Artificial Intelligence Contributions*.
- Try, P., Schöllmann, S., Wöhle, L., & Gebhard, M. (2021). *sensors Visual Sensor Fusion Based Autonomous Robotic System for Assistive Drinking*.
- Warnecke, H. J., & Hüser, M. (1995). Lean production. *International Journal of Production Economics*, 41(1), 37–43. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00080-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00080-1)
- Wibowo, A. (2023). *Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0*.
- Wren, D. A. (2011). *The Centennial of The Principles of Scientific Management : A Retrospective Commentary*. 11–22.
- Ye, Y., & Lau, K. H. (2022). *Competitive Green Supply Chain Transformation with Dynamic Capabilities — An Exploratory Case Study of Chinese Electronics Industry*.

Yifter, T., Mengstenew, M., Yoseph, S., & Moges, W. (2023). Modeling and simulation of queuing system to improve service quality at commercial bank of Ethiopia Modeling and simulation of queuing system to improve service quality at commercial bank of. *Cogent Engineering*, 10(2). <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2274522>

BAB 2

PERANCANGAN LOKASI DAN TATA LETAK FASILITAS INDUSTRI

Oleh Palmadi Putri Surya Negara

Merancang lokasi dan tata letak fasilitas industri adalah proses kompleks yang melibatkan pendekatan simultan, dengan mempertimbangkan karakteristik tata letak dan aspek desain. (Barbosa-Povoa *et al.*, 2002). Merancang lokasi dan tata letak fasilitas industri adalah proses kompleks yang secara signifikan berdampak pada daya saing bisnis. Ini melibatkan perencanaan strategis untuk mengoptimalkan ruang fisik untuk operasi, meminimalkan limbah dan meningkatkan produktivitas. Memanfaatkan simulasi proses dan metodologi seperti Systematic Layout Planning (SLP) memungkinkan perusahaan untuk mengevaluasi berbagai alternatif tata letak, memastikan alokasi sumber daya dan alur kerja yang efisien.

Desain yang tepat dapat menyebabkan pengurangan substansial dalam biaya operasional dan peningkatan efisiensi secara keseluruhan, yang pada akhirnya mendorong profitabilitas dan keberlanjutan di pasar yang kompetitif (Orozco & Cervera, 2013). Berdasarkan pengertian diatas Perancangan lokasi dan tata letak fasilitas industri

merupakan keputusan strategis yang sangat menentukan keberhasilan suatu sistem produksi. Lokasi fasilitas industri akan memengaruhi ketersediaan bahan baku, biaya transportasi, akses pasar, tenaga kerja, serta keberlanjutan usaha dalam jangka panjang.

Sementara itu, tata letak fasilitas berperan penting dalam mengatur aliran material, manusia, dan informasi agar proses produksi dapat berjalan secara efisien, aman, dan produktif. Dalam konteks industri modern, khususnya agroindustri, perancangan lokasi dan tata letak tidak hanya berorientasi pada efisiensi biaya, tetapi juga harus mempertimbangkan aspek kualitas produk, keamanan pangan, lingkungan, serta regulasi yang berlaku. Kesalahan dalam menentukan lokasi atau merancang tata letak fasilitas dapat menyebabkan pemborosan waktu, meningkatnya biaya material handling, terjadinya bottleneck proses, hingga menurunnya daya saing industri.

Perancangan lokasi fasilitas industri umumnya merupakan keputusan jangka panjang yang sulit untuk diubah, sehingga memerlukan analisis yang komprehensif dengan mempertimbangkan faktor ekonomi, teknis, sosial, dan lingkungan. Sebaliknya, perancangan tata letak fasilitas bersifat lebih operasional dan dinamis, namun tetap memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi aliran proses dan keselamatan kerja. Kedua aspek ini saling berkaitan dan harus dirancang secara terintegrasi untuk mencapai kinerja sistem yang optimal. Seiring dengan perkembangan industri dan teknologi, pendekatan perancangan lokasi dan tata letak fasilitas juga mengalami evolusi. Jika sebelumnya keputusan lebih banyak didasarkan pada intuisi dan pengalaman, saat ini perancangan dilakukan menggunakan pendekatan sistematis

dan kuantitatif, seperti analisis biaya, pemodelan aliran, serta metode optimasi. Pendekatan ini sejalan dengan peran Teknik Industri sebagai disiplin yang mengintegrasikan aspek rekayasa dan manajerial.

Bab ini membahas konsep, faktor, dan metode perancangan lokasi serta tata letak fasilitas industri dalam konteks Teknik Industri. Pembahasan difokuskan pada industri secara umum, baik manufaktur maupun jasa, dengan tujuan memberikan pemahaman dasar yang kuat mengenai bagaimana keputusan lokasi dan tata letak dapat digunakan sebagai alat untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan daya saing sistem industri.

2.1 Faktor-Faktor Penentuan Lokasi Fasilitas Industri

Menentukan lokasi fasilitas industri adalah keputusan beragam yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor ini dapat dikategorikan secara luas ke dalam pertimbangan umum, ekonomi, dan strategis, masing-masing memainkan peran penting dalam proses pengambilan keputusan. Pilihan lokasi tidak hanya tentang kebutuhan operasional langsung tetapi juga melibatkan perencanaan strategis jangka panjang untuk memastikan daya saing dan keberlanjutan.

2.1.1 Faktor Ekonomi

Faktor ekonomi yang menentukan lokasi fasilitas industri meliputi permintaan pasar, ketersediaan tenaga kerja, daya saing biaya, dan akses ke modal. Unsur-unsur ini secara signifikan mempengaruhi komposisi industri, karena

kota-kota dengan permintaan pasar yang tinggi menarik lebih banyak industri. Selain itu, ketersediaan tenaga kerja terampil dan biaya operasional yang kompetitif meningkatkan daya tarik kota untuk pengembangan industri. Akses ke modal sangat penting untuk investasi dalam infrastruktur dan teknologi, yang selanjutnya membentuk lanskap industri. Bersama-sama, faktor-faktor ini menciptakan lingkungan yang dinamis untuk pertumbuhan industri di kota-kota yang kaya sumber daya (Ni, 2023). Faktor ekonomi merupakan pertimbangan utama dalam pemilihan lokasi fasilitas industri. Faktor ini meliputi biaya lahan, biaya pembangunan, biaya tenaga kerja, biaya transportasi, serta biaya operasional jangka panjang. Lokasi yang menawarkan biaya investasi rendah belum tentu optimal jika menyebabkan biaya distribusi atau biaya logistik menjadi tinggi. Oleh karena itu, analisis biaya total (*total cost analysis*) menjadi pendekatan penting dalam mengevaluasi faktor ekonomi.

2.1.2 Faktor Tenaga Kerja

Penentuan lokasi fasilitas industri sangat dipengaruhi oleh faktor tenaga kerja karena berhubungan langsung dengan efisiensi operasional, biaya produksi, dan keberhasilan jangka panjang fasilitas. Ketersediaan tenaga kerja terampil menjadi pertimbangan utama karena tenaga kerja yang kompeten dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi kebutuhan pelatihan (Woharn *et al.*, 2010). Lokasi dengan pasokan tenaga kerja yang memadai memungkinkan perusahaan beroperasi secara lebih efisien dan stabil. Biaya tenaga kerja juga merupakan faktor penting dalam menentukan lokasi. Perusahaan berupaya memilih lokasi yang memungkinkan keseimbangan antara tingkat

upah dan produktivitas tenaga kerja (Ehichoya & Uhunoma, 2025). Di wilayah dengan persaingan tenaga kerja tinggi, perusahaan mungkin perlu menawarkan upah lebih besar untuk menarik dan mempertahankan pekerja terampil, yang berdampak pada struktur biaya operasional.

Selain itu, infrastruktur dan aksesibilitas memengaruhi daya tarik lokasi bagi tenaga kerja (Woharn *et al.*, 2010). Akses transportasi yang baik, ketersediaan utilitas, serta infrastruktur komunikasi yang memadai mendukung mobilitas tenaga kerja dan kelancaran operasi fasilitas industri (Sharma *et al.*, 2024). Dukungan pendidikan dan kelembagaan juga berperan dalam menyediakan tenaga kerja yang berkualitas secara berkelanjutan (Rogério *et al.*, 2013). Keberadaan lembaga pendidikan, pusat pelatihan, serta kebijakan pemerintah yang mendukung pengembangan sumber daya manusia dapat meningkatkan daya saing suatu lokasi industri.

Secara keseluruhan, faktor tenaga kerja perlu dianalisis secara terintegrasi dengan faktor lokasi lainnya agar lokasi fasilitas industri mampu mendukung kinerja operasional dan keberlanjutan sistem. Ketersediaan tenaga kerja, baik dari segi jumlah maupun kualitas, sangat memengaruhi keputusan lokasi, di mana industri padat karya cenderung memilih wilayah berupah rendah, sedangkan industri berbasis teknologi menekankan kualitas sumber daya manusia, tingkat pendidikan, produktivitas, dan stabilitas hubungan industrial.

2.1.3 Faktor Pasar dan Pelanggan

Kedekatan dengan pasar atau pelanggan dapat meningkatkan tingkat pelayanan dan menurunkan biaya

distribusi (Heizer *et al.*, 2019). Pada industri jasa, faktor ini menjadi sangat dominan karena lokasi yang mudah diakses pelanggan akan meningkatkan kepuasan dan daya saing. Dalam konteks Teknik Industri, faktor pasar berkaitan erat dengan perancangan sistem distribusi dan tingkat responsivitas sistem operasi (Slack & Brandon-Jones, 2022).

2.1.4 Faktor Transportasi dan Infrastruktur

Sistem transportasi dan infrastruktur yang baik mendukung kelancaran aliran material dan produk (Slack & Brandon-Jones, 2022). Akses terhadap jalan raya, pelabuhan, bandara, dan jaringan logistik menjadi faktor penentu bagi industri manufaktur dan distribusi. Infrastruktur yang buruk dapat meningkatkan waktu tunggu dan biaya logistik, sehingga menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Ballou, 2004).

2.1.5 Faktor Utilitas dan Teknologi

Ketersediaan utilitas seperti listrik, air, gas, dan jaringan komunikasi merupakan faktor penting dalam pemilihan lokasi (Riedel, 2011). Industri modern yang mengandalkan teknologi informasi dan otomatisasi memerlukan lokasi dengan infrastruktur teknologi yang andal. Gangguan pada utilitas dapat menyebabkan berhentinya operasi dan menimbulkan kerugian yang signifikan (Groover, 2015).

2.1.6 Faktor Lingkungan dan Regulasi

Aspek lingkungan dan regulasi semakin berperan dalam keputusan lokasi fasilitas industri. Peraturan mengenai zonasi industri, dampak lingkungan, serta standar keselamatan kerja harus dipenuhi oleh perusahaan. Lokasi

yang tidak sesuai dengan regulasi dapat menimbulkan risiko hukum dan sosial yang tinggi (Chopra & Meindl, 2016). Oleh karena itu, faktor ini harus dianalisis sejak tahap awal perancangan.

Melalui identifikasi dan analisis faktor-faktor penentuan lokasi fasilitas industri, perancang sistem industri dapat menyusun alternatif lokasi yang rasional dan terukur. Faktor-faktor ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penerapan metode pemilihan lokasi yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif, yang akan dibahas pada sub-bab berikutnya.

2.2 Metode Pemilihan Lokasi Fasilitas

Pemilihan lokasi fasilitas industri merupakan proses pengambilan keputusan yang melibatkan berbagai kriteria dengan tingkat kepentingan yang berbeda. Dalam Teknik Industri, keputusan ini dilakukan dengan pendekatan yang sistematis dan terukur agar lokasi yang dipilih mampu mendukung kinerja sistem industri secara optimal. Secara umum, metode pemilihan lokasi fasilitas dapat dikelompokkan menjadi metode kualitatif dan metode kuantitatif.

2.2.1 Metode Kualitatif dan Kuantitatif

Pemilihan lokasi fasilitas industri merupakan keputusan strategis yang melibatkan berbagai faktor dengan karakteristik yang berbeda. Dalam Teknik Industri, metode pemilihan lokasi secara umum dibedakan menjadi metode kualitatif dan metode kuantitatif berdasarkan jenis data dan pendekatan analisis yang digunakan (Heizer *et al.*, 2019)

Metode kualitatif digunakan ketika faktor-faktor penentu lokasi sulit diukur secara numerik atau bersifat subjektif. Faktor-faktor tersebut meliputi kondisi sosial, stabilitas politik, dukungan pemerintah, lingkungan kerja, keamanan wilayah, dan citra lokasi. Penilaian dalam metode kualitatif umumnya didasarkan pada pengalaman, intuisi, serta pertimbangan manajerial. Meskipun bersifat subjektif, metode ini penting untuk menangkap aspek strategis dan non-teknis yang tidak dapat direpresentasikan secara kuantitatif (Slack & Brandon-Jones, 2022).

Sebaliknya, metode kuantitatif menggunakan data numerik untuk mengevaluasi dan membandingkan alternatif lokasi secara objektif. Faktor yang dianalisis biasanya meliputi biaya tetap, biaya variabel, jarak distribusi, volume permintaan, dan kapasitas produksi. Metode kuantitatif memungkinkan penggunaan model matematis dan analisis biaya untuk menentukan lokasi yang memberikan kinerja operasional paling efisien (Stevenson & Kull, 2024). Dalam praktiknya, keputusan pemilihan lokasi fasilitas industri jarang mengandalkan satu pendekatan saja. Metode kualitatif dan kuantitatif umumnya digunakan secara terpadu agar keputusan yang dihasilkan tidak hanya optimal secara ekonomi, tetapi juga layak secara strategis dan operasional. Pendekatan terpadu ini mencerminkan karakter Teknik Industri yang mengintegrasikan aspek teknis dan manajerial dalam pengambilan keputusan (Riedel, 2011).

2.2.2 Metode Faktor Penimbang (Factor Rating Method)

Metode Faktor Penimbang (Factor Rating Method) merupakan salah satu metode kuantitatif yang paling umum digunakan dalam pemilihan lokasi fasilitas industri. Metode

ini digunakan ketika keputusan lokasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang memiliki tingkat kepentingan berbeda-beda. Dalam Teknik Industri, metode ini memungkinkan penggabungan faktor kualitatif dan kuantitatif ke dalam satu kerangka penilaian numerik sehingga memudahkan perbandingan antar alternatif lokasi (Heizer *et al.*, 2019).



Gambar 2. 1 Alur proses Pengerjaan Metode Faktor Penimbang

Prinsip dasar metode faktor penimbang adalah memberikan bobot pada setiap faktor penentu lokasi sesuai dengan tingkat kepentingannya, kemudian memberikan skor pada setiap alternatif lokasi berdasarkan kinerja lokasi tersebut terhadap faktor yang dinilai. Nilai akhir diperoleh dari hasil perkalian antara bobot dan skor, yang selanjutnya dijumlahkan untuk setiap alternatif lokasi. Lokasi dengan nilai

total tertinggi dipilih sebagai lokasi yang paling sesuai (Stevenson & Kull, 2024).

Metode ini banyak digunakan karena bersifat fleksibel dan mudah diterapkan, serta mampu mengakomodasi faktor-faktor yang sulit diukur secara langsung, seperti stabilitas wilayah, lingkungan kerja, dan dukungan pemerintah. Namun, hasil analisis sangat bergantung pada ketepatan penentuan bobot dan skor, sehingga diperlukan kehati-hatian dan konsistensi dalam proses penilaian (Slack & Brandon-Jones, 2022). Untuk memudahkan pemahaman terhadap tahapan penerapan metode ini, berikut disajikan alur proses Factor Rating Method dalam bentuk diagram alir sebagai berikut : Dengan mengikuti alur tersebut, metode ini dapat digunakan sebagai alat bantu yang efektif dalam perencanaan lokasi fasilitas industri, khususnya pada kondisi di mana keputusan tidak hanya bergantung pada biaya, tetapi juga mempertimbangkan aspek strategis dan keberlanjutan jangka panjang.

2.2.3 Metode Titik Impas (Break Even Analysis)

Diagram alir Factor Rating Method menggambarkan tahapan sistematis dalam proses pengambilan keputusan lokasi fasilitas. Proses diawali dengan identifikasi faktor-faktor penentu lokasi yang relevan dengan karakteristik industri. Selanjutnya, setiap faktor diberi bobot berdasarkan tingkat kepentingannya terhadap keberhasilan operasi fasilitas. Setelah itu, masing-masing alternatif lokasi diberi skor sesuai kinerjanya pada setiap faktor yang telah ditetapkan (Slack & Brandon-Jones, 2022).

Nilai tertimbang diperoleh dengan mengalikan bobot faktor dengan skor lokasi, kemudian menjumlahkan seluruh

nilai tertimbang untuk setiap alternatif lokasi. Lokasi dengan nilai total tertinggi dipilih sebagai lokasi yang paling optimal. Pendekatan ini memungkinkan pengambil keputusan untuk melakukan evaluasi secara objektif dan terstruktur, serta meminimalkan subjektivitas dalam penentuan lokasi fasilitas industri (Riedel, 2011). Gambar berikut menyajikan alur proses Metode Faktor Penimbang :



Gambar 2. 2 Alur proses Pengerjaan Metode BEP

Melalui alur proses tersebut, metode ini membantu pengambil keputusan menentukan lokasi fasilitas industri yang paling optimal berdasarkan penilaian multikriteria yang terukur.

2.2.4 Metode Pusat Gravitasi (Center of Gravity Method)

Metode Pusat Gravitasi (*Center of Gravity Method*) merupakan pendekatan kuantitatif dalam perencanaan lokasi fasilitas yang bertujuan menentukan lokasi optimal dengan meminimalkan total biaya transportasi berdasarkan jarak dan volume pengiriman (Heizer, Render, & Munson, 2020). Metode ini bekerja dengan mempertimbangkan koordinat geografis dari setiap titik permintaan, seperti pelanggan atau pusat distribusi, serta bobot pengiriman yang merepresentasikan volume atau frekuensi distribusi ke masing-masing titik tersebut (Tompkins *et al.*, 2010).



Gambar 2. 3 Alur proses Pengerjaan Metode Pusat Gravitasi

Lokasi fasilitas dihitung sebagai titik keseimbangan atau rata-rata tertimbang dari seluruh titik permintaan, sehingga mencerminkan pusat distribusi beban pengiriman secara keseluruhan (Ballou, 2004).

2.3 Jenis-Jenis Tata Letak Fasilitas

2.3.1. Tata Letak Berdasarkan Proses (Process Layout)

Tata letak proses merupakan pendekatan strategis dalam desain fasilitas di mana mesin, peralatan, atau aktivitas yang memiliki fungsi serupa dikelompokkan dalam satu area kerja yang sama. Pendekatan ini sangat sesuai untuk sistem produksi atau layanan yang menuntut tingkat fleksibilitas tinggi, khususnya pada kondisi volume produksi yang relatif rendah namun memiliki variasi produk yang beragam. Dengan karakteristik tersebut, tata letak proses mampu beradaptasi terhadap perubahan prioritas produksi dan sering diterapkan pada lingkungan kerja yang dinamis, seperti bengkel, rumah sakit, atau industri dengan pesanan khusus (Bennett, 2015).



Gambar 2. 4 Tata Letak Berdasarkan Proses

Secara umum, tata letak proses dicirikan oleh pengelompokan berdasarkan fungsi yang memungkinkan pengawasan dan keahlian khusus dalam satu departemen

(Kale & Jadhav, 2014). Fleksibilitas menjadi keunggulan utama karena sistem ini dapat mengakomodasi perubahan batch dan variasi produk tanpa perubahan tata letak yang signifikan (Sugiyono, 2006). Namun demikian, perancangan tata letak proses tergolong kompleks karena memerlukan pemahaman menyeluruh terhadap sistem produksi agar tata letak yang dihasilkan tetap optimal (ZENG *et al.*, n.d.).

2.3.2. Tata Letak Berdasarkan Produk (Product Layout)

Mesin disusun mengikuti urutan proses pembuatan produk. Cocok untuk produksi massal dan berulang (Slack & Brandon-Jones, 2022).



Gambar 2. 5 Tata Letak Berdasarkan Produk

Keunggulan utama tata letak ini terletak pada efisiensi waktu siklus, kemudahan pengendalian proses, serta

rendahnya biaya penanganan material, karena jarak perpindahan antar proses dapat diminimalkan (Riedel, 2011). Namun demikian, tata letak berdasarkan produk memiliki tingkat fleksibilitas yang rendah, sehingga memerlukan perencanaan yang matang agar investasi peralatan dan tata letak tetap ekonomis (Heizer *et al.*, 2019).

2.3.3. Tata Letak Posisi Tetap (Fixed Position Layout)

Produk tetap berada di satu lokasi, sementara sumber daya berpindah mendekati produk (Heizer *et al.*, 2019).



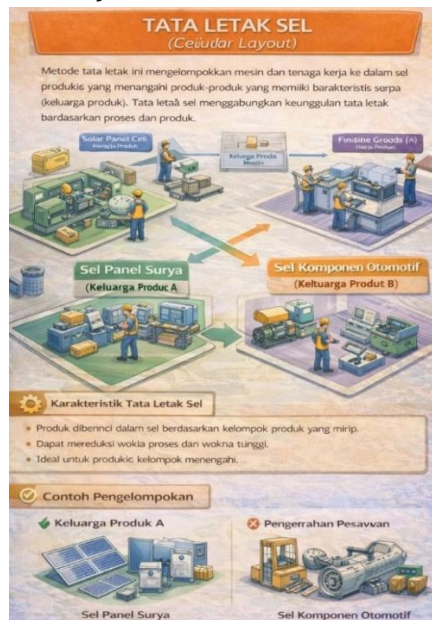
Gambar 2. 6 Tata Letak Posisi Tetap

Tata Letak Posisi Tetap (*Fixed Position Layout*) merupakan jenis tata letak fasilitas di mana produk tetap

berada pada satu lokasi, sementara tenaga kerja, peralatan, dan material bergerak menuju lokasi produk selama proses produksi berlangsung (Slack & Brandon-Jones, 2022). Keunggulan utama tata letak posisi tetap terletak pada kemudahan penanganan produk dan fleksibilitas proses, meskipun menuntut koordinasi yang tinggi dalam pengelolaan sumber daya dan penjadwalan aktivitas kerja (Riedel, 2011).

2.3.4. Tata Letak Sel (Cellular Layout)

Menggabungkan keunggulan process dan product layout dengan membentuk sel produksi berdasarkan keluarga produk (Riedel, 2011).



Gambar 2. 7 Tata Letak Sel

Implementasi tata letak sel memerlukan analisis awal yang cermat untuk mengidentifikasi keluarga produk dan keseimbangan beban kerja antar sel, karena kesalahan pengelompokan dapat menyebabkan ketidakseimbangan kapasitas dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Riedel, 2011). Oleh karena itu, tata letak sel umumnya diterapkan pada lingkungan produksi dengan variasi produk menengah dan volume produksi menengah hingga tinggi, di mana fleksibilitas dan efisiensi aliran sama-sama dibutuhkan (Heizer *et al.*, 2019).

2.4 Prinsip dan Kriteria Tata Letak yang Baik

Tata letak yang baik harus mampu mendukung kelancaran proses produksi, menekan biaya, serta menciptakan lingkungan kerja yang aman dan efisien. Berikut prinsip-prinsip dasar yang menjadi pedoman dalam perancangan tata letak fasilitas industri:

1. Prinsip Aliran Lancar (*Smooth Flow*)

Aliran material dan proses kerja harus sederhana, logis, dan searah untuk menghindari kemacetan serta perpindahan balik (*backtracking*) (Erni *et al.*, 2017). Tata letak yang mengikuti urutan proses akan mempercepat waktu siklus dan mempermudah pengendalian produksi.

2. Prinsip Jarak Perpindahan Minimum

Perpindahan material yang lebih pendek akan mengurangi biaya penanganan dan waktu produksi (Riedel, 2011). Oleh karena itu, aktivitas yang saling berkaitan sebaiknya ditempatkan berdekatan.

3. Prinsip Fleksibilitas

Tata letak harus mampu menyesuaikan perubahan produk, volume, dan teknologi tanpa memerlukan perubahan besar pada struktur fasilitas (Slack & Brandon-Jones, 2022). Fleksibilitas penting untuk menjaga daya saing jangka panjang.

4. Prinsip Keselamatan dan Ergonomi

Perancangan tata letak harus memperhatikan jarak aman, jalur evakuasi, serta kenyamanan kerja guna mengurangi risiko kecelakaan dan kelelahan operator (Taufik, 2025).

5. Prinsip Pemanfaatan Ruang

Ruang horizontal dan vertikal harus dimanfaatkan secara optimal tanpa mengganggu kelancaran aliran kerja maupun keselamatan operasional (Apple, 1990).

2.5 Metode Perancangan Tata Letak Fasilitas

1. *Systematic Layout Planning (SLP)*

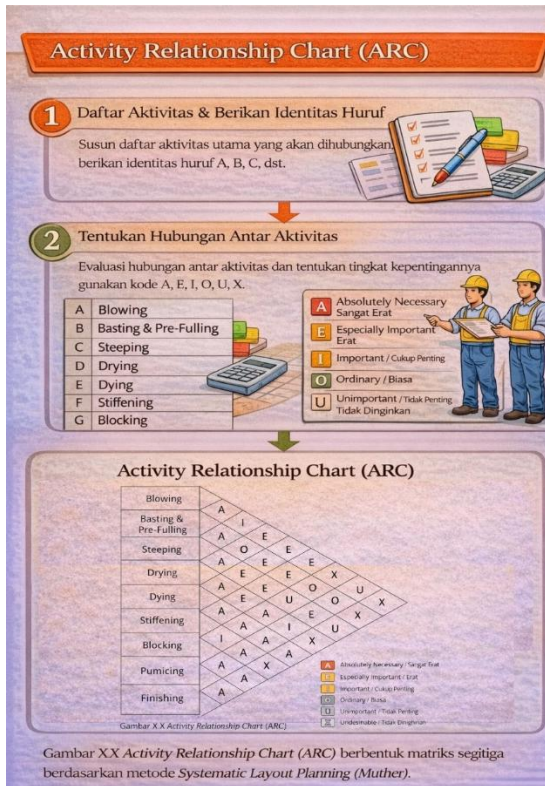
SLP merupakan metode terstruktur yang dikembangkan oleh Muther untuk merancang layout berdasarkan hubungan aktivitas, aliran material, dan kebutuhan ruang. (Muther & Hales, 2015).



Gambar 2. 8 Systematic Layout Planning

2. Activity Relationship Chart (ARC)

ARC digunakan untuk menilai tingkat kedekatan antar aktivitas menggunakan simbol hubungan (A, E, I, O, U, X) (Riedel, 2011).



Gambar 2. 9 Activity Relationship Chart

3. Activity Relationship Diagram (ARD)

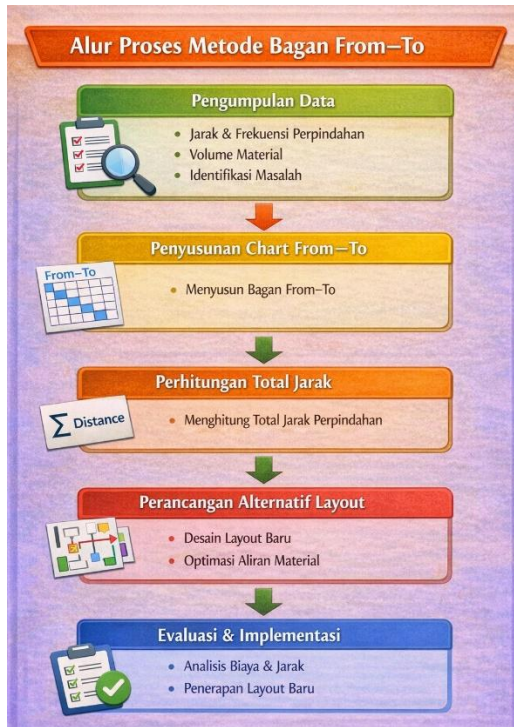
ARD merupakan visualisasi dari ARC dalam bentuk diagram blok yang menunjukkan kedekatan aktivitas secara spasial. (Muther & Hales, 2015)



Gambar 2. 10 Activity Relationship Diagram

4. From-To Chart

Metode From-To Chart digunakan dalam desain tata letak fasilitas untuk menganalisis dan mengoptimalkan jarak penanganan material antar departemen. Ini membantu mengidentifikasi jumlah momen produk terkecil yang diperlukan untuk tata letak industri yang efisien (Miraningsih *et al.*, 2023).



Gambar 2. 11 *From-To Chart*

Metode From-To Chart menawarkan beberapa manfaat, termasuk pengurangan biaya penanganan material, peningkatan efisiensi produksi, dan peningkatan alur kerja. Dengan menganalisis dan mendesain ulang tata letak fasilitas secara sistematis, perusahaan dapat mencapai peningkatan signifikan dalam kinerja operasional (Miraningsih *et al.*, 2023). Namun, tantangan mungkin timbul dalam mengumpulkan data secara akurat dan menerapkan tata letak baru secara efektif, terutama di lingkungan produksi yang kompleks (Syah & Rusindiyanto, 2025).

DAFTAR PUSTAKA

- Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics/supply Chain Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain*. Pearson/Prentice Hall. <https://books.google.co.id/books?id=sgsdQAAACAAJ>
- Barbosa-Povoa, A., Mateus, R., & Novais, A. (2002). Optimal Design and Layout of Industrial Facilities: A Simultaneous Approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41, 3601–3609. <https://doi.org/10.1021/ie010660s>
- Bennett, D. (2015). *Process Layout*. <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom100059>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson. <https://books.google.co.id/books?id=m1XFoQEACAAJ>
- Ehichoya, M., & Uhunoma, O. (2025). *FACILITY LOCATION AND ALLOCATION IN A SUPPLY... FACILITY LOCATION AND ALLOCATION IN A SUPPLY CHAIN NETWORK OF A MANUFACTURING FIRM*.
- Erni, N., Widodo, L., & Poala, Y. (2017). USULAN PERANCANGAN ULANG TATA LETAK PABRIK PADA PT. XYZ. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 1. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v1i3.479>
- Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing*. Pearson. <https://books.google.co.id/books?id=egR0ngEACAAJ>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2019). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management, Global Edition*. Pearson Education. <https://books.google.co.id/books?id=qb4oEAAAQBAJ>

- Kale, M. R., & Jadhav, V. S. (2014). Process Flow Analysis of Diesel EngineCrankshaft Machining Line Layout. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14871576>
- Miraningsih, Y. M., Amaria, A. N., Putri, V. A., Julyandini, Y. C., & Murnawan, H. (2023). Usulan rancangan tata letak fasilitas dengan menggunakan metode from to chart. *Jurnal Senopati : Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.31284/j.senopati.2023.v4i2.3827>
- Ni, Z. (2023). The Influence of Geographical Location and Economic Location on the Industries of Representative Resource Cities in the Pearl River Delta Region. *Highlights in Business, Economics and Management*, 22, 384–391. <https://doi.org/10.54097/ggryvk95>
- Orozco, E., & Cervera, J. (2013). Diseño y Distribución de Instalaciones Industriales Apoyado en el Uso de la Simulación de Procesos. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 1. <https://doi.org/10.17081/invinno.1.1.2066>
- Riedel, R. (2011). Facilities planning – 4th edition by J.A. Tompkins, J.A. White, Y.A. Bozer and J.M.A. Tanchoco. *International Journal of Production Research - INT J PROD RES*, 49, 1–2. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.563164>
- Rogério, P., Brene, A., Costa, L. D. S., Antônio, U., & Filho, S. (2013). *Fatores Locacionais como Determinantes do Perfil Empresarial: uma proposta metodológica* *Locational Factors as Determinants of Corporate Profile: a methodological proposal Abstract*.

- Sharma, P., Ghatorda, K., Kang, A., Cepova, L., Kumar, A., & Phanden, R. (2024). Strategic insights in manufacturing site selection: a multi-method approach using factor rating, analytic hierarchy process, and best worst method. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmech.2024.1392543>
- Slack, N., & Brandon-Jones, A. (2022). *Operations Management*. Pearson Education. <https://books.google.co.id/books?id=MtFhEAAAQBAJ>
- Stevenson, W. J., & Kull, T. J. (2024). *Operations Management*. McGraw Hill. <https://books.google.co.id/books?id=2Is60AEACAAJ>
- Sugiyono, A. (2006). *Cellular Manufacturing System Application On Redesign Production Layout With Using Heuristics Algorithm*. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2006.262360>
- Syah, M. D. N., & Rusindiyanto. (2025). Work Area Layout Optimization Using the BLOCPLAN Method. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(3). <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i3.1489>
- Taufik, D. (2025). Integration of Ergonomics in Work System Design to Enhance Employee Performance and Well-being in the Manufacturing Sector. *Kontigensi: Jurnal Ilmiah Manajemen*, 13, 466–473. <https://doi.org/10.56457/jimk.v13i1.791>
- Woharn, T., Hussain, M., & Azima, A. (2010). Faktor penentu pemilihan lokasi industri pembuatan: Kajian kes Kawasan Perindustrian Nilai. *Geografia: Malaysian Journal of Society and Space*.
- Zeng, Y., XUE, C., & JIA, J. (n.d.). *On the Design Process of Process Layout During Park Planning*. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-8320.2015.04.096>

BAB 3

ERGONOMI, PERANCANGAN SISTEM KERJA DAN PENGUKURAN WAKTU

Oleh Andhika Cahyono Putra

3.1 Ergonomi

Ergonomi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan berbagai elemen dalam sistem kerja, seperti peralatan, lingkungan kerja, metode kerja, dan organisasi pekerjaan, dengan tujuan menyesuaikan pekerjaan terhadap kemampuan serta keterbatasan manusia agar tercipta kondisi kerja yang aman, nyaman, dan efisien. Melalui pendekatan ergonomi, sistem kerja dirancang agar sesuai dengan karakteristik fisik, kognitif, dan psikologis manusia sehingga pekerja dapat menjalankan tugasnya secara optimal tanpa menimbulkan beban kerja yang berlebihan. Dalam konteks industri modern, ergonomi tidak hanya berkaitan dengan kenyamanan kerja, tetapi juga menjadi faktor strategis dalam meningkatkan produktivitas, kualitas kerja, serta keselamatan dan kesehatan kerja.

Menurut International Ergonomics Association (IEA, 2000), ergonomi bertujuan mengoptimalkan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem melalui desain yang berpusat

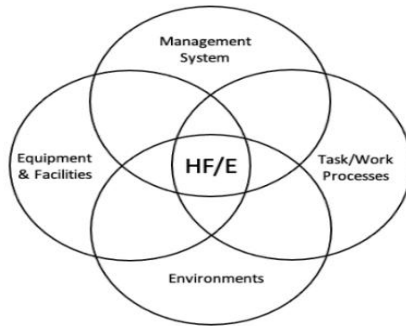
pada manusia (*human-centered design*). Pendekatan ini menekankan bahwa dalam merancang sistem kerja, peralatan, maupun lingkungan kerja, kebutuhan, kemampuan, dan keterbatasan manusia harus menjadi pertimbangan utama sehingga sistem yang dihasilkan dapat digunakan secara aman, nyaman, dan efisien. Dengan menerapkan prinsip tersebut, pekerjaan dapat disesuaikan dengan karakteristik fisik, kognitif, dan psikologis manusia sehingga mampu mengurangi beban kerja yang berlebihan, meminimalkan risiko cedera kerja, serta menurunkan kemungkinan terjadinya kesalahan manusia (*human error*).

Grandjean (1988) menyatakan bahwa pekerjaan harus dirancang sesuai kemampuan manusia agar tidak menimbulkan kelelahan berlebih dan gangguan kesehatan. Hal ini menekankan pentingnya penyesuaian antara tuntutan pekerjaan dengan kapasitas fisik maupun mental pekerja. Jika pekerjaan dirancang tanpa mempertimbangkan kemampuan manusia, maka dapat menyebabkan beban kerja yang terlalu berat, postur kerja yang tidak alami, serta paparan lingkungan kerja yang kurang mendukung, yang pada akhirnya berpotensi menimbulkan kelelahan, stres kerja, dan berbagai gangguan kesehatan.

3.1.1 Konsep Dan Ruang Lingkup Ergonomi

a. Definisi Ergonomi

Ergonomi adalah ilmu yang mempelajari karakteristik manusia untuk diterapkan dalam perancangan alat, mesin, sistem, dan lingkungan kerja (Sanders and McCormick, 1993).



Gambar 3. 1 Ergonomi
(Sumber : Sanders and McCormick, 1993))

b. Ruang Lingkup Ergonomi

Menurut (Association, 2000) , ergonomi terbagi menjadi tiga bidang utama:

1. Ergonomi Fisik

Ergonomi fisik berkaitan dengan karakteristik tubuh manusia dalam melakukan aktivitas kerja, seperti anatomi, antropometri, fisiologi, serta biomekanika tubuh. Bidang ini mempelajari bagaimana postur kerja, gerakan tubuh, penggunaan alat, serta desain tempat kerja dapat memengaruhi kesehatan dan kenyamanan pekerja (Bridger, 2018).

2. Ergonomi Kognitif

Berkaitan dengan proses mental seperti persepsi, memori, dan pengambilan keputusan (Wickens *et al.*, 2015). ergonomi kognitif sangat penting dalam merancang sistem yang membutuhkan konsentrasi tinggi dan pengolahan informasi secara cepat.

3. Ergonomi Organisasi

Ergonomi organisasi berkaitan dengan optimalisasi sistem kerja secara keseluruhan yang melibatkan struktur organisasi, kebijakan kerja, komunikasi, serta manajemen sumber daya manusia (Yusuf *et al.*, 2024).

3.1.2 Antropometri

Antropometri adalah ilmu yang mempelajari ukuran dan proporsi tubuh manusia untuk kepentingan desain (Pheasant and Haslegrave, 2006). Data antropometri digunakan sebagai dasar dalam merancang alat, produk, serta lingkungan kerja agar sesuai dengan karakteristik tubuh manusia. Dengan mempertimbangkan ukuran tubuh seperti tinggi badan, panjang lengan, dan jangkauan tangan, desain yang dihasilkan dapat meningkatkan kenyamanan, keselamatan, dan efisiensi dalam penggunaan.

a. Jenis Antropometri

1. Antropometri statis

Antropometri statis merupakan pengukuran dimensi tubuh manusia yang dilakukan dalam posisi tubuh diam atau tetap, seperti posisi berdiri atau duduk tanpa melakukan gerakan. Contoh ukuran yang termasuk dalam antropometri statis antara lain tinggi badan, tinggi duduk, panjang lengan, lebar bahu, dan panjang kaki (Delangle, Petiot and Poirson, 2017).

2. Antropometri dinamis

Antropometri dinamis berkaitan dengan ukuran tubuh manusia yang diperoleh ketika tubuh melakukan gerakan atau aktivitas tertentu. Pengukuran ini memperhatikan jangkauan gerak anggota tubuh, ruang gerak yang dibutuhkan saat bekerja, serta kemampuan manusia dalam melakukan aktivitas kerja. Data antropometri dinamis sering digunakan dalam perancangan tata letak tempat kerja, desain alat, serta sistem kerja agar aktivitas dapat dilakukan secara efisien dan aman (Delangle, Poirson and Petiot, 2014).

b. Prinsip Penggunaan Data Antropometri

Dalam desain ergonomis, penggunaan data antropometri biasanya didasarkan pada konsep persentil, yaitu ukuran statistik yang menggambarkan distribusi ukuran tubuh dalam suatu populasi.

Dalam desain ergonomis digunakan prinsip persentil:

- 5th percentile (untuk batas minimum)
- 95th percentile (untuk batas maksimum)
- Adjustable design (rentang penyesuaian)

Sebagai contoh penerapan data antropometri dalam desain ergonomis adalah pada perancangan tinggi kursi kerja. Tinggi kursi umumnya ditentukan berdasarkan tinggi popliteal pengguna (jarak dari lantai ke lipatan lutut saat duduk) (Ansari, Nikpey and Varmazyar, 2018).

3.1.3 Biomekanika dan Postur Kerja

Biomekanika kerja merupakan cabang ilmu yang mempelajari gaya, gerakan, serta interaksi antara tubuh manusia dengan beban atau alat saat melakukan aktivitas

kerja. Dalam ergonomi, biomekanika digunakan untuk menganalisis bagaimana tubuh manusia bergerak, menahan beban, serta mempertahankan postur selama melakukan pekerjaan (Chaffin, Andersson and Martin, 2006).

a. Faktor Risiko Postur

- Membungkuk terlalu lama
Posisi membungkuk dalam waktu yang lama dapat meningkatkan tekanan pada tulang belakang bagian bawah sehingga berpotensi menimbulkan nyeri punggung.
- Memutar badan berulang
Gerakan memutar tubuh secara terus-menerus dapat menyebabkan ketegangan pada otot dan sendi, khususnya pada bagian punggung dan pinggang
- Mengangkat beban berat
Aktivitas mengangkat atau memindahkan beban yang terlalu berat dapat memberikan tekanan berlebih pada otot dan tulang belakang, terutama jika dilakukan dengan teknik yang tidak benar.
- Gerakan repetitif
Aktivitas kerja yang dilakukan secara berulang dalam waktu lama dapat menyebabkan kelelahan otot dan meningkatkan risiko cedera pada jaringan tubuh.

Postur kerja yang tidak netral, seperti membungkuk, memutar tubuh secara ekstrem, atau bekerja dengan posisi tubuh yang tidak seimbang, dapat meningkatkan tekanan pada tulang belakang serta sendi. Kondisi ini dapat menyebabkan ketegangan otot dan mempercepat terjadinya kelelahan pada pekerja.

b. Dampak Postur Buruk

Postur kerja yang tidak ergonomis dalam jangka waktu lama dapat menimbulkan berbagai gangguan pada sistem muskuloskeletal pekerja. Menurut penelitian dalam bidang ergonomi kerja, postur yang tidak sesuai merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan gangguan muskuloskeletal pada pekerja di berbagai sektor industri. Gangguan ini umumnya terjadi secara bertahap akibat paparan aktivitas kerja yang tidak ergonomis dalam jangka waktu yang lama (Health, 1997).

Tabel 3. 1 Jenis Gangguan

No	Jenis Gangguan	Deskripsi	Faktor Penyebab Postur
1	Nyeri punggung bawah (Low Back Pain)	Rasa nyeri pada bagian punggung bawah yang disebabkan oleh tekanan berlebih pada tulang belakang dan otot punggung.	Membungkuk terlalu lama, mengangkat beban berat, postur duduk yang tidak ergonomis
2	Cedera bahu	Gangguan pada otot dan sendi bahu akibat penggunaan otot bahu secara berlebihan atau posisi kerja yang tidak alami.	Mengangkat tangan terlalu tinggi, mengangkat beban berulang, pekerjaan di atas bahu
3	Carpal Tunnel Syndrome (CTS)	Gangguan saraf pada pergelangan tangan yang menyebabkan rasa nyeri, kesemutan, atau mati rasa pada tangan.	Gerakan tangan berulang, posisi pergelangan tangan tidak netral saat bekerja

Sumber:(Punnett and Wegman, 2004)

3.1.4 Beban Kerja Fisik

Beban kerja fisik merupakan jumlah tuntutan energi yang harus dikeluarkan oleh tubuh manusia untuk melakukan suatu aktivitas kerja. Beban kerja ini berkaitan dengan penggunaan otot, pergerakan tubuh, serta kebutuhan energi yang dibutuhkan selama proses kerja berlangsung. Semakin besar aktivitas fisik yang dilakukan, maka semakin besar pula energi yang diperlukan oleh tubuh (Punnett and Wegman, 2004).

Faktor yang Mempengaruhi

- **Intensitas kerja**
Menunjukkan tingkat usaha atau tenaga yang diperlukan dalam melakukan suatu aktivitas. Pekerjaan dengan intensitas tinggi memerlukan energi yang lebih besar dibandingkan pekerjaan dengan intensitas rendah.
- **Durasi**
Berkaitan dengan lamanya waktu pekerja melakukan suatu aktivitas. Aktivitas fisik yang dilakukan dalam waktu lama dapat menyebabkan kelelahan meskipun intensitas kerjanya tidak terlalu tinggi.
- **Frekuensi gerakan**
Menunjukkan seberapa sering suatu aktivitas dilakukan secara berulang dalam periode waktu tertentu. Gerakan yang dilakukan secara repetitif dalam waktu lama dapat meningkatkan kelelahan otot dan risiko cedera.
- **Berat beban**
Semakin besar berat beban yang harus ditangani oleh pekerja, maka semakin besar pula energi yang diperlukan oleh tubuh. Beban yang terlalu berat dapat

memberikan tekanan berlebih pada otot dan sistem muskuloskeletal.

(Grandjean, 1988) menyatakan bahwa beban kerja yang melebihi kapasitas fisik individu akan menyebabkan kelelahan dan penurunan produktivitas.

a. Pengukuran Beban Kerja

Metode yang umum digunakan:

- **Denyut jantung**
Pengukuran ini merupakan metode yang sering digunakan untuk menilai tingkat beban kerja fisik. Peningkatan aktivitas fisik biasanya diikuti dengan peningkatan denyut jantung, sehingga parameter ini dapat digunakan sebagai indikator tingkat kelelahan atau intensitas kerja.
- **Konsumsi oksigen**
Metode ini digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh tubuh selama melakukan aktivitas fisik. Konsumsi oksigen berkaitan langsung dengan energi yang dikeluarkan oleh tubuh, sehingga dapat digunakan untuk menilai tingkat beban kerja secara lebih akurat.
- **Energy expenditure**
Pengeluaran energi merupakan estimasi jumlah energi yang digunakan oleh tubuh selama melakukan aktivitas kerja. Pengukuran ini biasanya dinyatakan dalam satuan kilokalori (kcal) atau kilojoule (kJ) dan digunakan untuk menentukan apakah suatu pekerjaan termasuk dalam kategori ringan, sedang, atau berat.

3.1.5 Beban Kerja Mental

Beban kerja mental adalah tingkat tuntutan kognitif yang dialami individu saat melaksanakan tugas (Wickens *et al.*, 2015).

a. Faktor Penyebab

- Kompleksitas tugas
- Tekanan waktu
- Multitasking
- Gangguan lingkungan

b. Pengukuran Beban Mental

- NASA-TLX

Metode pengukuran menggunakan 6 dimensi, Mental Demand (beban mental), Physical Demand (beban fisik), Temporal Demand (beban waktu), Performance (performa), Effort (usaha), dan Frustration Level (tingkat frustrasi).

- SWAT

Metode pengukuran menggunakan 3 dimensi, Time Load (beban waktu), Mental Effort Load (beban usaha mental), dan Psychological Stress Load (beban stres psikologis).

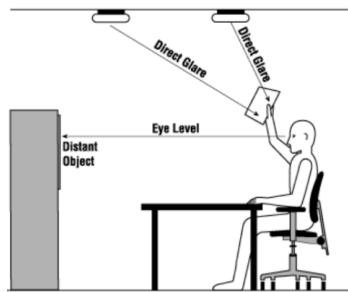
(Reason, 1990) menjelaskan bahwa beban mental berlebih dapat meningkatkan risiko human error.

3.1.6 Lingkungan Kerja Fisik

Lingkungan kerja fisik merupakan salah satu faktor penting dalam ergonomi yang dapat memengaruhi kenyamanan, kesehatan, serta kinerja pekerja. Kondisi

lingkungan kerja yang tidak sesuai dapat menimbulkan kelelahan, menurunkan konsentrasi, serta meningkatkan risiko kesalahan kerja dan kecelakaan kerja.

Pencahayaan



Gambar 3. 2Pencahayaan
(Sumber : (Safety, 2025))

Pencahayaan merupakan faktor penting yang memengaruhi kemampuan pekerja dalam melihat objek atau melakukan aktivitas kerja secara jelas dan akurat. Pencahayaan yang terlalu rendah dapat menyebabkan mata bekerja lebih keras sehingga menimbulkan kelelahan mata, sakit kepala, serta menurunkan ketelitian dalam bekerja.

a. Kebisingan

Kebisingan merupakan suara yang tidak diinginkan yang dapat mengganggu kenyamanan dan konsentrasi pekerja. Paparan kebisingan yang tinggi dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan gangguan pendengaran permanen, stres kerja, serta penurunan produktivitas.

b. Suhu dan Iklim Kerja

Suhu dan kondisi iklim kerja juga memengaruhi kenyamanan serta kemampuan pekerja dalam melakukan aktivitas kerja. Suhu lingkungan kerja yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kelelahan, dehidrasi, serta penurunan konsentrasi. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan menurunkan kemampuan motorik pekerja.

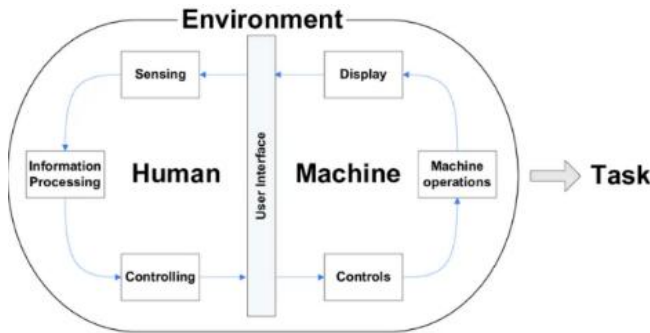
3.1.7 Metode Evaluasi Ergonomi

Beberapa metode evaluasi ergonomi meliputi:

1. RULA (Rapid Upper Limb Assessment)
Digunakan untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas.
2. REBA (Rapid Entire Body Assessment)
Digunakan untuk mengevaluasi seluruh tubuh.
3. NIOSH Lifting Equation
Digunakan untuk menentukan batas aman pengangkatan beban.

Metode ini membantu mengidentifikasi tingkat risiko cedera kerja secara sistematis.

3.2 Perancangan Sistem Kerja



Gambar 3. 3 Perancangan Sistem Kerja

(Sumber : (Chapanis, 1965))

Perancangan sistem kerja merupakan cabang penting dalam Teknik Industri yang bertujuan merancang metode kerja yang efisien, aman, dan produktif. Sistem kerja mencakup interaksi antara manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan kerja.

perancangan sistem kerja berfokus pada analisis dan perbaikan metode kerja untuk meningkatkan produktivitas tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan kesejahteraan pekerja.

Dalam praktiknya, sistem kerja yang tidak dirancang dengan baik dapat menyebabkan pemborosan waktu, gerakan tidak perlu, kelelahan, serta risiko kecelakaan kerja.

3.2.1 Konsep Dasar Sistem Kerja

a. Definisi Sistem Kerja

Sistem kerja adalah kombinasi terstruktur antara manusia, peralatan, material, metode, dan lingkungan yang saling berinteraksi untuk menghasilkan output tertentu (Niebel and Freivalds, 2009). sistem kerja adalah

kombinasi terstruktur antara manusia, peralatan, material, metode, dan lingkungan kerja yang saling berinteraksi untuk menghasilkan output tertentu. Dengan kata lain, sistem kerja tidak hanya mencakup aktivitas manusia dalam melakukan pekerjaan, tetapi juga melibatkan berbagai faktor pendukung yang memengaruhi proses kerja secara keseluruhan.

b. Komponen Sistem Kerja

1. Manusia (operator)

Manusia merupakan komponen utama dalam sistem kerja karena berperan sebagai pengendali dan pelaksana aktivitas kerja. Kemampuan fisik, keterampilan, pengalaman, serta kondisi kesehatan pekerja sangat memengaruhi kinerja sistem kerja (Carayon, 2006).

2. Mesin dan peralatan

Mesin dan peralatan digunakan untuk membantu manusia dalam melakukan pekerjaan sehingga proses kerja dapat dilakukan dengan lebih cepat, akurat, dan efisien. Pemilihan mesin yang tepat serta penempatan peralatan yang ergonomis sangat penting untuk mendukung kelancaran proses kerja. Integrasi antara manusia dan teknologi dalam suatu sistem kerja harus dirancang secara optimal agar dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi potensi kesalahan kerja.

3. Material

Material merupakan bahan atau objek yang diproses dalam suatu sistem kerja untuk menghasilkan produk atau jasa. Pengelolaan material yang baik, termasuk penyimpanan, pengangkutan, serta penggunaan material yang efisien, sangat memengaruhi kinerja sistem

produksi. Penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan material yang efektif dapat meningkatkan efisiensi produksi serta mengurangi pemborosan dalam proses kerja

4. Metode kerja

Metode kerja merupakan cara atau prosedur yang digunakan untuk melakukan suatu pekerjaan. Metode kerja yang baik dapat mengurangi pemborosan waktu, meminimalkan gerakan yang tidak perlu, serta meningkatkan efisiensi kerja. Oleh karena itu, analisis metode kerja sering dilakukan untuk menemukan cara kerja yang lebih efektif dan efisien dalam suatu sistem produksi (Freivalds and Niebel, 2013).

5. Lingkungan kerja

Lingkungan kerja mencakup kondisi fisik di sekitar tempat kerja, seperti pencahayaan, suhu, kebisingan, serta tata letak fasilitas kerja.

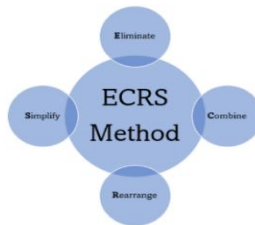
Interaksi kelima komponen ini menentukan efisiensi dan produktivitas sistem.

3.2.2 Analisis Metode Kerja

Analisis metode kerja merupakan salah satu teknik dalam perancangan sistem kerja yang bertujuan untuk mempelajari, mengevaluasi, dan memperbaiki metode atau cara kerja yang digunakan dalam suatu proses produksi. Analisis ini dilakukan dengan mengamati setiap langkah aktivitas kerja secara sistematis untuk mengidentifikasi aktivitas yang memberikan nilai tambah dan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Dengan melakukan analisis metode kerja, perusahaan dapat mengurangi pemborosan

waktu, meningkatkan efisiensi kerja, serta memperbaiki produktivitas sistem produksi. Penelitian menunjukkan bahwa **work** study atau method study digunakan untuk menentukan cara terbaik dalam melakukan suatu pekerjaan sehingga dapat mengurangi waktu menganggur, kelelahan pekerja, serta meningkatkan produktivitas kerja (Degu, 2024).

a. Prinsip Dasar



Gambar 3. 4 Prinsip Dasar
(Sumber : (Suranuntchai and Chutima, 2023))

Gambar tersebut menunjukkan prinsip dasar dalam analisis metode kerja yang dikenal dengan konsep ECRS, yaitu *Eliminate*, *Combine*, *Rearrange*, dan *Simplify*. Prinsip ini digunakan untuk memperbaiki proses kerja dengan menghilangkan aktivitas yang tidak bernilai tambah, menggabungkan aktivitas yang dapat dilakukan secara bersamaan, menyusun kembali urutan proses agar lebih efisien, serta menyederhanakan pekerjaan agar lebih mudah dilakukan. Pendekatan ECRS banyak digunakan dalam teknik industri dan lean manufacturing untuk meningkatkan

efisiensi proses produksi serta mengurangi pemborosan dalam sistem kerja. perbaikan metode kerja dilakukan dengan:

- Eliminasi
- Kombinasi
- Penyederhanaan
- Penyusunan ulang

b. Alat Analisis

Beberapa alat yang digunakan:

- Peta Proses Operasi (Operation Process Chart)
Merupakan diagram yang menunjukkan urutan kegiatan operasi dan inspeksi yang terjadi dalam suatu proses produksi dari bahan baku hingga menjadi produk jadi (Fachrunnisa and Rimantho, 2022).
- Flow Process Chart
Merupakan representasi grafis yang menggambarkan urutan aktivitas seperti operasi, transportasi, inspeksi, penundaan, dan penyimpanan dalam suatu proses kerja
- Diagram Alir (Flow Diagram)
Digunakan untuk menggambarkan pergerakan material, pekerja, atau peralatan dalam suatu area kerja sehingga dapat dianalisis jalur perpindahan yang terjadi selama proses produksi.
- Two-Handed Process Chart
Diagram ini digunakan untuk menganalisis gerakan tangan kiri dan tangan kanan operator secara detail selama melakukan suatu pekerjaan sehingga dapat mengurangi gerakan yang tidak perlu.

Alat ini membantu memvisualisasikan proses kerja secara sistematis.

3.2.3 Prinsip Ekonomi Gerakan

Prinsip ekonomi gerakan dikembangkan oleh Frank dan Lillian Gilbreth. Prinsip ini bertujuan meminimalkan gerakan yang tidak perlu dan meningkatkan efisiensi kerja (Barnes, 1997).

a. Prinsip Terkait Tubuh Manusia

- Gunakan kedua tangan secara bersamaan
- Hindari gerakan yang tidak simetris
- Kurangi jangkauan berlebih

b. Prinsip Terkait Tata Letak Tempat Kerja

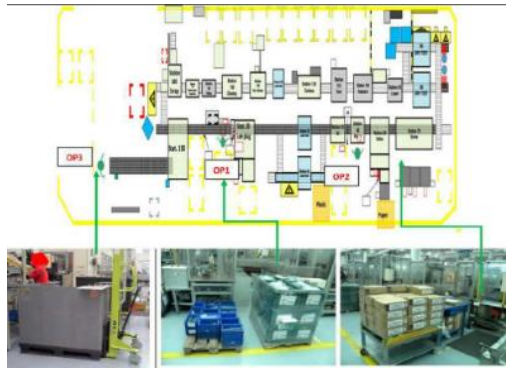
- Letakkan alat dalam zona jangkauan normal
- Gunakan gravitasi untuk membantu pergerakan material
- Minimalkan perpindahan material

3.2.4 Perancangan Tata Letak Kerja

Perancangan tata letak kerja (*facility layout*) merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan sistem kerja karena berhubungan langsung dengan aliran material, pergerakan pekerja, serta penggunaan ruang dalam suatu fasilitas produksi.

a. Jenis Tata Letak

1. Product Layout



Gambar 3.5 Produk Layout
(Sumber : (Chapanis, 1965))

Product layout adalah tata letak yang disusun mengikuti urutan proses produksi suatu produk. Mesin dan fasilitas produksi ditempatkan sesuai dengan aliran proses dari bahan baku hingga produk jadi. Layout ini biasanya digunakan pada produksi massal dengan volume produksi tinggi dan variasi produk yang rendah, seperti industri otomotif dan perakitan elektronik.

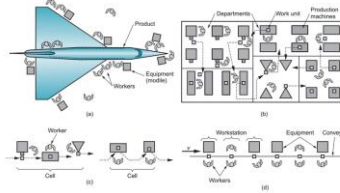
2. Process Layout



Gambar 3. 6 Proses Layout
(Sumber : (Chapanis, 1965))

Process layout adalah tata letak yang mengelompokkan mesin atau fasilitas produksi berdasarkan fungsi atau jenis proses yang sama. Tata letak ini sering digunakan pada sistem produksi dengan variasi produk tinggi dan volume produksi rendah, seperti pada bengkel mesin atau industri *job shop*.

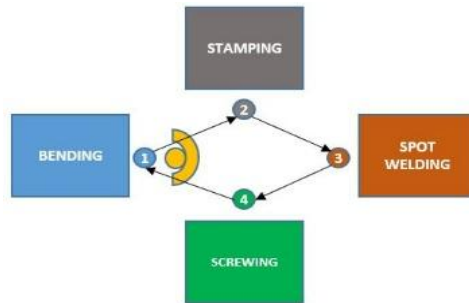
3. Fixed Position Layout



Gambar 3. 7 Fixed Position Layout
(Sumber : (Razin Sazzad MollaTY - ELEC *et al.*, 2018))

Fixed position layout merupakan tata letak di mana produk tetap berada di satu lokasi selama proses produksi berlangsung, sedangkan pekerja, mesin, dan material yang berpindah menuju lokasi produk tersebut. Layout ini biasanya digunakan pada proyek dengan produk berukuran besar seperti pembangunan kapal, pesawat, atau proyek konstruksi.

4. Cellular Layout



Gambar 3. 8 *Cellular Layout*
(Sumber : (BOOK *et al.*, 2025))

Cellular layout adalah tata letak yang mengelompokkan mesin dan peralatan dalam satu sel produksi berdasarkan kesamaan proses atau jenis produk yang diproduksi.

Menurut (Heizer and Render, 2014) , pemilihan layout harus mempertimbangkan volume produksi dan variasi produk.

Tujuan Tata Letak

- Meminimalkan jarak perpindahan
- Mengurangi waktu tunggu
- Mengoptimalkan ruang

3.2.5 Pengukuran Kerja

Pengukuran kerja adalah teknik untuk menentukan waktu yang dibutuhkan operator terlatih dalam menyelesaikan suatu tugas (Niebel and Freivalds, 2009).

a. Tujuan Pengukuran Kerja

- Menentukan waktu baku, Untuk mengetahui waktu standar yang diperlukan seorang pekerja dalam

menyelesaikan suatu pekerjaan dengan metode kerja tertentu pada kondisi normal.

- Menyusun jadwal produksi, mengatur urutan dan waktu pelaksanaan proses produksi agar kegiatan produksi dapat berjalan secara terencana, efisien, dan sesuai dengan target yang telah ditetapkan.
- Menghitung kapasitas, mengetahui kemampuan produksi yang dapat dicapai dalam suatu periode tertentu berdasarkan sumber daya yang tersedia.

3.2.6 Penetapan Waktu Baku

Waktu baku diperoleh dari waktu normal yang ditambahkan allowance.

a. Waktu Normal

$$W_n = W_t \times \text{Rating}$$

Keterangan:

- W_n = Waktu normal (*Normal Time*)
- W_t = Waktu teramati (*Observed Time*)
- R = Rating factor (penilaian kinerja operator)

b. Waktu Baku

$$W_s = \frac{W_n}{1 - \text{Allowance}} \quad \text{Atau} \quad W_s = \frac{W_n}{1 - A}$$

Keterangan:

- W_s = Waktu baku (*Standard Time*)
- W_n = Waktu normal (*Normal Time*)
- A = Allowance (kelonggaran untuk kelelahan, kebutuhan pribadi, dan keterlambatan)

Allowance mencakup kebutuhan pribadi, kelelahan, dan keterlambatan tak terhindarkan (Barnes, 1997).

3.2.7 Integrasi Ergonomi dalam Sistem Kerja

Perancangan sistem kerja harus mempertimbangkan kemampuan fisik dan mental pekerja. Menurut (Dul and Weerdmeester, 2008), sistem kerja yang ergonomis meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi risiko cedera.

Aspek ergonomi yang perlu diperhatikan:

- Postur kerja
- Beban kerja fisik
- Beban kerja mental
- Lingkungan kerja

3.3 Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu (work measurement) merupakan bagian penting dari perancangan sistem kerja yang bertujuan menentukan waktu standar untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Waktu standar diperlukan dalam perencanaan produksi, pengendalian biaya, penentuan kapasitas, serta sistem insentif tenaga kerja.

pengukuran waktu adalah teknik untuk menetapkan waktu yang dibutuhkan oleh seorang operator terlatih untuk menyelesaikan suatu tugas dengan metode kerja yang telah ditentukan dan dalam kondisi kerja normal.

3.3.1 Konsep Dasar Pengukuran Waktu

a. Definisi

Pengukuran waktu adalah penerapan teknik untuk menentukan waktu yang diperlukan operator dalam

menyelesaikan suatu pekerjaan pada tingkat kinerja tertentu (Niebel & Freivalds, 2009).

b. Tujuan dari Pengukuran Waktu

- Menentukan waktu baku
- Menyusun jadwal produksi
- Menentukan kebutuhan tenaga kerja
- Dasar pemberian insentif
- Menilai produktivitas

c. Syarat Pengukuran Waktu

1. Metode kerja telah distandarkan
2. Operator terlatih
3. Kondisi kerja normal
4. Pengamat kompeten

3.3.2 Klasifikasi Metode Pengukuran Waktu

Menurut (Wignjosoebroto, 2017), metode pengukuran waktu dibagi menjadi:

1. Stopwatch Time Study
2. Work Sampling
3. Predetermined Motion Time System (PMTS)
PMTS adalah sistem pengukuran waktu berdasarkan waktu standar untuk gerakan dasar manusia. PMTS memungkinkan penentuan waktu tanpa observasi langsung.

Keunggulan PMTS

- Cocok untuk perancangan awal
 - Konsisten
 - Mengurangi subjektivitas
4. Standard Data System

Masing-masing metode memiliki kelebihan dan keterbatasan tergantung jenis pekerjaan.

3.3.3 Stopwatch Time Study

Stopwatch time study adalah metode pengukuran waktu langsung menggunakan alat ukur waktu (stopwatch).

a. Tahapan yang dilakukan untuk Stopwatch Time Study

1. Pilih pekerjaan yang akan diukur
2. Bagi pekerjaan menjadi elemen kerja
3. Ukur waktu setiap elemen
4. Tentukan faktor penilaian (rating)
5. Hitung waktu normal
6. Tambahkan allowance untuk memperoleh waktu baku (Barnes, 1997).

b. Jenis Pengukuran untuk Stopwatch Time Study

- Continuous timing
- Snapback timing

C. Perhitungan

Rumus Waktu Normal

$$W_n = W_t \times R$$

Keterangan:

- W_n = Waktu normal
- W_t = Waktu rata-rata teramati (*observed time*)
- R = Faktor penilaian kinerja (*rating factor*)

3.3.4 Penilaian Kinerja (Performance Rating)

Performance rating digunakan untuk menyesuaikan waktu teramati terhadap kecepatan kerja normal. Jika

operator bekerja lebih cepat dari standar, rating >100%. Jika lebih lambat, rating <100%.

Menurut (Niebel and Freivalds, 2009), faktor rating harus dilakukan oleh pengamat terlatih agar objektif.

Contoh:

Waktu rata-rata = 5 menit

Rating = 110%

$W_n = 5 \times 1,10 = 5,5$ menit

DAFTAR PUSTAKA

- Ansari, S., Nikpey, A. and Varmazyar, S. (2018) 'Design and Development of an Ergonomic Chair for Students in Educational Settings', *Health Scope*, 7(4), p. e60531. Available at: <https://doi.org/10.5812/jhealthscope.60531>.
- Association, I.E. (2000) 'What is Ergonomics?' International Ergonomics Association. Available at: <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>.
- Barnes, R.M. (1997) *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*. 7th Edition. New York: John Wiley & Sons.
- BOOK, T.- *et al.* (2025) 'Flexible Cells in Lean Manufacturing'. Total Manufacturing. Available at: <https://total-manufacturing.com/lean-manuf/introduction/flexible-cells-lean/>.
- Bridger, R.S. (2018) *Introduction to Human Factors and Ergonomics*. 4th edition. Boca Raton: CRC Press.
- Carayon, P. (2006) 'Human factors of complex sociotechnical systems', *Applied Ergonomics*, 37(4), pp. 525–535. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.011>.
- Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J. and Martin, B.J. (2006) *Occupational Biomechanics*. 4th Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

- Chapanis, A. (1965) *Man-Machine Engineering*. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company. Available at: [https://openlibrary.org/works/ OL533576W/Man-machine_engineering](https://openlibrary.org/works/OL533576W/Man-machine_engineering).
- Degu, Y.M. (2024) 'Enhancing productivity through work study - A case of electric power pole cross arm fabrication', *Heliyon*, 10(12), p. e32868. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32868>.
- Delangle, M., Petiot, J.F. and Poirson, E. (2017) 'Assessing the differences between numerical methods and real experiments for the evaluation of reach envelopes of the human body', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 61, pp. 103–110. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.05.012>.
- Delangle, M., Poirson, É. and Petiot, J.F. (2014) 'Study of human accessibility: physical tests versus numerical simulation', *Proceedings of the DESIGN Conference* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1606.03482>.
- Dul, J. and Weerdmeester, B. (2008) *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide*. 3rd Edition. Boca Raton: CRC Press.
- Fachrunnisa, R. and Rimantho, D. (2022) 'Identifikasi Waste pada Proses Produksi Bakso Aci di UMKM Sekar Group', *Identification of Waste in the Production Process Bakso Aci at UMKM Sekar Group*, 6(2). Available at: <https://doi.org/10.31289/jime.v6i2.7140>.
- Freivalds, A. and Niebel, B. (2013) *Niebel's Methods, Standards, and Work Design*. 13th Edition. New York: McGraw-Hill Higher Education.

- Grandjean, E. (1988) *Fitting the Task to the Man: A Textbook of Occupational Ergonomics*. 4th Edition. London: Taylor & Francis.
- Health, N.I. for O.S. and (1997) *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors*. Cincinnati, Ohio: Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Available at: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/>.
- Heizer, J. and Render, B. (2014) *Operations Management*. 11th Edition. Boston: Pearson Education.
- Niebel, B.W. and Freivalds, A. (2009) *Niebel's Methods, Standards, and Work Design*. 12th Edition. New York: McGraw-Hill.
- Pheasant, S. and Haslegrave, C.M. (2006) *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*. 3rd Edition. Boca Raton: CRC Press. Available at: <https://www.routledge.com/Bodyspace-Anthropometry-Ergonomics-and-the-Design-of-Work/Pheasant-Haslegrave/p/book/9780415285209>.
- Punnett, L. and Wegman, D.H. (2004) 'Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate', *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), pp. 13–23. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>.
- Razin Sazzad MollaTY - ELEC *et al.* (2018) 'Fixed-position layout, process layout, and product layout'. ResearchGate. Available at: https://www.researchgate.net/figure/a-fixed-position-layout-b-process-layout-c-process-layout-and-d-product-layout_fig4_325178996.
- Reason, J. (1990) *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Safety, C.C. for O.H. and (2025) 'Lighting Ergonomics - Survey and Solutions'. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS). Available at: https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/lighting/lighting_survey.html.
- Sanders, M.S. and McCormick, E.J. (1993) *Human Factors in Engineering and Design*. 7th edition. New York: McGraw-Hill.
- Suranuntchai, N. and Chutima, P. (2023) 'Practical Implementation of Lean Management Techniques and Ergonomic Consideration to Improve Manual Assembly Process During the COVID-19 Crisis', *Engineering Journal*, 27(2). Available at: <https://doi.org/10.4186/ej.2023.27.2.29>.
- Wickens, C.D. *et al.* (2015) *An Introduction to Human Factors Engineering*. 2nd edition. Boston: Pearson.
- Wignjosoebroto, S. (2017) *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu*. Surabaya: Guna Widya.
- Yusuf, S. *et al.* (2024) 'Desain Pekerjaan Organisasi dalam Membangun Kesejahteraan Kerja Pegawai', *Jurnal Bisnis Mahasiswa*, 5(1). Available at: <https://doi.org/10.60036/jbm.v5i1.364>.

BAB 4

OPTIMASI SISTEM, PENGENDALIAN OPERASIONAL, DAN MANAJEMEN SUMBER DAYA MANUSIA

Oleh Christofora Desi Kusmindari

4.1 Optimasi Sistem

4.1.1 Konsep Dasar Optimasi Sistem

Dalam dunia manajemen dan rekayasa modern, konsep optimasi sistem merupakan salah satu pilar utama yang menentukan daya saing dan efektivitas suatu organisasi. Optimasi sistem secara luas dipahami sebagai proses pencarian solusi terbaik di antara berbagai alternatif yang tersedia untuk mencapai tujuan tertentu dengan memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan kerugian (Hillier & Lieberman, 2021). Dalam konteks manajemen operasi, optimasi tidak sekadar berarti efisiensi teknis, melainkan juga mencakup efisiensi sumber daya, biaya, waktu, dan kualitas secara bersamaan.

Sejarah perkembangan optimasi sistem bermula dari lahirnya riset operasi (operations research) pada era Perang Dunia II, ketika para ilmuwan Inggris dan Amerika Serikat berupaya mengalokasikan sumber daya militer yang terbatas secara paling efektif. Sejak saat itu, metode optimasi berkembang pesat dan kini diterapkan dalam berbagai bidang, mulai dari manajemen rantai pasok, perencanaan produksi, logistik, keuangan, hingga manajemen sumber daya manusia (Taha, 2017). Perkembangan teknologi komputasi turut mempercepat penerapan optimasi skala besar yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan secara manual.

Mahasiswa manajemen perlu memahami bahwa optimasi sistem bukan merupakan tujuan akhir, melainkan alat bantu pengambilan keputusan yang efektif. Setiap model optimasi dibangun di atas asumsi-asumsi tertentu yang perlu dipahami secara kritis. Apabila asumsi tidak sesuai dengan kondisi nyata, maka solusi yang dihasilkan bisa menyesatkan. Oleh sebab itu, kompetensi dalam optimasi sistem mencakup kemampuan membangun model, menginterpretasikan hasil, serta mengevaluasi keterbatasan model secara kritis (Chase, Jacobs & Aquilano, 2019).

Secara konseptual, sistem optimasi terdiri atas tiga elemen utama: (1) fungsi tujuan (*objective function*), yaitu ekspresi matematis yang menggambarkan apa yang ingin dimaksimalkan atau diminimalkan; (2) variabel keputusan (*decision variables*), yaitu besaran yang dapat dikendalikan oleh pengambil keputusan; dan (3) kendala (*constraints*), yaitu batasan-batasan yang membatasi nilai variabel keputusan (Render, Stair & Hanna, 2018). Ketiga elemen ini saling berinteraksi membentuk suatu model yang, apabila diselesaikan secara tepat, akan menghasilkan solusi optimal.

Dalam praktik bisnis, fungsi tujuan sering kali berkaitan dengan maksimalisasi keuntungan, minimalisasi biaya, maksimalisasi utilitas pelanggan, atau minimalisasi waktu penyelesaian. Sementara itu, kendala dapat berupa kapasitas mesin, anggaran, tenaga kerja yang tersedia, waktu, maupun regulasi yang berlaku. Pemahaman yang mendalam mengenai interaksi antara fungsi tujuan dan kendala merupakan kompetensi kritis yang harus dimiliki mahasiswa manajemen tingkat menengah (Siswanto, 2020).

4.1.2 Metode-Metode Optimasi

Terdapat beragam metode optimasi yang dikembangkan para ahli selama beberapa dekade terakhir. Secara umum, metode-metode tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok besar, yaitu metode klasik (deterministik) dan metode metaheuristik (stokastik). Pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada karakteristik masalah yang dihadapi, termasuk skala masalah, sifat fungsi tujuan, dan jenis kendala yang ada (Pinedo, 2016).

a. Pemrograman Linear (Linear Programming)

Pemrograman linear (PL) merupakan metode optimasi tertua dan paling banyak digunakan dalam konteks bisnis dan manajemen. Metode ini digunakan ketika fungsi tujuan dan semua kendala dapat dinyatakan dalam bentuk linear terhadap variabel keputusan. Algoritma simpleks yang dikembangkan oleh George Dantzig pada tahun 1947 hingga kini masih menjadi tulang punggung penyelesaian masalah PL skala besar (Dantzig & Thapa, 1997, dalam Hillier & Lieberman, 2021). Contoh penerapan PL dalam bisnis meliputi perencanaan bauran

produksi, perencanaan tenaga kerja, dan optimasi distribusi barang.

Kekuatan utama PL terletak pada kemampuannya memberikan solusi global optimal secara terjamin, selama masalah memenuhi syarat konveksitas. Kelemahan utamanya adalah asumsi linearitas yang sering tidak terpenuhi dalam situasi nyata. Ketika hubungan antar variabel bersifat nonlinear, maka metode pemrograman nonlinear (Nonlinear Programming, NLP) perlu dipertimbangkan sebagai alternatif (Bazaraa, Sherali & Shetty, 2013).

b. Pemrograman Integer (Integer Programming)

Dalam banyak situasi manajerial, variabel keputusan harus bernilai bilangan bulat (integer). Misalnya, perusahaan tidak dapat memproduksi 2,7 unit mesin atau mempekerjakan 3,5 karyawan. Pemrograman integer (PI) merupakan perluasan dari pemrograman linear yang menambahkan syarat bahwa sebagian atau seluruh variabel keputusan harus bernilai bulat. Metode penyelesaian yang umum digunakan adalah Branch and Bound serta algoritma cutting plane (Wolsey & Nemhauser, 2014). Pemrograman integer biner, di mana variabel hanya bernilai 0 atau 1, sangat relevan untuk masalah seleksi proyek, penugasan, dan penjadwalan.

c. Pemrograman Dinamis (Dynamic Programming)

Pemrograman dinamis (PD) merupakan pendekatan optimasi untuk masalah yang dapat dipecah menjadi sub-masalah yang lebih kecil dan saling terkait secara sekuensial.

Prinsip optimalitas Bellman menyatakan bahwa solusi optimal suatu masalah terdiri atas keputusan-keputusan yang optimal pada setiap tahap (Bellman, 1957, dalam Hillier & Lieberman, 2021). PD banyak diaplikasikan pada perencanaan inventori multi-periode, pengalokasian sumber daya bertahap, serta perencanaan kapasitas jangka panjang.

d. Metode Metaheuristik

Ketika masalah optimasi terlalu kompleks untuk diselesaikan dengan metode klasik, metode metaheuristik menawarkan solusi praktis meskipun tidak selalu menjamin optimalitas global. Algoritma genetika (Genetic Algorithm), Simulated Annealing, Particle Swarm Optimization, dan Ant Colony Optimization adalah beberapa contoh metode metaheuristik yang populer dalam literatur riset operasi dan kecerdasan buatan (Blum & Roli, 2003). Dalam konteks industri, metode-metode ini semakin banyak diterapkan berkat kemajuan komputasi dan meningkatnya kompleksitas masalah operasional.

Tabel 4. 1 Perbandingan Metode-Metode Optimasi

Metode	Jenis Masalah	Kelebihan	Keterbatasan	Contoh Aplikasi
Pemrograman Linear	Fungsi linear, kendala linear	Solusi global optimal terjamin	Asumsi linearitas ketat	Bauran produksi, distribusi
Pemrograman Integer	Variabel bernilai bulat	Realistis untuk keputusan diskrit	Komputasi lebih berat	Penjadwalan, seleksi proyek

Metode	Jenis Masalah	Kelebihan	Keterbatasan	Contoh Aplikasi
Pemrograman Dinamis	Masalah multistage	Efisien untuk keputusan sekuensial	Dimensionalitas tinggi	Inventori multi-periode
Algoritma Genetika	Masalah kompleks nonlinear	Fleksibel, tidak butuh gradien	Tidak menjamin optimalitas global	Desain produk, routing
Simulasi Monte Carlo	Ketidakpastian stokastik	Cocok untuk sistem kompleks	Memerlukan banyak iterasi	Manajemen risiko, keuangan

Sumber: Diadaptasi dari Hillier & Lieberman (2021) dan Taha (2017)

4.1.3 Optimasi dalam Konteks Organisasi

Penerapan optimasi sistem di tingkat organisasi memiliki dimensi yang jauh lebih kompleks dibandingkan penerapannya secara teknis semata. Organisasi beroperasi dalam lingkungan yang dinamis dengan ketidakpastian tinggi, di mana tujuan-tujuan strategis sering kali saling bertentangan satu sama lain. Misalnya, upaya meminimalkan biaya produksi bisa berbenturan dengan tujuan mempertahankan kualitas produk dan kepuasan pelanggan (Chopra & Meindl, 2019). Oleh karena itu, optimasi dalam konteks organisasi membutuhkan pendekatan multiobjektif yang mampu menyeimbangkan berbagai kepentingan secara simultan.

Optimasi multiobjektif (Multi-Objective Optimization, MOO) menjadi semakin relevan dalam manajemen modern. Dalam MOO, pengambil keputusan tidak hanya mencari satu solusi terbaik, melainkan sekumpulan solusi yang disebut Pareto-optimal front, di mana tidak ada solusi lain yang dapat

memperbaiki satu tujuan tanpa memperburuk tujuan lainnya (Deb, 2001). Konsep ini sangat penting dalam perumusan strategi bisnis, di mana peningkatan profitabilitas jangka pendek sering kali harus diimbangi dengan investasi dalam keberlanjutan jangka panjang.

Implementasi optimasi di tingkat organisasi juga harus mempertimbangkan faktor perilaku manusia (behavioral factors). Penelitian di bidang behavioral operations management menunjukkan bahwa keputusan nyata manusia sering kali menyimpang dari solusi optimal model matematis akibat bias kognitif, keterbatasan informasi, dan pengaruh norma sosial (Bendoly, Croson, Goncalves & Schultz, 2010). Oleh sebab itu, manajer yang efektif perlu tidak hanya memahami solusi optimal secara teknis, tetapi juga mampu mengkomunikasikan dan mengimplementasikan solusi tersebut dalam konteks budaya organisasi yang nyata.

Dalam ekosistem digital saat ini, konsep optimasi juga berkaitan erat dengan penggunaan data besar (big data) dan kecerdasan buatan (artificial intelligence). Teknik machine learning, khususnya reinforcement learning, telah membuka babak baru dalam optimasi sistem yang bersifat adaptif dan real-time (Sutton & Barto, 2018). Perusahaan-perusahaan terdepan seperti Amazon, Alibaba, dan Grab memanfaatkan optimasi berbasis AI untuk mengelola jaringan logistik, penetapan harga dinamis, dan alokasi sumber daya secara otomatis dalam skala jutaan transaksi per hari.

4.1.4 Analisis Sensitivitas dan Interpretasi Hasil Optimasi

Solusi optimal suatu model optimasi tidak berdiri sendiri; ia perlu diinterpretasikan dalam konteks asumsi-asumsi yang mendasarinya. Analisis sensitivitas merupakan

alat yang sangat penting untuk mengevaluasi seberapa jauh solusi optimal akan berubah apabila terjadi perubahan pada parameter model, seperti perubahan biaya, kapasitas, atau permintaan (Winston, 2004). Dengan melakukan analisis sensitivitas, manajer dapat mengidentifikasi parameter kritis yang paling berpengaruh terhadap keputusan, sehingga perhatian ekstra dapat diberikan pada pengelolaan parameter tersebut.

Dalam pemrograman linear, analisis sensitivitas mencakup dua aspek utama: rentang optimalitas untuk koefisien fungsi tujuan (*objective function ranging*) dan rentang feasibilitas untuk nilai sisi kanan kendala (*right-hand side ranging*). Rentang optimalitas menunjukkan seberapa jauh koefisien biaya atau keuntungan dapat berubah tanpa mengubah basis optimal. Rentang feasibilitas menunjukkan seberapa jauh kapasitas atau permintaan dapat berubah tanpa mengubah struktur solusi yang ada (Hillier & Lieberman, 2021).

Selain analisis sensitivitas, konsep harga bayangan (*shadow price*) merupakan informasi berharga yang dihasilkan dari penyelesaian model PL. Harga bayangan menunjukkan peningkatan nilai fungsi tujuan untuk setiap satu unit penambahan kapasitas dari sumber daya yang terbatas (*binding constraint*). Informasi ini sangat berguna untuk menentukan prioritas investasi dalam penambahan kapasitas (Render, Stair & Hanna, 2018). Misalnya, apabila harga bayangan jam mesin lebih tinggi daripada harga bayangan jam tenaga kerja, maka ekspansi kapasitas mesin lebih menguntungkan dibandingkan penambahan karyawan.

Dalam konteks pengambilan keputusan manajerial yang realistis, mahasiswa perlu memahami bahwa hasil optimasi memberikan arahan strategis, bukan resep yang kaku. Kondisi nyata sering kali mengharuskan penyesuaian terhadap faktor-faktor kualitatif yang tidak dapat dikuantifikasi sepenuhnya, seperti hubungan dengan mitra bisnis, reputasi merek, atau dampak sosial dari sebuah keputusan. Kombinasi antara analisis kuantitatif yang ketat dan penilaian kualitatif yang bijak merupakan ciri khas seorang manajer yang kompeten (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2019).

Sebagai contoh ilustratif, sebuah perusahaan manufaktur furnitur ingin memaksimalkan keuntungan dengan memproduksi dua jenis produk: kursi dan meja. Kursi memberikan keuntungan Rp 150.000 per unit, sedangkan meja memberikan keuntungan Rp 250.000 per unit. Kapasitas jam mesin tersedia 480 jam per minggu, di mana setiap kursi membutuhkan 2 jam mesin dan setiap meja membutuhkan 4 jam. Kapasitas jam kerja tersedia 360 jam per minggu, di mana setiap kursi membutuhkan 3 jam dan setiap meja membutuhkan 2 jam. Dengan memformulasikan dan menyelesaikan model PL ini, diperoleh solusi optimal yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk pengambilan keputusan produksi.

Studi kasus optimasi sistem semakin banyak didokumentasikan dalam literatur akademik dan praktik bisnis. Penelitian Siswanto (2020) pada industri manufaktur di Indonesia menunjukkan bahwa penerapan pemrograman linear untuk optimasi bauran produksi berhasil meningkatkan margin keuntungan rata-rata sebesar 12-18% tanpa penambahan investasi signifikan. Sementara itu, adopsi

algoritma metaheuristik untuk optimasi rute distribusi pada perusahaan logistik menengah dilaporkan mampu mengurangi biaya transportasi hingga 23% (Pujawan & Mahendrawati, 2019).

4.2 Pengendalian Operasional

4.2.1 Konsep Dasar Pengendalian Operasional

Pengendalian operasional merupakan salah satu fungsi manajemen yang paling mendasar dan kritis dalam memastikan bahwa aktivitas-aktivitas organisasi berjalan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Anthony dan Govindarajan (2007) mendefinisikan pengendalian manajemen sebagai proses di mana para manajer memengaruhi anggota organisasi lainnya untuk mengimplementasikan strategi organisasi. Dalam konteks yang lebih operasional, pengendalian mencakup pengukuran kinerja aktual, perbandingan dengan standar yang telah ditetapkan, serta pengambilan tindakan korektif apabila terjadi penyimpangan yang signifikan.

Sejarah pemikiran mengenai pengendalian operasional dapat ditelusuri hingga era manajemen ilmiah Frederick Winslow Taylor pada awal abad ke-20. Taylor menekankan pentingnya standar kerja yang terukur sebagai basis pengendalian kinerja karyawan (Taylor, 1911, dalam Chase, Jacobs & Aquilano, 2019). Perkembangan selanjutnya melahirkan berbagai konsep pengendalian yang lebih komprehensif, termasuk pengendalian kualitas statistik oleh Walter Shewhart, sistem pengendalian produksi Toyota (Toyota Production System), hingga sistem Enterprise

Resource Planning (ERP) berbasis teknologi informasi yang dominan pada era modern.

Mahasiswa perlu memahami perbedaan mendasar antara tiga tingkatan pengendalian dalam organisasi: pengendalian strategis, pengendalian manajerial, dan pengendalian operasional. Pengendalian strategis berfokus pada evaluasi arah strategis organisasi dalam jangka panjang. Pengendalian manajerial memastikan bahwa sumber daya diperoleh dan digunakan secara efisien dan efektif untuk pencapaian tujuan organisasi. Sementara pengendalian operasional memastikan bahwa tugas-tugas spesifik dilaksanakan secara efektif dan efisien sesuai prosedur yang ditetapkan (Anthony & Govindarajan, 2007).

Model pengendalian yang paling mendasar adalah siklus PDCA (Plan-Do-Check-Act), yang dipopulerkan oleh W. Edwards Deming pada pertengahan abad ke-20. Siklus ini menyatakan bahwa pengendalian bukan merupakan aktivitas satu kali, melainkan proses yang berulang dan berkelanjutan (Deming, 1986, dalam Heizer, Render & Munson, 2020). Pada fase Plan, standar dan target ditetapkan. Pada fase Do, aktivitas dilaksanakan. Pada fase Check, kinerja aktual diukur dan dibandingkan dengan standar. Pada fase Act, tindakan korektif diambil dan perbaikan diimplementasikan untuk siklus berikutnya.

Efektivitas sistem pengendalian operasional sangat bergantung pada kualitas informasi yang mengalir dalam organisasi. Sistem informasi manajemen (SIM) yang baik harus mampu menyediakan informasi yang akurat, tepat waktu, relevan, dan dalam format yang mudah dipahami oleh pengambil keputusan di berbagai tingkatan (Laudon & Laudon, 2020). Dengan berkembangnya teknologi Internet of

Things (IoT) dan analitik data real-time, kapabilitas pengendalian operasional modern telah melampaui jauh apa yang dapat dicapai dengan sistem manual atau bahkan ERP tradisional.

4.2.2 Instrumen dan Alat Pengendalian Operasional

Terdapat berbagai instrumen dan alat pengendalian operasional yang telah terbukti efektif dalam praktik manajemen. Pemilihan instrumen yang tepat sangat bergantung pada jenis proses yang dikendalikan, tingkat variabilitas yang dapat ditoleransi, serta ketersediaan data dan teknologi yang dimiliki organisasi (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2019). Berikut ini akan dibahas beberapa instrumen pengendalian yang paling penting dan relevan bagi mahasiswa manajemen.

a. Pengendalian Kualitas Statistik (Statistical Quality Control)

Pengendalian kualitas statistik (Statistical Quality Control, SQC) merupakan kumpulan teknik berbasis statistik yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan proses produksi atau layanan. Teknik-teknik utama dalam SQC meliputi peta kendali (control charts), sampling penerimaan (acceptance sampling), dan analisis kapabilitas proses (process capability analysis). Peta kendali, yang pertama kali dikembangkan oleh Walter Shewhart, merupakan alat visual yang menampilkan data kinerja proses dari waktu ke waktu beserta batas kendali statistiknya (Montgomery, 2019).

Peta kendali untuk variabel kontinu (seperti berat, panjang, suhu) yang paling umum digunakan adalah peta X-bar (rata-rata) dan peta R (rentang) atau peta S (standar deviasi). Sementara itu, untuk karakteristik atribut (seperti proporsi cacat, jumlah cacat per unit), digunakan peta p, peta np, peta c, dan peta u. Interpretasi peta kendali didasarkan pada deteksi pola-pola yang mengindikasikan penyebab khusus (special cause) variasi, yang membedakannya dari variasi alami (common cause) yang selalu ada dalam setiap proses (Montgomery, 2019).

b. Sistem Pengendalian Inventori

Pengendalian inventori merupakan salah satu aplikasi pengendalian operasional yang paling signifikan secara finansial. Inventori yang terlalu besar mengakibatkan pemborosan modal kerja dan risiko keusangan, sedangkan inventori yang terlalu kecil dapat menyebabkan kehabisan stok (stockout) yang mengganggu operasi dan mengecewakan pelanggan. Model Economic Order Quantity (EOQ), yang dikembangkan oleh Ford Harris pada tahun 1913, hingga kini masih menjadi fondasi konseptual pengendalian inventori (Chase, Jacobs & Aquilano, 2019).

Dalam praktik modern, pengendalian inventori telah berkembang jauh melampaui model EOQ sederhana. Filosofi Just-In-Time (JIT), yang dipopulerkan oleh Toyota, bertujuan untuk menghilangkan pemborosan inventori dengan menerima bahan baku hanya saat diperlukan dalam proses produksi. Material Requirements Planning (MRP) dan Manufacturing Resource Planning (MRP II) mengintegrasikan perencanaan produksi dengan

pengendalian inventori bahan baku dan komponen. Distribution Requirements Planning (DRP) memperluas konsep ini ke jaringan distribusi multi-echelon (Pujawan & Mahendrawati, 2019).

c. Pengendalian Kinerja Berbasis Balanced Scorecard

Balanced Scorecard (BSC), yang dikembangkan oleh Kaplan dan Norton pada tahun 1992, merupakan sistem pengendalian kinerja komprehensif yang menerjemahkan visi dan strategi organisasi ke dalam seperangkat ukuran kinerja yang seimbang dari empat perspektif: keuangan, pelanggan, proses bisnis internal, serta pembelajaran dan pertumbuhan (Kaplan & Norton, 1996). Keunggulan BSC terletak pada kemampuannya menghubungkan tindakan-tindakan operasional jangka pendek dengan tujuan-tujuan strategis jangka panjang melalui hubungan sebab-akibat (causal relationships) yang eksplisit.

Tabel 4. 2 Empat Perspektif Balanced Scorecard dan Contoh Indikator Kinerja

Perspektif BSC	Pertanyaan Kunci	Contoh Indikator Kinerja
Keuangan	Bagaimana kita tampil di mata pemegang saham?	ROI, ROE, EBITDA, Pertumbuhan Pendapatan
Pelanggan	Bagaimana pelanggan melihat kita?	Kepuasan pelanggan, Retensi, Market share, NPS
Proses Internal	Di mana kita harus unggul?	Waktu siklus, Tingkat cacat, On-time delivery
Pembelajaran & Pertumbuhan	Bisakah kita terus meningkatkan nilai?	Turnover karyawan, Jam pelatihan, Inovasi produk

Sumber: Diadaptasi dari Kaplan & Norton (1996)

4.2.3 Sistem Pengendalian Manajemen Modern

Sistem pengendalian manajemen modern (modern management control systems) telah mengalami transformasi fundamental seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan perubahan lingkungan bisnis. Enterprise Resource Planning (ERP) merupakan tonggak penting dalam evolusi ini. Sistem ERP mengintegrasikan seluruh proses bisnis utama organisasi—mulai dari akuntansi, produksi, pengadaan, distribusi, hingga pengelolaan sumber daya manusia—ke dalam satu sistem informasi terpadu yang berbagi basis data tunggal (Laudon & Laudon, 2020). Integrasi ini memungkinkan visibilitas real-time terhadap seluruh operasi perusahaan, yang sangat krusial untuk pengendalian yang efektif.

Di era transformasi digital, sistem pengendalian operasional semakin didukung oleh teknologi-teknologi canggih seperti Internet of Things (IoT), big data analytics, machine learning, dan kecerdasan buatan (AI). Sensor IoT yang tertanam pada mesin-mesin produksi memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara real-time dan prediksi kerusakan sebelum terjadi melalui teknik predictive maintenance (Heizer, Render & Munson, 2020). Analitik big data memungkinkan deteksi pola-pola penyimpangan yang tidak dapat diidentifikasi dengan metode statistik konvensional.

Konsep lean management dan Six Sigma merupakan dua pendekatan pengendalian operasional yang sangat berpengaruh dalam praktik bisnis global. Lean management, yang bersumber dari Toyota Production System, berfokus pada identifikasi dan eliminasi tujuh jenis pemborosan

(muda) dalam proses: kelebihan produksi, menunggu, transportasi berlebih, proses berlebih, inventori berlebih, gerakan tidak perlu, dan cacat produk (Womack, Jones & Roos, 2007). Six Sigma menggunakan metodologi DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) untuk mengurangi variasi proses secara sistematis hingga tingkat cacat kurang dari 3,4 per satu juta kesempatan (Pyzdek & Keller, 2018).

Integrasi antara lean dan Six Sigma, yang dikenal sebagai Lean Six Sigma, kini merupakan metodologi pengendalian operasional yang paling banyak diadopsi oleh perusahaan-perusahaan besar di seluruh dunia. Penelitian Antony (2014) yang dilakukan pada 350 perusahaan Fortune 500 menemukan bahwa 72% di antaranya telah mengimplementasikan program Lean Six Sigma, dengan tingkat keberhasilan yang signifikan dalam pengurangan biaya operasional dan peningkatan kepuasan pelanggan. Di Indonesia, adopsi Lean Six Sigma di sektor manufaktur dan perbankan juga semakin meningkat dalam satu dekade terakhir (Pujawan & Mahendrawati, 2019).

4.2.4 Pengendalian Biaya dan Anggaran

Pengendalian biaya merupakan dimensi keuangan dari pengendalian operasional yang paling langsung berdampak pada profitabilitas organisasi. Sistem akuntansi biaya (cost accounting) menyediakan informasi yang diperlukan untuk memantau dan mengendalikan biaya pada berbagai tingkatan—mulai dari biaya per unit produk, biaya per departemen, hingga biaya per proyek atau kontrak (Horngren, Datar & Rajan, 2015). Varian (variance analysis) merupakan alat pengendalian biaya yang membandingkan biaya aktual

dengan biaya standar yang telah dianggarkan, sehingga penyimpangan dapat diidentifikasi dan diselidiki.

Anggaran (budget) berperan sebagai instrumen pengendalian yang menghubungkan perencanaan strategis dengan pelaksanaan operasional. Anggaran yang efektif bukan sekadar target keuangan, melainkan juga merupakan alat koordinasi antar departemen, alat motivasi bagi karyawan, dan alat evaluasi kinerja manajer. Activity-Based Budgeting (ABB) merupakan pendekatan penganggaran modern yang menghubungkan alokasi sumber daya dengan aktivitas-aktivitas yang benar-benar menciptakan nilai (Horngren, Datar & Rajan, 2015). Dibandingkan penganggaran tradisional yang cenderung inkremental, ABB mendorong analisis yang lebih kritis terhadap efisiensi dan relevansi setiap aktivitas.

Analisis varian biaya dapat didekomposisi lebih lanjut untuk mengidentifikasi sumber penyimpangan secara lebih tepat. Varian biaya bahan baku, misalnya, dapat disebabkan oleh perbedaan harga beli (varian harga) atau perbedaan jumlah pemakaian (varian efisiensi). Demikian pula, varian biaya tenaga kerja dapat didekomposisi menjadi varian tarif upah dan varian efisiensi penggunaan jam kerja (Horngren, Datar & Rajan, 2015). Pemahaman yang mendalam mengenai penyebab varian sangat penting agar tindakan korektif yang diambil benar-benar mengatasi akar masalah, bukan sekadar gejalanya.

Penganggaran berbasis nol (*Zero-Based Budgeting, ZBB*) merupakan pendekatan alternatif yang mengharuskan setiap anggaran dimulai dari nol setiap periode, tanpa menjadikan anggaran periode sebelumnya sebagai acuan otomatis. Pendekatan ini mendorong evaluasi kritis terhadap

semua pengeluaran dan dapat mengidentifikasi program-program yang tidak lagi relevan atau efisien. Meskipun lebih memakan waktu dibandingkan penganggaran tradisional, ZBB terbukti efektif dalam mengidentifikasi peluang penghematan yang signifikan, terutama pada organisasi yang telah mengalami pembengkakan biaya struktural selama bertahun-tahun (Pyhrr, 1973, dalam Siswanto, 2020).

4.3 Manajemen Sumber Daya Manusia

4.3.1 Pengertian dan Perkembangan Manajemen SDM

Manajemen Sumber Daya Manusia (MSDM) merupakan fungsi organisasi yang bertanggung jawab atas pengelolaan aset terpenting perusahaan, yaitu sumber daya manusianya. Dessler (2020) mendefinisikan MSDM sebagai kebijakan dan praktik yang diperlukan untuk menjalankan aspek-aspek sumber daya manusia dari posisi manajemen, mencakup perekrutan, seleksi, pelatihan, penghargaan, dan penilaian. Sementara itu, Armstrong dan Taylor (2020) menekankan bahwa MSDM modern tidak sekadar bersifat administratif, melainkan harus bersifat strategis dan terintegrasi dengan tujuan bisnis organisasi secara keseluruhan.

Evolusi pemikiran tentang pengelolaan sumber daya manusia dalam organisasi telah melewati beberapa fase penting. Pada era manajemen ilmiah (scientific management) di awal abad ke-20, karyawan dipandang semata-mata sebagai faktor produksi yang perlu dikelola secara efisien melalui standarisasi pekerjaan dan sistem insentif berbasis output (Taylor, 1911, dalam Armstrong & Taylor, 2020).

Perspektif ini kemudian mengalami koreksi signifikan melalui studi Hawthorne (1924-1932), yang mengungkap pengaruh faktor sosial dan psikologis terhadap produktivitas karyawan. Elton Mayo dan para peneliti human relations menunjukkan bahwa pengakuan, perhatian, dan dinamika kelompok tidak kalah pentingnya dibandingkan insentif finansial semata.

Pada dekade 1960-an hingga 1980-an, fungsi manajemen personalia (personnel management) mengalami perluasan signifikan dengan bertambahnya regulasi ketenagakerjaan, berkembangnya serikat pekerja, dan meningkatnya kompleksitas hubungan industrial. Kemudian, pada tahun 1980-an, konsep Human Resource Management (HRM) mulai menggeser paradigma manajemen personalia tradisional dengan menekankan aspek-aspek strategis, proaktif, dan integratif dari pengelolaan SDM (Armstrong & Taylor, 2020). Lebih jauh lagi, konsep Strategic Human Resource Management (SHRM) berkembang dengan argumen bahwa praktik-praktik MSDM harus selaras (aligned) dengan strategi bisnis perusahaan untuk dapat menciptakan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan.

Dalam konteks Indonesia, perkembangan MSDM dipengaruhi oleh dinamika regulasi ketenagakerjaan yang terus berubah, pergeseran demografis angkatan kerja, serta transformasi digital yang mengubah kompetensi yang dibutuhkan oleh industri. Undang-Undang Ketenagakerjaan No. 13 Tahun 2003 dan perubahannya melalui UU Cipta Kerja No. 11 Tahun 2020 membentuk kerangka hukum yang menentukan hak dan kewajiban pengusaha dan pekerja, yang harus dipahami dengan baik oleh setiap praktisi MSDM (Dessler & Tan, 2020). Di sisi lain, penetrasi teknologi digital

mendorong kebutuhan akan karyawan yang melek digital (digitally literate) di semua tingkatan organisasi.

4.3.2 Perencanaan dan Pengadaan SDM

Perencanaan sumber daya manusia (human resource planning, HRP) merupakan proses sistematis untuk mengidentifikasi kebutuhan SDM organisasi di masa mendatang dan merumuskan strategi untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Proses HRP mencakup analisis permintaan SDM (demand forecasting), analisis pasokan SDM (supply forecasting), identifikasi kesenjangan (gap analysis), serta formulasi rencana aksi untuk menutup kesenjangan tersebut (Dessler, 2020). Perencanaan SDM yang efektif memungkinkan organisasi untuk mengantisipasi kebutuhan talenta jauh sebelum kebutuhan tersebut menjadi kritis, sehingga menghindari biaya rekrutmen darurat yang mahal.

Analisis jabatan (job analysis) merupakan fondasi dari hampir semua praktik MSDM, mulai dari rekrutmen, seleksi, pelatihan, hingga penilaian kinerja dan kompensasi. Analisis jabatan menghasilkan dua output utama: deskripsi jabatan (job description), yang merangkum tugas-tugas, tanggung jawab, dan hubungan pelaporan dari suatu posisi; serta spesifikasi jabatan (job specification), yang mengidentifikasi pengetahuan, keterampilan, kemampuan, dan karakteristik lain (KSAOs: Knowledge, Skills, Abilities, and Other characteristics) yang diperlukan oleh pemegang jabatan (Dessler, 2020). Dengan maraknya model kerja fleksibel dan berbasis proyek, analisis jabatan tradisional semakin bergeser menuju analisis kompetensi (competency modeling) yang lebih dinamis.

Proses rekrutmen bertujuan menarik kandidat yang memenuhi kualifikasi untuk mengisi posisi yang lowong. Rekrutmen dapat dilakukan melalui berbagai sumber, baik internal maupun eksternal. Rekrutmen internal, melalui promosi, rotasi, atau penawaran terbuka (job posting), memiliki keunggulan dalam hal biaya yang lebih rendah, motivasi karyawan yang meningkat, dan tersedianya informasi yang lebih akurat tentang kandidat. Rekrutmen eksternal, melalui iklan lowongan, agen rekrutmen, kampus rekrutmen, atau platform online seperti LinkedIn dan Jobstreet, memperluas kumpulan kandidat dan dapat membawa perspektif serta pengetahuan baru ke dalam organisasi (Armstrong & Taylor, 2020).

Tabel 4. 3 Perbandingan Sumber-Sumber Rekrutmen SDM

Sumber Rekrutmen	Kelebihan	Kekurangan	Cocok Untuk
Internal (Promosi/Rotasi)	Biaya rendah, motivasi tinggi, data kandidat akurat	Persaingan internal, keterbatasan perspektif baru	Posisi manajerial, jabatan yang butuh pengetahuan organisasi
Job Portal Online	Jangkauan luas, cepat, biaya relatif rendah	Volume aplikasi tinggi, kualitas bervariasi	Posisi entry-level hingga menengah
Kampus Rekrutmen	Akses ke talenta muda berbakat, dapat membentuk citra	Kandidat kurang pengalaman, butuh orientasi intensif	Posisi entry-level, program trainee
Headhunter/Executive Search	Kandidat berkualitas tinggi, berpengalaman	Biaya sangat tinggi (15-30% gaji tahunan)	Posisi eksekutif senior dan spesialis langka

Sumber Rekrutmen	Kelebihan	Kekurangan	Cocok Untuk
Media Sosial (LinkedIn)	Akses pasif kandidat, verifikasi reputasi mudah	Tidak semua profesional aktif di media sosial	Posisi manajerial, spesialis teknis

Sumber: Diadaptasi dari Dessler (2020) dan Armstrong & Taylor (2020)

Seleksi merupakan proses mengevaluasi dan memilih kandidat terbaik dari kumpulan pelamar. Proses seleksi yang efektif menggunakan serangkaian alat seleksi yang memiliki validitas prediktif tinggi terhadap kinerja jabatan. Wawancara terstruktur berbasis perilaku (behavioral event interview), yang menggali contoh-contoh perilaku nyata kandidat di masa lampau sebagai prediktor perilaku di masa depan, terbukti lebih valid dibandingkan wawancara tidak terstruktur (Schmidt & Hunter, 1998, dalam Dessler, 2020). Tes kemampuan kognitif, tes kepribadian berbasis model Big Five, assessment center, dan verifikasi referensi merupakan alat-alat seleksi lain yang umum digunakan dalam praktik MSDM modern.

4.3.3 Pengembangan dan Pelatihan SDM

Pelatihan dan pengembangan sumber daya manusia merupakan investasi strategis yang semakin krusial dalam era ekonomi berbasis pengetahuan. Pelatihan (training) berfokus pada peningkatan kompetensi untuk kebutuhan pekerjaan saat ini, sementara pengembangan (development) berorientasi pada mempersiapkan karyawan untuk tanggung jawab yang lebih besar di masa mendatang (Noe, Hollenbeck, Gerhart & Wright, 2020). Investasi dalam pelatihan dan pengembangan tidak hanya meningkatkan kinerja individual,

tetapi juga berkontribusi pada kapabilitas organisasional, daya tarik sebagai pemberi kerja (employer of choice), dan retensi talenta kunci.

Model ADDIE (Analysis-Design-Development-Implementation-Evaluation) merupakan kerangka pengembangan program pelatihan yang paling banyak digunakan dalam praktik MSDM. Pada fase Analisis, kebutuhan pelatihan diidentifikasi melalui analisis kebutuhan (training needs assessment) yang mencakup analisis organisasi, analisis tugas, dan analisis karyawan. Pada fase Desain, tujuan pembelajaran, metode pelatihan, dan kriteria evaluasi dirumuskan. Pada fase Pengembangan, materi pelatihan aktual dibuat. Pada fase Implementasi, program dilaksanakan. Pada fase Evaluasi, efektivitas program diukur menggunakan model evaluasi yang sesuai (Noe, Hollenbeck, Gerhart & Wright, 2020).

Model evaluasi pelatihan yang paling dikenal adalah model empat tingkat Kirkpatrick. Tingkat pertama (Reaction) mengukur kepuasan peserta terhadap program pelatihan. Tingkat kedua (Learning) mengukur pengetahuan dan keterampilan yang diperoleh peserta. Tingkat ketiga (Behavior) mengukur sejauh mana peserta menerapkan pembelajaran di tempat kerja. Tingkat keempat (Results) mengukur dampak bisnis dari pelatihan, seperti peningkatan produktivitas, pengurangan kesalahan, atau peningkatan kepuasan pelanggan (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2016). Sayangnya, evaluasi sering kali hanya dilakukan pada tingkat pertama dan kedua, padahal dampak bisnis sesungguhnya hanya dapat diukur pada tingkat ketiga dan keempat.

Dalam konteks era digital, e-learning dan microlearning semakin populer sebagai modalitas pelatihan

yang fleksibel dan skalabel. Platform pembelajaran online seperti Coursera, Udemy, dan LinkedIn Learning memungkinkan karyawan belajar secara mandiri sesuai kebutuhan dan waktu yang tersedia. Namun, penelitian menunjukkan bahwa pelatihan tatap muka masih lebih efektif untuk pengembangan keterampilan interpersonal, kepemimpinan, dan situasi di mana umpan balik segera (immediate feedback) sangat penting (Noe, Hollenbeck, Gerhart & Wright, 2020). Blended learning, yang mengombinasikan modalitas online dan tatap muka, sering kali menjadi solusi optimal yang menyeimbangkan fleksibilitas dan efektivitas.

4.3.4 Penilaian Kinerja dan Kompensasi

Penilaian kinerja (performance appraisal) merupakan proses formal yang mengevaluasi kontribusi karyawan terhadap tujuan organisasi selama periode tertentu. Sistem penilaian kinerja yang efektif memiliki beberapa karakteristik utama: validitas (mengukur apa yang seharusnya diukur), reliabilitas (konsisten antar penilai dan waktu), bebas dari bias, bersifat praktis, dan dapat diterima oleh semua pihak yang terlibat (Dessler, 2020). Metode penilaian yang umum digunakan meliputi skala penilaian grafis (graphic rating scale), penilaian berbasis perilaku (Behaviorally Anchored Rating Scales, BARS), manajemen berdasarkan sasaran (Management By Objectives, MBO), dan umpan balik 360 derajat.

Manajemen kinerja (performance management) merupakan konsep yang lebih luas dari sekadar penilaian kinerja. Manajemen kinerja adalah proses berkelanjutan yang mencakup penetapan tujuan yang selaras dengan strategi

organisasi, coaching dan mentoring yang berkelanjutan sepanjang periode kinerja, penilaian formal, serta tindak lanjut berupa pengembangan dan penghargaan (Armstrong & Taylor, 2020). Pendekatan Objectives and Key Results (OKR), yang dipopulerkan oleh Google dan Intel, merupakan salah satu framework manajemen kinerja modern yang menekankan tujuan yang ambisius namun terukur dengan indikator hasil yang spesifik.

Kompensasi merupakan salah satu determinan utama daya tarik dan retensi karyawan berbakat. Sistem kompensasi yang efektif harus memenuhi empat kriteria keadilan: keadilan internal (internal equity), yaitu kesetaraan relatif antara jabatan-jabatan dalam organisasi yang sama; keadilan eksternal (external equity), yaitu daya saing kompensasi dibandingkan pasar tenaga kerja; keadilan individual (individual equity), yaitu keterkaitan antara kompensasi dengan kinerja individual; dan keadilan prosedural (procedural equity), yaitu persepsi karyawan mengenai keadilan proses penentuan kompensasi (Dessler, 2020).

Tren kompensasi modern semakin bergerak menuju Total Rewards approach, yang mengakui bahwa motivasi dan kepuasan karyawan tidak hanya ditentukan oleh kompensasi finansial langsung (gaji, bonus, insentif), tetapi juga oleh kompensasi finansial tidak langsung (tunjangan, program pensiun, asuransi), serta penghargaan non-finansial seperti pengakuan, otonomi pekerjaan, kesempatan pengembangan, dan lingkungan kerja yang kondusif (WorldatWork, 2015, dalam Armstrong & Taylor, 2020). Penelitian Gallup secara konsisten menunjukkan bahwa faktor-faktor non-finansial seperti keterlibatan (*engagement*), makna pekerjaan (*meaningful work*), dan kualitas hubungan dengan atasan

langsung merupakan prediktor kuat retensi dan produktivitas karyawan di berbagai industri dan negara.

Keterkaitan antara manajemen SDM dan kinerja organisasi telah menjadi fokus riset yang ekstensif dalam literatur Strategic HRM. Meta-analisis yang dilakukan oleh Combs, Liu, Hall dan Ketchen (2006) terhadap 92 studi menemukan bahwa penggunaan High Performance Work Systems (HPWS)—yang mencakup praktik-praktik MSDM seperti seleksi ketat, pelatihan intensif, pemberdayaan karyawan, dan sistem kompensasi berbasis kinerja—memiliki korelasi positif yang signifikan dengan kinerja organisasi, baik yang diukur dari perspektif keuangan maupun operasional. Temuan ini memperkuat argumen bahwa investasi strategis dalam pengelolaan SDM merupakan sumber keunggulan kompetitif yang sulit ditiru oleh pesaing.

Tantangan MSDM di masa mendatang akan semakin kompleks seiring dengan percepatan perubahan teknologi, globalisasi, pergeseran demografis, dan perubahan ekspektasi generasi angkatan kerja baru. Kecerdasan buatan dan otomasi mengancam menggantikan sejumlah pekerjaan rutin, sekaligus menciptakan permintaan baru terhadap kompetensi yang bersifat *uniquely human* seperti kreativitas, empati, penilaian etis, dan kemampuan berkolaborasi lintas budaya (World Economic Forum, 2020). Praktisi MSDM masa depan harus mampu memimpin transformasi tenaga kerja ini dengan visi yang jelas, kepekaan terhadap faktor manusia, serta kemampuan memanfaatkan data dan teknologi secara etis dan efektif.

4.4 Rangkuman

Bab ini telah membahas tiga pilar penting dalam manajemen operasional modern: optimasi sistem, pengendalian operasional, dan manajemen sumber daya manusia. Optimasi sistem menyediakan kerangka analitis kuantitatif untuk mencari solusi terbaik dalam alokasi sumber daya yang terbatas, dengan berbagai metode mulai dari pemrograman linear hingga algoritma metaheuristik. Pengendalian operasional memastikan bahwa aktivitas-aktivitas organisasi berjalan sesuai rencana melalui instrumen-instrumen seperti peta kendali statistik, sistem ERP, Balanced Scorecard, dan metodologi Lean Six Sigma. Manajemen SDM, sebagai fondasi keberhasilan dua pilar sebelumnya, mengelola siklus hidup karyawan secara strategis—mulai dari perencanaan, rekrutmen, pengembangan, penilaian kinerja, hingga kompensasi.

Ketiga bidang ini tidak berdiri sendiri secara terpisah, melainkan saling terkait secara erat. Sistem optimasi yang canggih tidak akan menghasilkan nilai jika tidak ada sumber daya manusia yang kompeten untuk mengoperasikannya. Pengendalian operasional yang efektif membutuhkan sistem informasi yang baik, yang pada gilirannya dibangun dan dioperasikan oleh manusia yang terampil. Dan seluruh investasi dalam SDM hanya akan menghasilkan return yang optimal jika dikombinasikan dengan proses operasional yang terkendali dan teroptimasi. Pemahaman yang integratif terhadap ketiga pilar ini merupakan kompetensi kritis bagi seorang manajer profesional di era modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, R. N., & Govindarajan, V. (2007). Management control systems (12th ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Antony, J. (2014). Readiness factors for the Lean Six Sigma journey in the higher education sector. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(2), 257-264.
- Armstrong, M., & Taylor, S. (2020). *Armstrong's handbook of human resource management practice* (15th ed.). Kogan Page.
- Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., & Shetty, C. M. (2013). *Nonlinear programming: Theory and algorithms* (3rd ed.). Wiley.
- Bendoly, E., Croson, R., Goncalves, P., & Schultz, K. (2010). Bodies of knowledge for research in behavioral operations. *Production and Operations Management*, 19(4), 434-452.
- Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3), 268-308.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2019). *Operations and supply chain management* (15th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson.
- Combs, J., Liu, Y., Hall, A., & Ketchen, D. (2006). How much do high-performance work practices matter? A meta-analysis of their effects on organizational performance. *Personnel Psychology*, 59(3), 501-528.

- Deb, K. (2001). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. Wiley.
- Dessler, G. (2020). Human resource management (16th ed.). Pearson.
- Dessler, G., & Tan, C. H. (2020). Human resource management: An Asian perspective (3rd ed.). Pearson.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). Operations management: Sustainability and supply chain management (13th ed.). Pearson.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). Introduction to operations research (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Horngren, C. T., Datar, S. M., & Rajan, M. V. (2015). Cost accounting: A managerial emphasis (15th ed.). Pearson.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business School Press.
- Kirkpatrick, J. D., & Kirkpatrick, W. K. (2016). Kirkpatrick's four levels of training evaluation. ATD Press.
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2019). Operations management: Processes and supply chains (12th ed.). Pearson.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). Management information systems: Managing the digital firm (16th ed.). Pearson.
- Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control (8th ed.). Wiley.
- Noe, R. A., Hollenbeck, J. R., Gerhart, B., & Wright, P. M. (2020). Human resource management: Gaining a competitive advantage (11th ed.). McGraw-Hill Education.

- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, algorithms, and systems* (5th ed.). Springer.
- Pujawan, I. N., & Mahendrawati, E. R. (2019). *Supply chain management* (3rd ed.). Penerbit Andi.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma handbook: A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Render, B., Stair, R. M., & Hanna, M. E. (2018). *Quantitative analysis for management* (13th ed.). Pearson.
- Siswanto. (2020). *Pengantar manajemen*. PT Bumi Aksara.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction* (2nd ed.). MIT Press.
- Taha, H. A. (2017). *Operations research: An introduction* (10th ed.). Pearson.
- Winston, W. L. (2004). *Operations research: Applications and algorithms* (4th ed.). Duxbury Press.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production*. Simon & Schuster.
- Wolsey, L. A., & Nemhauser, G. L. (2014). *Integer and combinatorial optimization*. Wiley.
- World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020*. World Economic Forum.

BIODATA PENULIS



Dr. Lukmandono, ST, MT

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri ITATS

Penulis adalah seorang akademisi dan profesional di bidang Teknik Industri, lahir di Tuban pada April 1975. Penulis menyelesaikan studi S1 Teknik Industri di ITATS, S2 Teknik Industri di ITS Surabaya, dan S3 Teknik Industri di Universitas Gadjah Mada. Berpengalaman luas dalam pengelolaan akademik sejak 2002 diantaranya pernah menjabat sebagai Kepala Program Studi Teknik Industri, Kepala Program Studi Magister Teknik Industri serta Dekan Fakultas Teknologi Industri di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS). Aktif sebagai peneliti dan penulis, dan telah memimpin berbagai proyek penelitian nasional serta menerbitkan sejumlah buku dan karya ilmiah. Penulis juga memegang sejumlah sertifikasi profesi nasional dan internasional, serta memiliki beberapa kekayaan intelektual terdaftar dalam bentuk paten maupun hak cipta. Selain itu, penulis juga menjadi trainer dalam bidang manajemen rantai pasok, logistik, maintenance planning dan pengembangan kurikulum berbasis OBE.

BIODATA PENULIS



Palmadi Putri Surya Negara, M.T

Dosen Program Studi Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Darussalam Gontor

Penulis lahir di Ponorogo pada tanggal 10 Juli 1995. Merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Darussalam Gontor. Latar belakang pendidikannya yang kuat di bidang teknik industri membentuk keahliannya dalam pengembangan sistem dan manajemen pada sektor agroindustri.

Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Industri dan lulus pada tahun 2018. Ia kemudian melanjutkan studi magister (S2) di bidang yang sama dan berhasil menyelesaikannya pada tahun 2021. Fokus keilmuannya meliputi manajemen rantai pasok, produktivitas dan efisiensi sistem industri, serta agroindustri berkelanjutan. Sebagai akademisi, ia aktif dalam kegiatan pengajaran, penelitian, dan pengabdian masyarakat, khususnya yang berkaitan dengan pengembangan agroindustri halal. Melalui

karya tulis dan publikasi ilmiah, berkomitmen untuk turut berkontribusi dalam membangun sistem agroindustri yang tidak hanya efisien, tetapi juga berlandaskan nilai-nilai etika, keberlanjutan, dan kemandirian.

BIODATA PENULIS



Andhika Cahyono Putra

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya

Penulis lahir di Surabaya pada 5 Juni 1985. Penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana di Institut Teknologi 10 November Surabaya pada Program Studi Desain Produk Industri, dan pendidikan Magister di ITATS Surabaya di Magister Teknik Industri. Penulis pernah bekerja di Universitas Islam Majapahit tahun 2016 sampai dengan Januari 2023. Tahun 2023 penulis bekerja di Universitas Muhammadiyah Surabaya. Mata kuliah yang diampu adalah Perancangan dan Pengembangan Produk, Praktikum Terintegrasi, Perencanaan Tata Letak Fasilitas Produksi, Ergonomi, Perancangan Sistem Kerja dan Interaksi Manusia Mesin. Tahun 2018 Penulis mendapatkan 3 hibah dari DIKTI, terdiri dari 1 hibah penelitian dan 2 hibah pengabdian. Tahun 2024 dan 2025 Penulis mendapatkan 2 hibah pengabdian.

Penulis juga mempunyai 11 buah Hak Kekayaan Intelektual(HKI) dan 1 Paten Sederhana. Tahun 2025 Penulis juga menjadi Kepala Laboratorium Teknik Industri dan Pengurus Halal Center Universitas Muhammadiyah Surabaya.

BIODATA PENULIS



Ir. Christofora Desi Kusmindari, MT, IPM

Dosen Program Studi Teknik Industri

Universitas Bina Darma

Penulis adalah dosen dan inovator teknologi industri di Universitas Bina Darma Palembang dengan jabatan akademik Lektor III D, sekaligus menjabat sebagai Ketua Program Studi Teknik Industri dan Editor in Chief Jurnal Tekno sejak 2017. Rekam jejaknya mencakup dua buku berjudul PPIC dan Perancangan Tata Letak Pabrik, tiga hibah kompetitif dari DIKTI (PJJ, KSKI MBKM, dan GNRM) pada 2021, serta kontribusi sebagai ahli teknik industri dalam penyusunan Detail Engineering Design Kawasan Tanjung Api-Api bersama BAPEDA Provinsi Sumatera Selatan. Ia juga aktif sebagai Asesor Kompetensi BNSP bidang K3, pendamping UMKM bersertifikat nasional, dan narasumber pendampingan MBKM di lingkungan LLDIKTI Wilayah 2, dengan pengabdian masyarakat yang konsisten sejak 2010 dalam bidang teknologi tepat guna, inovasi material, dan pemberdayaan ekonomi lokal.