

BUKU REFERENSI

ERGONOMI DAN PERANCANGAN SISTEM KERJA



Mufrida Meri, Z
Nia Candrawati
Siti Nur Hamidah
Roza Linda
Saputra
Aziati Ridha Khairi
Tri Ernita
Sandi Yudha Barri Zaqy
Anny Nurbasari



ERGONOMI DAN PERANCANGAN SISTEM KERJA

Mufrida Meri. Z, Nia Candrawati, Siti Nur Hamidah
Roza Linda, Saputra, Aziati Ridha Khairi
Tri Ernita, Sandi Yudha Barri Zaqy, Anny Nurbasari

Editor : Febri Dristyan

Penerbit,

PT. FAASLIB SERAMBI MEDIA
2026

UU No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4

- Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual, sepanjang hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- Penggunaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmiah dan pengembangan;
- Penggunaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman dan/atau distribusi;
- Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

- Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000 (Seratus Juta Rupiah).
- Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau Pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000 (Lima Ratus Juta Rupiah).

ERGONOMI DAN PERANCANGAN SISTEM KERJA

ISBN: 978-634-97113-5-7 (PDF)

Hak Cipta 2026 pada Penulis

Hak penerbitan pada PT. FAASLIB SERAMBI MEDIA. Bagi mereka yang ingin memperbanyak sebagian isi buku ini dalam bentuk atau cara apapun harus mendapatkan izin tertulis dari penulis dan penerbit PT. FAASLIB SERAMBI MEDIA.

Penulis:

Mufrida Meri. Z, Nia Candrawati, Siti Nur Hamidah
Roza Linda, Saputra, Aziati Ridha Khairi
Tri Ernita, Sandi Yudha Barri Zaqy, Anny Nurbasari

Editor:

Febri Dristyan



Penerbit:

FAASLIB SERAMBI MEDIA

Telp. +62 822-7384-1417

Web : <https://faaslibsmmedia.com/>

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Right Reserved

Cetakan I, Juni 2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku referensi “Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu sumber belajar dan referensi bagi mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi industri, serta pihak-pihak yang memiliki perhatian terhadap bidang ergonomi dan perancangan sistem kerja.

Perkembangan dunia industri, teknologi, dan sistem kerja modern menuntut organisasi untuk tidak hanya berfokus pada produktivitas, tetapi juga pada aspek keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kesejahteraan manusia sebagai pelaku utama dalam sistem kerja.

Ergonomi hadir sebagai disiplin ilmu yang mengintegrasikan pengetahuan tentang kemampuan, keterbatasan, serta karakteristik manusia ke dalam perancangan pekerjaan, peralatan, lingkungan, dan sistem kerja agar tercipta keseimbangan antara kebutuhan manusia dan tuntutan pekerjaan.

Buku ini disusun secara sistematis untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai konsep-konsep ergonomi dan penerapannya dalam perancangan sistem kerja. Pembahasan diawali dengan Pendahuluan Ergonomi dan Sistem Kerja, yang menjelaskan dasar-dasar ergonomi dan pentingnya pendekatan ergonomis dalam dunia kerja.

Selanjutnya, buku ini menguraikan Konsep Dasar Sistem Kerja, Antropometri dalam Perancangan Kerja, Biomekanika Kerja, serta Fisiologi Kerja dan Beban Kerja yang menjadi landasan dalam memahami interaksi manusia dengan pekerjaannya.

Selain aspek fisik, buku ini juga membahas Ergonomi Kognitif dan Psikologi Kerja yang menitikberatkan pada proses mental manusia dalam bekerja. Pembahasan mengenai Lingkungan Kerja Fisik memberikan wawasan tentang faktor-faktor lingkungan seperti pencahayaan, kebisingan, suhu, dan getaran yang memengaruhi

kenyamanan dan kinerja pekerja. Untuk mendukung proses evaluasi, disajikan pula berbagai Metode Analisis dan Evaluasi Ergonomi yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi dan mengurangi risiko kerja.

Pada bagian akhir, buku ini membahas Perancangan Sistem Kerja Terpadu sebagai pendekatan holistik dalam mengoptimalkan sistem kerja, serta Ergonomi dalam Industri dan Teknologi Modern yang mengkaji penerapan ergonomi pada era digital, otomatisasi, dan transformasi industri saat ini. Dengan cakupan materi tersebut, diharapkan pembaca mampu memahami prinsip-prinsip ergonomi secara teoritis maupun praktis dalam berbagai konteks pekerjaan dan industri.

Penyusunan buku ini tentu tidak terlepas dari berbagai sumber referensi, pengalaman akademik, serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang relevan dengan bidang ergonomi. Oleh karena itu, penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan buku ini.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan dan memerlukan penyempurnaan di masa yang akan datang. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan demi peningkatan kualitas buku ini. Semoga buku referensi “Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja” dapat memberikan manfaat yang luas bagi dunia pendidikan, penelitian, dan praktik profesional, serta menjadi salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu ergonomi dan sistem kerja di Indonesia.

Padang, Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN ERGONOMI DAN SISTEM KERJA.....	1
Mufrida Meri Z, ST., M.Kom., IPM.....	1
A. Definisi dan Ruang Lingkup Ergonomi	1
B. Sejarah Perkembangan Ergonomi	5
C. Tujuan dan Manfaat Ergonomi dalam Industri.....	10
D. Konsep Sistem Kerja (Manusia–Mesin–Lingkungan)	15
E. Peran Ergonomi Dalam Produktivitas Dan Keselamatan	19
BAB 2 SISTEM KERJA.....	25
Nia Candrawati S.MB.,MBA.....	25
A. Pendahuluan.....	25
B. Elemen Sistem Kerja.....	26
C. Interaksi Manusia, Mesin dan Lingkungan.....	29
D. Pendekatan Sistem dalam Perancangan Kerja	36
E. Model Sistem Kerja Modern	40
F. Studi Kasus Sistem Kerja di Industri	43
BAB 3 ANTROPOMETRI DALAM PERANCANGAN KERJA	46
Siti Nur Hamidah, M.T	46
A. Pendahuluan.....	46
B. Definisi dan Jenis Antropometri.....	47
C. Data Antropometri Statis dan Dinamis.....	49
D. Prinsip Penggunaan Data Antropometri.....	57
E. Perancangan Workstation Berbasis Antropometri	59
F. Variabilitas Populasi dan Desain Inklusif	61
BAB 4 BIOMEKANIKA KERJA	63
Rozza Linda, M,T.....	63
A. Konsep Dasar Biomekanik.....	63
B. Sistem Otot dan Rangka Manusia.....	67

C.	Analisis Gaya dan Momen dalam Aktivitas Kerja	70
D.	Risiko Cedera Muskuloskeletal (MSDs)	74
E.	Evaluasi Postur Kerja	81
BAB 5 FISILOGI KERJA DAN BEBAN KERJA		85
Saputra, S.T., M.T.		85
A.	Pendahuluan	85
B.	Sistem Energi Manusia	86
C.	Beban Kerja Fisik	89
D.	Pengukuran Denyut Jantung dan Konsumsi Oksigen	92
E.	Kelelahan Kerja	95
F.	Pengaturan Waktu Kerja dan Istirahat	98
G.	Aplikasi Ergonomi Berbasis Fisiologi dalam Perancangan Sistem Kerja	103
BAB 6 ERGONOMI KOGNITIF DAN PSIKOLOGI KERJA		106
Aziati Ridha Khairi		106
A.	Pendahuluan	106
B.	Persepsi dan Pengolahan Informasi	108
C.	Beban Kerja Mental (<i>Mental Workload</i>)	115
D.	Human Error	119
E.	Pengambilan Keputusan dalam Sistem Kerja	123
F.	Desain Antarmuka dan Mesin (<i>Human-Machine Interface Design</i>)	127
BAB 7 LINGKUNGAN KERJA FISIK		133
Tri Ernita, ST, MP, IPM		133
A.	Pendahuluan	133
B.	Pencahayaan / Lighting	134
C.	Kebisingan / Noise	137
D.	Getaran / Vibration	139
E.	Temperatur dan Kelembaban	142
F.	Dampak Lingkungan Kerja Fisik terhadap Performa Kerja	145
BAB 8 METODE ANALISIS DAN EVALUASI ERGONOMI		149
Mufrida Meri Z, ST., M.Kom., IPM		149
A.	Metode Penilaian Postur Kerja (RULA, REBA, OWAS)	149
B.	Penilaian Beban Kerja	157
C.	Analisis Waktu Dan Gerakan	164

D. Kuesioner Ergonomi.....	167
E. Software Pendukung Analisis Ergonomi.....	172
BAB 9 PERANCANGAN SISTEM KERJA TERPADU	179
Sandi Yudha Barri Zaqy, S.T., M.T.	179
A. Pendahuluan.....	179
B. Integrasi Manusia, Mesin, dan Metode Kerja	180
C. Work Measurement (Pengukuran Kerja)	181
D. Line Balancing.....	182
E. Lean Ergonomics.....	183
F. Analisis PERT dalam Perancangan Sistem Kerja Terpadu	184
G. Studi Peningkatan Produktivitas Berbasis Ergonomi	187
BAB 10 ERGONOMI DALAM INDUSTRI DAN TEKNOLOGI MODERN ..	190
Dr. Anny Nirbasari, S.E., M.P	190
A. Ergonomi di Manufaktur	190
B. Ergonomi di Layanan dan Perkantoran	196
C. Ergonomi Digital dan Kerja Berbasis Komputer	198
D. Integrasi Ergonomi dengan AI dan IoT.....	202
E. Smart Workplace dan Industry 4.0	205
DAFTAR PUSTAKA.....	213
BIOGRAFI PENULIS	225

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Antropometri Statis	54
Tabel 3. 2 Data Antropometri Statis	55
Tabel 3. 3 Data Peirseintil.....	55
Tabel 5. 1 Karakteristik dan implikasinya ketiga sistem energi.....	89
Tabel 5. 2 Nilai MET berbagai pekerjaan industri dan rekomendasi ergonomi.....	91
Tabel 5. 3 Klasifikasi jenis kelelahan kerja, mekanisme, manifestasi, dan penanganan ergonomic	96
Tabel 5. 4 Masalah fisiologis umum di industri dan solusi	104
Tabel 7. 1 Faktor Lingkungan Fisik Contoh di Tempat Kerja.....	133
Tabel 7. 2 Hubungan system Kerja Industri dan Lingkungan Fisik.....	134
Tabel 7. 3 Prinsip Pencahayaan yang baik.....	134
Tabel 7. 4 Standar Pencahayaan Tempat Kerja	135
Tabel 7. 5 Dampak Pencahayaan Tidak Sesuai	136
Tabel 7. 6 Jenis Kebisingan.....	137
Tabel 7. 7 Standar Kebisingan.....	138
Tabel 7. 8 Alat Ukur Kebisingan	138
Tabel 7. 9 Dampak Kebisingan.....	139
Tabel 7. 10 Pengendalian Kebisingan	139
Tabel 7. 11 Jenis Getaran.....	140
Tabel 7. 12 Standar Getaran.....	140
Tabel 7. 13 Alat Ukur Getaran.....	141
Tabel 7. 14 Dampak Getaran terhadap Pekerja	141
Tabel 7. 15 Pengendalian Getaran.....	142
Tabel 7. 16 Faktor yang mempengaruhi Temperatur di tempat kerja.	142
Tabel 7. 17 Contoh acuan iklim kerja panas yang sering digunakan	143
Tabel 7. 18 Alat Ukur Temperatur dan Kelembaban.....	144
Tabel 7. 19 Dampak Temperatur dan Kelembaban Tidak Sesuai	144
Tabel 7. 20 Pengendalian Panas dan Kelembaban	145
Tabel 7. 21 Hubungan Faktor Lingkungan Fisik dengan Performansi Kerja	146

Tabel 7. 22 Evaluasi lingkungan kerja fisik dapat dilakukan dengan tahapan berikut: 147

Tabel 10. 1. Rujukan dari Prinsip Integrasi Manusia – Mesin – Metode Kerja Sumber: diadaptasi dari (Standardization, 2016) dan(Standardization, 2002)..... 180

Tabel 10. 2. Pemborosan, resiko dan perbaikan 184

Tabel 10. 3. Contoh perhitungan PERT 185

Tabel 10. 4. Waktu proses hasil perhitungan PERT..... 186

Tabel 10. 5. Indikator Peningkatan Produktivitas berdasarkan Ergonomi 188

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 aliran informasi dalam sistem Human-Machine-Environment (HME)	30
Gambar 3. 1 Dimensi Tubuh (Stature).....	49
Gambar 3. 2 Dimensi Tubuh (Sitting Shoulder Height)	50
Gambar 3. 3 Dimensi Tubuh (Popliteal Height).....	51
Gambar 3. 4 Dimensi Tubuh (<i>Shoulder breadth</i>).....	51
Gambar 3. 5 Dimensi Tubuh (<i>Shoulder grip length</i>).....	52
Gambar 3. 6 Dimensi Tubuh (<i>Head Breadth</i>).....	52
Gambar 3. 7 Dimensi Tubuh (<i>Hand Breadth</i>)	53
Gambar 3. 8 Dimensi Tubuh (<i>Elbow Span</i>)	53
Gambar 5. 1 Perbandingan daya dan kapasitas ketiga sistem energi manusia	88
Gambar 5. 2 Kontribusi Sistem Energi Berdasarkan Durasi Aktivitas	88
Gambar 5. 3 Klasifikasi beban kerja fisik berdasarkan denyut jantung dan energi.....	90
Gambar 5. 4 Hubungan linear HR-VO.....	94
Gambar 5. 5 Kurva akumulasi kelelahan dengan dan tanpa manajemen istirahat selama shift 8 jam	94
Gambar 5. 6 Rekomendasi work-rest ratio berdasarkan klasifikasi beban kerja fisik.....	101
Gambar 5. 7 Kerangka ergonomi kerja.....	101
Gambar 5. 8 Profil VO ₂ max dan tingkat aktivitas fisik.....	102
Gambar 5. 9 Ritme sirkadian kapasitas kerja shift.....	103
Gambar 10. 1. Model Sistem Kerja Terpadu Berbasis Pendekatan Sosio-Teknis.....	181
Gambar 10. 2. Alur umum work measurement sampai penetapan waktu baku.....	182
Gambar 10. 3. Ilustrasi line balancing sebelum dan sesudah perbaikan.	183
Gambar 10. 4. Jaringan PERT proyek perbaikan sistem kerja.....	186
Gambar 10. 5. Jadwal PERT berdasarkan waktu harapan aktivitas.....	186
Gambar 10. 6. Indikator perbaikan produktivitas berbasis ergonomi.	189

BAB 1

PENDAHULUAN ERGONOMI DAN SISTEM KERJA

Mufrida Meri Z, ST., M.Kom., IPM
Universitas Ekasakti

A. Definisi dan Ruang Lingkup Ergonomi

Ergonomi merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan unsur-unsur lain dalam suatu sistem kerja, kemudian menggunakan pengetahuan tersebut untuk merancang pekerjaan, peralatan, lingkungan, dan sistem agar sesuai dengan kemampuan, keterbatasan, serta kebutuhan manusia. Istilah ergonomi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti aturan atau prinsip. Dengan demikian, ergonomi dapat dipahami sebagai ilmu yang mengatur bagaimana pekerjaan seharusnya dirancang agar manusia dapat bekerja secara aman, nyaman, efisien, sehat, dan produktif. Dalam konteks modern, ergonomi tidak hanya berbicara tentang posisi duduk yang benar atau desain kursi kerja, tetapi juga mencakup bagaimana seluruh sistem kerja dirancang agar selaras dengan karakteristik fisik, kognitif, dan psikologis manusia.

Pada dasarnya, ergonomi berangkat dari pemahaman bahwa manusia bukanlah “komponen mesin” yang harus menyesuaikan diri sepenuhnya terhadap pekerjaan, melainkan pekerjaan dan lingkungan kerjalah yang seharusnya dirancang agar sesuai dengan manusia. Pendekatan ini dikenal dengan prinsip *fitting the job to the worker*, yaitu menyesuaikan pekerjaan dengan pekerjaanya. Jika suatu sistem kerja dirancang tanpa mempertimbangkan kemampuan dan keterbatasan manusia, maka dapat timbul berbagai masalah, seperti kelelahan berlebih, kesalahan kerja, penurunan produktivitas, stres, ketidaknyamanan, bahkan kecelakaan kerja dan gangguan kesehatan jangka panjang. Oleh sebab itu, ergonomi menjadi disiplin yang sangat

penting dalam dunia industri, perkantoran, layanan, pendidikan, teknologi, hingga kehidupan sehari-hari.

Definisi ergonomi juga dapat dilihat dari sudut pandang praktis, yaitu sebagai upaya sistematis untuk menciptakan kondisi kerja yang optimal. Ergonomi berusaha menyeimbangkan tiga tujuan utama sekaligus, yaitu kesejahteraan manusia, kinerja sistem, dan keselamatan kerja. Kesejahteraan manusia mencakup aspek kenyamanan, kesehatan fisik, kesehatan mental, dan kepuasan kerja. Kinerja sistem berkaitan dengan efisiensi, produktivitas, kualitas hasil, dan keandalan proses kerja. Sementara itu, keselamatan kerja menekankan pada pencegahan cedera, kecelakaan, dan risiko-risiko yang dapat mengganggu keberlangsungan pekerjaan. Dengan kata lain, ergonomi tidak hanya bermanfaat bagi pekerja, tetapi juga bagi organisasi karena mampu meningkatkan mutu kerja sekaligus menurunkan biaya akibat kesalahan, kecelakaan, atau absensi karena gangguan kesehatan.

Ruang lingkup ergonomi sangat luas karena mencakup seluruh aspek interaksi manusia dengan sistem kerja. Salah satu ruang lingkup utama ergonomi adalah **ergonomi fisik**, yaitu cabang ergonomi yang berfokus pada karakteristik anatomi, antropometri, fisiologi, dan biomekanika manusia dalam kaitannya dengan aktivitas fisik. Ergonomi fisik membahas hal-hal seperti postur kerja, gerakan berulang, penanganan beban, desain alat kerja, desain meja dan kursi, jangkauan tangan, kebutuhan ruang gerak, serta risiko gangguan muskuloskeletal. Dalam dunia kerja, penerapan ergonomi fisik sangat penting untuk mengurangi keluhan seperti nyeri punggung, sakit leher, kelelahan otot, cedera bahu, atau sindrom akibat gerakan berulang. Dengan mempertimbangkan ukuran tubuh, kekuatan otot, dan pola gerak manusia, perancangan sistem kerja dapat dibuat lebih aman dan nyaman.

Selain ergonomi fisik, terdapat pula **ergonomi kognitif**, yaitu cabang ergonomi yang berkaitan dengan proses mental manusia saat bekerja, seperti persepsi, perhatian, ingatan, pengambilan keputusan, pemecahan masalah, dan interaksi manusia dengan informasi. Ergonomi kognitif menjadi sangat penting pada pekerjaan yang melibatkan penggunaan komputer, pengendalian mesin, sistem informasi, dashboard, antarmuka digital, maupun proses pemantauan data. Dalam

bidang ini, ergonomi berupaya memastikan bahwa informasi disajikan dengan jelas, instruksi mudah dipahami, beban mental tidak berlebihan, serta sistem mendukung pengambilan keputusan yang tepat. Jika aspek kognitif diabaikan, pekerja dapat mengalami kebingungan, stres, kesalahan interpretasi, dan penurunan konsentrasi yang berpotensi memicu kesalahan kerja serius.

Ruang lingkup ergonomi juga mencakup **ergonomi organisasi**, yaitu kajian mengenai optimasi sistem sosial dan teknis dalam organisasi. Ergonomi organisasi berhubungan dengan desain pekerjaan, pembagian tugas, pola komunikasi, sistem kerja tim, jadwal kerja, budaya keselamatan, manajemen beban kerja, dan kebijakan organisasi yang memengaruhi kenyamanan serta efektivitas kerja. Dalam perspektif ini, ergonomi tidak hanya melihat hubungan antara individu dengan alat, tetapi juga hubungan antara manusia dengan struktur kerja yang lebih luas. Misalnya, penjadwalan shift yang terlalu panjang dapat menyebabkan kelelahan dan menurunkan kewaspadaan pekerja; pembagian tugas yang tidak seimbang dapat memicu stres; sedangkan komunikasi kerja yang buruk dapat meningkatkan risiko kesalahan. Oleh karena itu, ergonomi organisasi berperan penting dalam membangun sistem kerja yang lebih manusiawi dan produktif.

Secara lebih rinci, ruang lingkup ergonomi dalam sistem kerja dapat dikelompokkan ke dalam beberapa komponen utama. Pertama adalah **manusia**, yaitu pekerja sebagai pusat perhatian ergonomi. Aspek yang dipelajari meliputi dimensi tubuh, kekuatan fisik, kapasitas kerja, karakteristik sensorik, kemampuan kognitif, kondisi psikologis, serta kebutuhan sosial. Kedua adalah **pekerjaan atau tugas**, yang meliputi jenis aktivitas, beban kerja fisik dan mental, tingkat kesulitan, repetisi gerak, durasi kerja, serta tuntutan ketelitian. Ketiga adalah **alat dan mesin**, yang mencakup desain pegangan, posisi kontrol, tampilan informasi, kemudahan penggunaan, dan keselamatan alat. Keempat adalah **lingkungan kerja**, seperti pencahayaan, suhu, kebisingan, getaran, kualitas udara, tata letak ruang, dan faktor kebersihan. Kelima adalah **organisasi kerja**, yang meliputi jam kerja, sistem shift, aturan istirahat, pembagian peran, dan pola koordinasi antarpekerja.

Keseluruhan komponen ini saling berinteraksi dan harus dirancang secara terpadu agar tercipta sistem kerja yang optimal.

Dalam penerapannya, ergonomi tidak terbatas pada sektor manufaktur atau industri berat saja. Ergonomi juga relevan dalam perkantoran, rumah sakit, sekolah, laboratorium, transportasi, pusat layanan, hingga lingkungan rumah tangga. Di kantor, ergonomi diterapkan pada desain meja kerja, kursi, monitor, keyboard, pencahayaan, dan pengaturan waktu kerja di depan komputer. Di rumah sakit, ergonomi penting dalam penanganan pasien, desain alat medis, serta pengaturan beban kerja tenaga kesehatan. Dalam sektor transportasi, ergonomi digunakan pada desain kursi pengemudi, panel kontrol kendaraan, visibilitas, dan pengurangan kelelahan operator. Bahkan dalam pembelajaran daring dan penggunaan perangkat digital sehari-hari, ergonomi berperan dalam menjaga postur tubuh, kenyamanan visual, dan kesehatan pengguna.

Pada era teknologi modern, ruang lingkup ergonomi semakin berkembang seiring dengan hadirnya otomatisasi, digitalisasi, kecerdasan buatan, Internet of Things (IoT), dan sistem kerja jarak jauh. Pekerjaan saat ini tidak hanya menuntut kemampuan fisik, tetapi juga kemampuan mengelola informasi, beradaptasi dengan antarmuka digital, serta bekerja dalam lingkungan yang semakin kompleks. Karena itu, ergonomi modern tidak lagi hanya fokus pada meja, kursi, dan alat fisik, melainkan juga pada desain antarmuka pengguna, pengalaman pengguna (*user experience*), sistem peringatan otomatis, wearable devices, kolaborasi manusia-robot, dan pengelolaan beban kerja digital. Hal ini menunjukkan bahwa ergonomi merupakan ilmu yang dinamis dan terus menyesuaikan diri dengan perkembangan teknologi serta perubahan pola kerja manusia.

Dengan demikian, definisi dan ruang lingkup ergonomi menegaskan bahwa ergonomi adalah ilmu multidisiplin yang bertujuan menyesuaikan pekerjaan, alat, lingkungan, dan organisasi kerja dengan karakteristik manusia. Ergonomi memadukan pengetahuan dari anatomi, fisiologi, psikologi, teknik industri, desain, keselamatan kerja, dan manajemen untuk menghasilkan sistem kerja yang aman, nyaman, sehat, efektif, dan efisien. Ruang lingkungannya meliputi aspek fisik, kognitif, dan

organisasi, serta diterapkan pada berbagai sektor kehidupan. Pemahaman yang baik mengenai definisi dan ruang lingkup ergonomi menjadi fondasi penting dalam mempelajari sistem kerja, karena dari sinilah lahir prinsip bahwa keberhasilan suatu sistem tidak hanya ditentukan oleh teknologi atau prosedur, tetapi juga oleh sejauh mana sistem tersebut dirancang dengan menempatkan manusia sebagai pusatnya.

B. Sejarah Perkembangan Ergonomi

Sejarah perkembangan ergonomi menunjukkan bahwa perhatian terhadap kesesuaian antara manusia, pekerjaan, dan alat kerja sebenarnya telah ada sejak peradaban kuno, meskipun pada masa itu belum dikenal dengan istilah “ergonomi”. Dalam kehidupan manusia sejak awal, berbagai alat dan metode kerja diciptakan berdasarkan pengalaman praktis agar pekerjaan dapat dilakukan dengan lebih mudah, cepat, dan aman. Masyarakat tradisional menyesuaikan bentuk alat pertanian, senjata, perabot, dan sarana kerja lainnya dengan kekuatan tangan, tinggi badan, serta kebiasaan gerak manusia. Hal ini menandakan bahwa secara intuitif manusia telah memahami pentingnya menyesuaikan pekerjaan dengan kemampuan tubuh, walaupun belum disusun sebagai disiplin ilmu yang sistematis.

Pada masa Yunani Kuno, pemikiran tentang hubungan antara manusia dan kerja mulai tampak lebih jelas. Para filsuf dan tabib pada masa itu telah memperhatikan pentingnya kesehatan tubuh, efisiensi gerak, dan pengaruh lingkungan terhadap aktivitas manusia. Hipokrates, misalnya, diketahui pernah menyinggung bagaimana posisi kerja dan penggunaan alat dapat memengaruhi kondisi fisik seseorang, khususnya dalam praktik kedokteran. Meskipun belum menggunakan istilah ergonomi, gagasan ini menjadi salah satu akar awal pemikiran bahwa pekerjaan harus dirancang dengan memperhatikan manusia sebagai pelakunya. Pada masa Romawi, perhatian terhadap alat, postur, dan organisasi kerja juga terlihat dalam pembangunan infrastruktur, militer, dan aktivitas produksi yang membutuhkan koordinasi manusia dalam skala besar.

Perkembangan pemikiran ergonomi semakin nyata pada masa Revolusi Industri yang dimulai pada abad ke-18. Revolusi Industri membawa perubahan besar dalam cara manusia bekerja, dari pekerjaan manual dan kerajinan rumah tangga menuju sistem produksi massal berbasis mesin di pabrik. Mesin-mesin yang digunakan pada masa itu memang meningkatkan kapasitas produksi, tetapi pada saat yang sama juga menimbulkan berbagai masalah baru bagi pekerja. Jam kerja yang panjang, kondisi lingkungan yang buruk, beban fisik yang tinggi, serta desain alat dan mesin yang tidak memperhatikan kenyamanan manusia menyebabkan banyak pekerja mengalami kelelahan, cedera, bahkan kecelakaan kerja. Situasi ini mendorong munculnya kesadaran bahwa peningkatan produktivitas tidak boleh dicapai dengan mengorbankan kesehatan dan keselamatan manusia.

Pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, kajian tentang kerja manusia mulai berkembang lebih ilmiah melalui penelitian mengenai efisiensi kerja, gerakan tubuh, dan pengukuran waktu. Salah satu tokoh penting pada periode ini adalah Frederick Winslow Taylor, yang dikenal melalui konsep *scientific management*. Taylor berupaya meningkatkan efisiensi kerja dengan menganalisis metode kerja, waktu penyelesaian tugas, serta pembagian kerja yang lebih sistematis. Meskipun pendekatan Taylor lebih menekankan produktivitas daripada kenyamanan pekerja, gagasan tersebut membuka jalan bagi studi tentang hubungan antara manusia, tugas, dan sistem kerja. Di sisi lain, Frank dan Lillian Gilbreth mengembangkan studi gerak (*motion study*) untuk mengidentifikasi gerakan-gerakan kerja yang tidak perlu dan menyusun metode kerja yang lebih efisien. Kontribusi pasangan Gilbreth sangat penting karena mulai menghubungkan efisiensi dengan pengurangan kelelahan serta perbaikan kondisi kerja.

Pada masa yang sama, ilmu fisiologi kerja dan psikologi industri juga mulai berkembang. Para peneliti mulai mempelajari kapasitas kerja manusia, kelelahan, beban kerja, serta pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa. Fokus kajian tidak lagi semata-mata pada mesin atau proses produksi, tetapi juga pada kemampuan tubuh dan pikiran manusia dalam menghadapi tuntutan pekerjaan. Di sinilah benih ergonomi modern mulai tumbuh, karena muncul kesadaran bahwa

keberhasilan sistem kerja sangat bergantung pada kesesuaian antara tuntutan pekerjaan dengan kemampuan pekerja. Penelitian mengenai pencahayaan, suhu, kebisingan, postur, dan pengaturan jam kerja menjadi dasar penting bagi perkembangan ergonomi di masa berikutnya.

Perkembangan ergonomi memperoleh momentum yang sangat besar pada masa Perang Dunia II. Pada periode ini, teknologi militer berkembang sangat cepat, menghasilkan pesawat, kapal, radar, sistem kontrol, dan peralatan tempur yang semakin kompleks. Banyak kecelakaan dan kesalahan operasi yang terjadi bukan semata-mata karena kerusakan alat, melainkan karena operator kesulitan memahami tampilan kontrol, salah membaca instrumen, atau tidak mampu merespons sistem dengan cepat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa teknologi yang canggih sekalipun dapat gagal jika tidak dirancang sesuai dengan kemampuan manusia. Oleh karena itu, para ilmuwan, insinyur, psikolog, dan ahli fisiologi mulai bekerja sama untuk merancang panel kontrol, tata letak instrumen, kursi pilot, dan sistem informasi yang lebih sesuai dengan persepsi, jangkauan, reaksi, serta keterbatasan manusia. Kolaborasi multidisiplin inilah yang kemudian menjadi fondasi kuat bagi ergonomi sebagai ilmu terapan modern.

Istilah “ergonomi” sendiri mulai digunakan secara lebih formal pada pertengahan abad ke-20. Kata ergonomi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti hukum atau prinsip. Salah satu tonggak penting dalam sejarah ergonomi adalah berdirinya Ergonomics Research Society di Inggris pada tahun 1949, yang sering dianggap sebagai titik awal pengakuan ergonomi sebagai disiplin ilmiah yang terorganisasi. Organisasi ini mempertemukan para ahli dari berbagai bidang seperti anatomi, fisiologi, psikologi, teknik, dan desain untuk mempelajari kerja manusia secara terpadu. Dari sinilah ergonomi berkembang menjadi ilmu yang tidak hanya fokus pada produktivitas, tetapi juga pada keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan efektivitas sistem kerja secara keseluruhan.

Setelah Perang Dunia II, ergonomi berkembang pesat dalam sektor industri, transportasi, kesehatan, dan pertahanan. Pada era 1950-an hingga 1970-an, fokus ergonomi banyak diarahkan pada perancangan tempat kerja, alat, mesin, serta pengendalian risiko fisik di pabrik.

Penelitian mengenai antropometri, biomekanika, fisiologi kerja, dan lingkungan kerja menjadi sangat dominan. Perusahaan-perusahaan mulai menyadari bahwa desain stasiun kerja, kursi, meja, alat angkat, dan tata letak produksi yang buruk dapat menyebabkan cedera, penurunan produktivitas, serta tingginya biaya kompensasi kesehatan. Oleh karena itu, ergonomi mulai diterapkan secara luas untuk mengurangi kelelahan, memperbaiki postur kerja, meningkatkan keselamatan, dan menurunkan angka kecelakaan kerja.

Memasuki era 1980-an dan 1990-an, perkembangan teknologi komputer dan sistem informasi mendorong perluasan fokus ergonomi ke ranah kognitif. Jika sebelumnya ergonomi lebih banyak berkaitan dengan tubuh manusia dan aktivitas fisik, maka pada periode ini perhatian mulai tertuju pada bagaimana manusia memproses informasi, menggunakan antarmuka komputer, membaca tampilan visual, dan mengambil keputusan dalam sistem yang kompleks. Munculnya komputer personal, perangkat lunak, pusat kontrol, dan sistem otomatisasi menuntut perancangan antarmuka yang mudah dipahami dan tidak membebani pengguna secara mental. Dari sinilah berkembang cabang ergonomi kognitif, yang membahas persepsi, memori, perhatian, beban mental, pengambilan keputusan, dan interaksi manusia dengan teknologi digital.

Selanjutnya, pada akhir abad ke-20 hingga awal abad ke-21, ergonomi berkembang semakin luas menjadi pendekatan yang memandang sistem kerja secara menyeluruh. Tidak hanya fisik dan kognitif, ergonomi juga mulai menaruh perhatian besar pada aspek organisasi, budaya kerja, kerja tim, jadwal kerja, dan keseimbangan antara manusia dengan sistem sosial-teknis tempat ia bekerja. Konsep ergonomi organisasi muncul untuk menjawab tantangan dunia kerja yang semakin kompleks, termasuk globalisasi, persaingan industri, sistem kerja shift, outsourcing, kerja lintas fungsi, dan manajemen mutu. Pada tahap ini, ergonomi dipahami bukan sekadar memperbaiki kursi atau meja kerja, tetapi sebagai pendekatan strategis untuk merancang sistem kerja yang efektif, adaptif, aman, dan berkelanjutan.

Di era digital dan revolusi industri 4.0, ergonomi mengalami transformasi yang semakin dinamis. Perkembangan komputer, robotika, Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan, wearable devices, virtual

reality, dan sistem kerja jarak jauh menimbulkan tantangan ergonomi yang baru. Pekerja kini tidak hanya berinteraksi dengan alat fisik, tetapi juga dengan dashboard digital, sistem otomatis, algoritma, dan kolaborasi manusia-mesin. Risiko ergonomi modern tidak hanya berupa nyeri punggung atau cedera otot, tetapi juga kelelahan mata akibat layar, stres digital, kelebihan informasi, kelelahan mental, dan gangguan akibat konektivitas kerja yang terus-menerus. Oleh karena itu, ergonomi masa kini berkembang menuju desain sistem kerja yang lebih cerdas, berpusat pada manusia, dan mampu menyeimbangkan produktivitas teknologi dengan kesehatan fisik serta psikologis pengguna.

Perkembangan ergonomi juga menunjukkan perubahan paradigma yang sangat penting. Pada awalnya, fokus utama lebih banyak diarahkan pada peningkatan efisiensi produksi dan pengurangan gerakan yang tidak perlu. Namun seiring waktu, orientasi ergonomi bergeser menjadi lebih human-centered, yaitu menempatkan manusia sebagai pusat dari perancangan sistem kerja. Pendekatan ini menegaskan bahwa teknologi, mesin, prosedur, dan organisasi harus mendukung kemampuan manusia, bukan justru membebani atau memaksa manusia beradaptasi secara berlebihan. Dengan paradigma ini, ergonomi tidak hanya bertujuan membuat pekerjaan lebih cepat, tetapi juga lebih sehat, lebih aman, lebih nyaman, dan lebih bermakna bagi manusia.

Dengan demikian, sejarah perkembangan ergonomi memperlihatkan perjalanan panjang dari praktik-praktik intuitif pada masa awal peradaban, menuju kajian ilmiah tentang kerja manusia pada era Revolusi Industri, hingga akhirnya berkembang menjadi disiplin multidisiplin yang sangat penting dalam sistem kerja modern. Ergonomi lahir dari kebutuhan nyata untuk memahami manusia sebagai bagian utama dari sistem, dan terus berkembang mengikuti perubahan teknologi, organisasi, dan pola kerja. Pemahaman terhadap sejarah ini penting karena menunjukkan bahwa ergonomi bukan sekadar tren atau konsep tambahan, melainkan hasil evolusi panjang ilmu pengetahuan yang bertujuan menciptakan keseimbangan antara manusia, pekerjaan, dan teknologi dalam berbagai bidang kehidupan.

C. Tujuan dan Manfaat Ergonomi dalam Industri

Ergonomi dalam industri memiliki tujuan utama untuk menciptakan kesesuaian yang optimal antara manusia, pekerjaan, mesin, peralatan, lingkungan, dan sistem organisasi sehingga proses kerja dapat berlangsung secara aman, nyaman, sehat, efisien, dan produktif. Dalam lingkungan industri, pekerja berinteraksi dengan berbagai komponen sistem kerja seperti mesin produksi, alat bantu material handling, meja kerja, panel kontrol, target output, ritme kerja, serta kondisi lingkungan fisik seperti suhu, kebisingan, pencahayaan, dan getaran. Jika seluruh komponen tersebut dirancang tanpa memperhatikan kemampuan dan keterbatasan manusia, maka pekerjaan dapat menjadi sumber kelelahan, ketidaknyamanan, kesalahan, dan kecelakaan. Oleh karena itu, tujuan ergonomi dalam industri bukan hanya memperbaiki postur kerja atau bentuk alat, tetapi juga memastikan bahwa keseluruhan sistem produksi mampu mendukung performa manusia secara optimal tanpa mengorbankan kesehatan dan keselamatannya.

Salah satu tujuan paling mendasar dari ergonomi dalam industri adalah **meningkatkan keselamatan kerja**. Aktivitas industri sering kali melibatkan penggunaan mesin, pengangkatan beban, gerakan berulang, paparan panas, kebisingan tinggi, bahan berbahaya, serta tuntutan kerja yang ketat. Kondisi tersebut menimbulkan potensi bahaya yang besar apabila tempat kerja dan prosedur kerja tidak dirancang secara ergonomis. Melalui ergonomi, posisi alat kontrol dapat ditempatkan dalam jangkauan yang aman, area kerja dapat disusun agar tidak memaksa pekerja membungkuk atau memutar tubuh secara berlebihan, alat bantu angkat dapat disediakan untuk mengurangi risiko cedera, dan tata letak produksi dapat dirancang agar meminimalkan tabrakan, salah langkah, atau kesalahan operasi. Dengan demikian, ergonomi berperan penting dalam pencegahan kecelakaan kerja, cedera akut, maupun gangguan kesehatan akibat kerja yang muncul secara bertahap.

Tujuan berikutnya adalah **meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan pekerja**. Dalam industri, banyak pekerjaan yang

menuntut aktivitas fisik berulang, berdiri dalam waktu lama, mengangkat beban, menggunakan tenaga otot secara terus-menerus, atau bekerja dalam posisi statis yang melelahkan. Kondisi tersebut dapat menimbulkan gangguan muskuloskeletal seperti nyeri punggung bawah, sakit leher, keluhan bahu, cedera pergelangan tangan, dan kelelahan otot. Selain itu, tekanan kerja, target produksi, serta lingkungan yang bising atau panas juga dapat memengaruhi kondisi psikologis pekerja. Ergonomi bertujuan mengurangi semua beban yang tidak perlu tersebut melalui penyesuaian desain alat, tinggi meja kerja, posisi material, ritme kerja, waktu istirahat, dan kondisi lingkungan. Hasil akhirnya adalah pekerja dapat bekerja dengan lebih nyaman, tidak cepat lelah, lebih sehat secara fisik, dan lebih stabil secara mental.

Ergonomi juga bertujuan **meningkatkan efisiensi kerja** dalam proses industri. Efisiensi berarti pekerjaan dapat diselesaikan dengan waktu, tenaga, gerakan, dan sumber daya yang lebih hemat tanpa menurunkan kualitas hasil. Dalam banyak kasus, ketidakefisienan di industri bukan hanya disebabkan oleh masalah teknis mesin, tetapi juga oleh rancangan kerja yang tidak sesuai dengan manusia. Misalnya, pekerja harus berjalan terlalu jauh untuk mengambil bahan, sering membungkuk karena posisi komponen terlalu rendah, harus memutar badan berulang kali karena tata letak yang tidak tepat, atau harus membaca instruksi yang rumit di tengah ritme produksi yang cepat. Ergonomi berupaya menghilangkan hambatan-hambatan tersebut dengan menyusun sistem kerja yang lebih sederhana, aliran material yang lebih lancar, gerakan kerja yang lebih ekonomis, dan interaksi manusia-mesin yang lebih mudah. Dengan cara ini, waktu siklus kerja dapat dipersingkat, pemborosan tenaga dapat dikurangi, dan kapasitas produksi dapat ditingkatkan secara lebih rasional.

Tujuan lain yang tidak kalah penting adalah **meningkatkan produktivitas industri secara berkelanjutan**. Produktivitas tidak hanya berarti menghasilkan output dalam jumlah besar, tetapi juga menjaga konsistensi hasil, kualitas kerja, dan keberlangsungan performa tenaga kerja dalam jangka panjang. Pekerja yang mengalami kelelahan berlebih, nyeri tubuh, atau stres cenderung bekerja lebih lambat, mudah melakukan kesalahan, sering absen, dan kurang fokus terhadap standar

mutu. Sebaliknya, jika sistem kerja ergonomis diterapkan dengan baik, pekerja akan mampu mempertahankan performa yang lebih stabil sepanjang jam kerja. Produktivitas yang meningkat melalui ergonomi juga lebih berkelanjutan karena tidak bergantung pada pemaksaan tenaga kerja, melainkan pada desain sistem yang mendukung manusia untuk bekerja secara optimal. Dalam konteks ini, ergonomi membantu perusahaan membangun produktivitas yang sehat, efisien, dan tidak merusak sumber daya manusia.

Ergonomi dalam industri juga memiliki tujuan **mengurangi kesalahan kerja dan meningkatkan kualitas hasil produksi**. Banyak cacat produk, kesalahan perakitan, kesalahan pengoperasian mesin, atau ketidaksesuaian prosedur sebenarnya berakar pada desain kerja yang buruk. Jika panel kontrol membingungkan, tampilan instruksi tidak jelas, pencahayaan kurang memadai, posisi benda kerja tidak nyaman, atau beban mental operator terlalu tinggi, maka kemungkinan terjadinya human error akan meningkat. Ergonomi membantu menurunkan risiko tersebut dengan memastikan bahwa informasi kerja mudah dipahami, alat kontrol logis dan mudah dioperasikan, posisi kerja mendukung ketelitian, serta lingkungan kerja cukup nyaman untuk menjaga konsentrasi. Dengan demikian, ergonomi tidak hanya berhubungan dengan kesehatan pekerja, tetapi juga berkontribusi langsung terhadap mutu produk, stabilitas proses, dan kepuasan pelanggan.

Dari sisi manfaat, penerapan ergonomi di lingkungan industri memberikan dampak yang sangat luas bagi pekerja maupun perusahaan. Manfaat pertama adalah **menurunkan angka cedera dan gangguan kesehatan akibat kerja**. Ketika desain stasiun kerja, alat bantu, dan metode kerja sudah disesuaikan dengan prinsip ergonomi, tekanan fisik yang berlebihan dapat dikurangi secara signifikan. Pekerja tidak perlu lagi mengangkat beban dengan cara yang salah, membungkuk terlalu lama, menjangkau terlalu jauh, atau melakukan gerakan repetitif tanpa dukungan yang memadai. Penurunan keluhan muskuloskeletal dan kecelakaan kerja akan berpengaruh langsung pada kualitas hidup pekerja, menurunkan kebutuhan perawatan medis, dan mengurangi kehilangan jam kerja akibat sakit.

Manfaat kedua adalah **meningkatkan kenyamanan dan kepuasan kerja pekerja**. Lingkungan kerja yang ergonomis membuat pekerja merasa lebih dihargai karena kebutuhan fisik dan psikologisnya diperhatikan. Kursi yang sesuai, tinggi meja yang tepat, alat yang mudah digunakan, suhu ruangan yang nyaman, serta pembagian beban kerja yang lebih manusiawi akan meningkatkan kenyamanan selama bekerja. Kenyamanan ini berpengaruh pada motivasi, semangat kerja, dan keterikatan pekerja terhadap organisasi. Dalam jangka panjang, kepuasan kerja yang lebih baik dapat menurunkan turnover tenaga kerja, meningkatkan loyalitas, dan membangun budaya kerja yang lebih positif di lingkungan industri.

Manfaat ketiga adalah **mengurangi biaya operasional perusahaan**. Banyak organisasi menganggap ergonomi sebagai biaya tambahan, padahal dalam praktiknya ergonomi justru merupakan investasi yang dapat menurunkan berbagai pengeluaran tidak langsung. Cedera kerja, absensi, penurunan produktivitas, kesalahan produksi, klaim kesehatan, kerusakan alat akibat salah penggunaan, hingga kebutuhan rekrutmen akibat tingginya pergantian tenaga kerja semuanya dapat menimbulkan biaya yang besar. Dengan penerapan ergonomi, perusahaan dapat menekan biaya-biaya tersebut melalui pencegahan. Biaya untuk memperbaiki desain meja kerja, menyediakan alat bantu angkat, atau menata ulang tata letak produksi sering kali jauh lebih kecil dibandingkan biaya jangka panjang yang timbul akibat sistem kerja yang buruk.

Selain itu, ergonomi memberikan manfaat berupa **peningkatan efisiensi aliran kerja dan penggunaan sumber daya**. Dalam industri manufaktur, misalnya, tata letak stasiun kerja yang ergonomis dapat memperpendek jarak perpindahan material, mengurangi waktu tunggu, mengurangi gerakan tidak bernilai tambah, dan memperlancar koordinasi antarproses. Hal ini membuat penggunaan waktu kerja, energi pekerja, dan kapasitas alat menjadi lebih optimal. Dalam konteks lean manufacturing dan continuous improvement, ergonomi memiliki hubungan yang sangat erat karena sama-sama berupaya menghilangkan pemborosan, meskipun ergonomi menekankan pemborosan yang muncul akibat ketidaksesuaian sistem dengan manusia.

Manfaat lain yang sangat penting adalah **mendukung keberlanjutan sistem produksi dan daya saing perusahaan**. Industri yang mengabaikan ergonomi berisiko menghadapi masalah produktivitas jangka panjang, tingginya kecelakaan, kualitas kerja yang tidak stabil, serta rendahnya kepuasan pekerja. Sebaliknya, perusahaan yang menerapkan ergonomi secara konsisten cenderung memiliki tenaga kerja yang lebih sehat, proses kerja yang lebih stabil, kualitas produk yang lebih baik, dan biaya gangguan operasional yang lebih rendah. Semua ini akan meningkatkan daya saing perusahaan di pasar. Dalam era industri modern yang menuntut kecepatan, presisi, fleksibilitas, dan kualitas tinggi, ergonomi menjadi bagian penting dari strategi peningkatan performa organisasi.

Ergonomi juga memberikan manfaat dalam **mendukung adaptasi industri terhadap teknologi modern**. Ketika perusahaan mengadopsi otomasi, robotika, sistem digital, atau perangkat berbasis Internet of Things (IoT), interaksi antara manusia dan teknologi menjadi semakin kompleks. Jika teknologi tersebut dirancang tanpa mempertimbangkan ergonomi, maka pekerja dapat mengalami kebingungan, stres, kelelahan mental, atau kesulitan mengoperasikan sistem baru. Ergonomi membantu memastikan bahwa teknologi yang diterapkan benar-benar mendukung manusia, bukan malah menjadi sumber masalah baru. Dengan demikian, ergonomi menjadi jembatan penting antara inovasi teknologi dan kesiapan manusia dalam menggunakannya secara efektif.

Secara keseluruhan, tujuan dan manfaat ergonomi dalam industri menunjukkan bahwa ergonomi bukan sekadar upaya memperbaiki kenyamanan kerja, melainkan strategi komprehensif untuk menciptakan sistem industri yang aman, sehat, efisien, produktif, dan berkelanjutan. Ergonomi membantu perusahaan menyeimbangkan kepentingan produktivitas dengan perlindungan terhadap manusia sebagai pelaksana utama proses kerja. Melalui penerapan ergonomi, industri dapat menurunkan risiko kecelakaan, mengurangi kelelahan, meningkatkan kualitas hasil, menekan biaya, memperkuat motivasi pekerja, dan membangun sistem kerja yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi. Oleh karena itu, ergonomi harus dipandang sebagai bagian

integral dari perancangan sistem kerja industri, bukan sebagai elemen tambahan yang bersifat opsional.

D. Konsep Sistem Kerja (Manusia–Mesin–Lingkungan)

Konsep sistem kerja merupakan salah satu fondasi utama dalam kajian ergonomi karena menjelaskan bahwa aktivitas kerja tidak pernah berdiri sendiri sebagai tindakan individual semata, melainkan selalu berlangsung dalam suatu sistem yang melibatkan berbagai komponen yang saling berinteraksi. Dalam konteks ergonomi dan perancangan sistem kerja, sistem kerja dapat dipahami sebagai kesatuan terorganisasi yang terdiri atas manusia, mesin atau alat kerja, metode kerja, material, serta lingkungan kerja yang saling berhubungan untuk mencapai tujuan tertentu, seperti menghasilkan produk, memberikan layanan, memproses informasi, atau menyelesaikan tugas operasional. Dengan demikian, kinerja suatu pekerjaan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan pekerja, tetapi juga oleh bagaimana seluruh komponen dalam sistem tersebut dirancang dan diintegrasikan.

Dalam pendekatan ergonomi, sistem kerja umumnya dijelaskan melalui hubungan antara **manusia, mesin, dan lingkungan**. Ketiga unsur ini membentuk suatu kesatuan yang saling memengaruhi satu sama lain. Manusia bertindak sebagai pelaksana, pengendali, pengambil keputusan, dan pengguna sistem. Mesin atau alat berfungsi sebagai sarana bantu untuk mempercepat, mempermudah, memperkuat, atau mengefisienkan pekerjaan. Sementara itu, lingkungan kerja menjadi konteks tempat interaksi manusia dan mesin berlangsung, yang dapat mendukung maupun menghambat performa kerja. Jika salah satu komponen dirancang secara buruk atau tidak sesuai dengan karakteristik komponen lain, maka keseluruhan sistem kerja dapat menjadi tidak efektif, tidak aman, dan tidak nyaman. Oleh sebab itu, ergonomi memandang sistem kerja sebagai kesatuan terpadu yang harus dianalisis secara menyeluruh, bukan secara terpisah-pisah.

Komponen pertama dalam sistem kerja adalah **manusia**, yaitu unsur paling sentral dalam pendekatan ergonomi. Manusia bukan hanya tenaga pelaksana, tetapi juga subjek yang memiliki kemampuan fisik,

kapasitas mental, persepsi, emosi, pengalaman, dan keterbatasan tertentu. Dalam sistem kerja, manusia berperan mengoperasikan mesin, memproses informasi, mengambil keputusan, memantau jalannya proses, menyelesaikan masalah, dan beradaptasi terhadap perubahan situasi kerja. Namun manusia juga memiliki batas kemampuan, misalnya dalam hal kekuatan otot, daya tahan, kecepatan reaksi, ketelitian, kapasitas perhatian, serta toleransi terhadap tekanan lingkungan. Oleh karena itu, perancangan sistem kerja harus mempertimbangkan data antropometri, biomekanika, fisiologi kerja, kemampuan kognitif, dan faktor psikologis agar tuntutan kerja tidak melebihi kapasitas manusia. Prinsip dasarnya adalah bahwa manusia harus diposisikan sebagai pusat perancangan sistem, bukan sekadar elemen yang dipaksa menyesuaikan diri terhadap mesin dan prosedur.

Komponen kedua adalah **mesin**, yang dalam pengertian luas mencakup alat, perangkat, fasilitas, teknologi, antarmuka, dan sarana kerja lain yang digunakan manusia untuk menyelesaikan tugas. Mesin dalam sistem kerja tidak selalu berarti mesin besar di pabrik, tetapi dapat berupa komputer, keyboard, meja kerja, panel kontrol, kendaraan, perangkat medis, alat ukur, conveyor, robot, hingga aplikasi digital. Mesin dirancang untuk membantu manusia meningkatkan kecepatan, kekuatan, ketelitian, konsistensi, dan kapasitas produksi. Akan tetapi, mesin yang dirancang tanpa mempertimbangkan karakteristik manusia justru dapat menjadi sumber masalah. Panel kontrol yang rumit, tombol yang sulit dijangkau, tampilan informasi yang membingungkan, alat yang terlalu berat, atau perangkat yang memaksa postur kerja buruk akan menurunkan efektivitas sistem dan meningkatkan risiko kesalahan. Oleh karena itu, hubungan manusia-mesin dalam ergonomi menekankan pentingnya kesesuaian antara desain alat dengan kemampuan sensorik, motorik, dan kognitif pengguna.

Komponen ketiga adalah **lingkungan kerja**, yaitu segala kondisi fisik maupun nonfisik yang mengelilingi aktivitas kerja dan memengaruhi interaksi manusia dengan mesin. Lingkungan fisik mencakup pencahayaan, suhu, kelembapan, kebisingan, getaran, kualitas udara, warna ruang, tata letak, dan ruang gerak. Sementara itu, lingkungan nonfisik dapat berupa suasana kerja, tekanan organisasi, budaya

keselamatan, hubungan antarpekerja, sistem komunikasi, dan ritme kerja. Lingkungan yang tidak sesuai dapat menurunkan performa manusia, mengganggu konsentrasi, mempercepat kelelahan, dan meningkatkan risiko kesalahan atau kecelakaan. Sebagai contoh, pencahayaan yang kurang dapat membuat operator sulit membaca instrumen, kebisingan tinggi dapat mengganggu komunikasi dan fokus, suhu yang terlalu panas dapat menurunkan stamina, sedangkan ruang kerja yang sempit dapat membatasi gerakan dan memicu postur kerja yang buruk. Karena itu, ergonomi menempatkan lingkungan sebagai komponen yang sama pentingnya dengan manusia dan mesin dalam sistem kerja.

Hubungan antara manusia, mesin, dan lingkungan dalam sistem kerja bersifat dinamis dan saling memengaruhi. Manusia menggunakan mesin untuk menyelesaikan tugas di dalam lingkungan tertentu; pada saat yang sama, desain mesin akan memengaruhi postur, gerakan, beban mental, dan kecepatan kerja manusia, sedangkan kondisi lingkungan akan memengaruhi kenyamanan, konsentrasi, dan kemampuan manusia dalam mengoperasikan mesin tersebut. Misalnya, operator mesin di pabrik tidak hanya harus memahami cara kerja mesin, tetapi juga harus mampu membaca indikator, menjangkau tombol kontrol, menjaga ritme kerja, dan bertahan dalam kondisi suhu atau kebisingan tertentu. Jika salah satu elemen tidak mendukung, maka interaksi antarunsur dalam sistem menjadi terganggu. Karena itu, analisis sistem kerja harus memperhatikan bukan hanya “apa pekerjaannya”, tetapi juga “siapa yang melakukannya”, “dengan alat apa”, dan “dalam kondisi seperti apa”.

Dalam konsep sistem kerja, **tujuan utama ergonomi adalah menciptakan keserasian atau *fit* antara manusia, mesin, dan lingkungan.** Keserasian ini berarti pekerjaan dirancang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia; mesin dibuat mudah, aman, dan efisien untuk dioperasikan; serta lingkungan kerja disusun agar mendukung kenyamanan, kesehatan, dan performa kerja. Jika keserasian tersebut tercapai, maka sistem kerja akan menghasilkan berbagai dampak positif, seperti meningkatnya produktivitas, menurunnya kelelahan, berkurangnya kesalahan kerja, meningkatnya kualitas hasil, dan berkurangnya risiko cedera maupun kecelakaan. Sebaliknya, jika

tidak ada keserasian, maka sistem kerja dapat menjadi sumber ketegangan fisik dan mental, konflik antara manusia dan teknologi, serta inefisiensi dalam proses kerja.

Konsep manusia–mesin–lingkungan juga membantu menjelaskan bahwa masalah kerja sering kali bukan semata-mata kesalahan pekerja. Dalam pendekatan tradisional, kegagalan kerja sering dikaitkan langsung dengan kurangnya keterampilan atau kedisiplinan pekerja. Namun dalam perspektif ergonomi, kesalahan manusia sering kali merupakan gejala dari sistem yang dirancang buruk. Pekerja bisa salah menekan tombol karena label instruksi tidak jelas, mengalami nyeri punggung karena tinggi meja tidak sesuai, kehilangan konsentrasi karena kebisingan terlalu tinggi, atau melakukan kesalahan pengukuran karena pencahayaan kurang memadai. Dengan demikian, ergonomi menggeser fokus dari “menyalahkan manusia” menjadi “memperbaiki sistem kerja” agar manusia dapat bekerja secara lebih aman dan efektif.

Dalam praktik industri, konsep sistem kerja manusia–mesin–lingkungan diterapkan pada berbagai aspek perancangan. Misalnya pada stasiun kerja perakitan, tinggi meja dan posisi komponen harus disesuaikan dengan ukuran tubuh pekerja agar tidak menimbulkan postur membungkuk. Mesin harus memiliki kontrol yang mudah dijangkau dan indikator yang mudah dibaca. Lingkungan kerja harus memiliki pencahayaan yang cukup, suhu yang nyaman, serta ruang gerak yang aman. Pada ruang kontrol, tampilan monitor harus dirancang agar informasi mudah dipahami, alarm tidak membingungkan, kursi operator mendukung postur duduk jangka panjang, dan kebisingan tidak mengganggu komunikasi. Dalam pekerjaan berbasis komputer, ergonomi sistem kerja mencakup desain meja, kursi, monitor, keyboard, beban kerja mental, hingga pengaturan waktu istirahat. Semua contoh tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan kerja tidak dapat dicapai hanya dengan menyediakan pekerja atau mesin secara terpisah, tetapi harus melalui integrasi yang harmonis antara manusia, alat, dan lingkungan.

Perkembangan teknologi modern semakin memperluas konsep sistem kerja ini. Dalam era otomatisasi dan digitalisasi, mesin tidak lagi hanya berfungsi sebagai alat pasif, tetapi juga sebagai sistem cerdas yang dapat memberi umpan balik, membuat keputusan otomatis, dan

berinteraksi secara real-time dengan manusia. Kolaborasi manusia dengan robot, penggunaan perangkat lunak berbasis AI, sistem pemantauan digital, dan kerja jarak jauh menuntut pemahaman baru tentang hubungan manusia-mesin-lingkungan. Misalnya, dalam kerja berbasis digital, lingkungan kerja tidak lagi hanya berupa ruang fisik, tetapi juga mencakup lingkungan informasi, desain antarmuka, notifikasi sistem, dan ritme komunikasi virtual. Oleh karena itu, konsep sistem kerja saat ini berkembang dari sekadar interaksi fisik menjadi interaksi sosial-teknis yang lebih kompleks, di mana manusia harus tetap ditempatkan sebagai pusat perancangan.

Secara keseluruhan, konsep sistem kerja manusia-mesin-lingkungan menegaskan bahwa pekerjaan adalah hasil interaksi antara manusia sebagai pelaku, mesin sebagai alat bantu, dan lingkungan sebagai konteks kerja. Ketiga unsur tersebut harus dirancang secara terpadu agar tercipta sistem kerja yang aman, nyaman, efisien, sehat, dan produktif. Dalam perspektif ergonomi, keberhasilan sistem kerja tidak cukup diukur dari seberapa cepat output dihasilkan, tetapi juga dari seberapa baik sistem tersebut mendukung kemampuan manusia, melindungi kesehatannya, meminimalkan kesalahan, dan menciptakan kondisi kerja yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap konsep sistem kerja menjadi dasar yang sangat penting dalam mempelajari ergonomi dan perancangan sistem kerja, karena dari konsep inilah lahir berbagai prinsip desain kerja yang berorientasi pada manusia (*human-centered design*).

E. Peran Ergonomi Dalam Produktivitas Dan Keselamatan

Ergonomi memiliki peran yang sangat penting dalam produktivitas dan keselamatan kerja karena keduanya merupakan dua tujuan utama yang harus dicapai secara seimbang dalam setiap sistem kerja. Produktivitas berkaitan dengan kemampuan organisasi menghasilkan output secara efisien, berkualitas, dan berkelanjutan, sedangkan keselamatan berhubungan dengan perlindungan pekerja dari risiko cedera, kecelakaan, dan gangguan kesehatan akibat kerja. Dalam praktiknya, produktivitas dan keselamatan sering kali dipandang sebagai

dua kepentingan yang berbeda, bahkan kadang dianggap saling bertentangan. Ada anggapan bahwa untuk meningkatkan produktivitas, pekerja harus bekerja lebih cepat, lebih lama, dan lebih keras, meskipun hal tersebut dapat meningkatkan risiko kelelahan dan kecelakaan. Namun, ergonomi justru menunjukkan bahwa produktivitas dan keselamatan tidak seharusnya dipisahkan. Keduanya dapat ditingkatkan secara bersamaan apabila sistem kerja dirancang sesuai dengan kemampuan, keterbatasan, dan kebutuhan manusia.

Peran utama ergonomi dalam produktivitas adalah menciptakan kondisi kerja yang memungkinkan pekerja menyelesaikan tugas secara efektif, efisien, dan konsisten tanpa mengalami kelelahan berlebih. Produktivitas tidak hanya ditentukan oleh kecepatan kerja atau jumlah output yang dihasilkan, tetapi juga oleh kualitas hasil, kestabilan performa, tingkat kesalahan, serta kemampuan pekerja mempertahankan kinerjanya dalam jangka panjang. Sistem kerja yang tidak ergonomis sering kali menimbulkan pemborosan waktu, tenaga, dan gerakan. Misalnya, pekerja harus sering membungkuk untuk mengambil material, berjalan terlalu jauh karena tata letak yang buruk, menggunakan alat yang sulit dioperasikan, atau bekerja dalam posisi yang menimbulkan nyeri. Kondisi seperti ini akan memperlambat proses kerja, meningkatkan kelelahan, dan menurunkan kapasitas pekerja untuk mempertahankan ritme kerja yang stabil. Ergonomi hadir untuk menghilangkan hambatan-hambatan tersebut melalui perancangan sistem kerja yang lebih sesuai dengan manusia.

Dalam konteks produktivitas, ergonomi berperan mengoptimalkan **hubungan antara manusia, alat, dan metode kerja**. Ketika meja kerja disesuaikan dengan tinggi tubuh pekerja, alat diletakkan dalam jangkauan yang tepat, material disusun mengikuti alur kerja, dan gerakan yang tidak perlu dihilangkan, maka pekerjaan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan lebih hemat energi. Pekerja tidak perlu membuang tenaga untuk menjangkau terlalu jauh, memutar tubuh secara berlebihan, atau menahan posisi yang tidak nyaman. Dengan demikian, waktu siklus kerja menjadi lebih singkat, kelelahan menurun, dan output meningkat. Perbaikan-perbaikan ergonomis seperti ini sering kali terlihat sederhana, tetapi dampaknya sangat besar terhadap efisiensi

operasional, terutama pada pekerjaan yang bersifat repetitif atau dilakukan dalam skala besar.

Ergonomi juga berperan penting dalam **meningkatkan kualitas hasil kerja**, yang merupakan bagian tak terpisahkan dari produktivitas. Pekerja yang bekerja dalam kondisi nyaman dan tidak kelelahan cenderung lebih teliti, lebih fokus, dan lebih mampu mempertahankan konsistensi hasil. Sebaliknya, postur kerja yang buruk, alat yang tidak nyaman, pencahayaan yang kurang, atau beban mental yang terlalu tinggi dapat menurunkan konsentrasi dan meningkatkan kesalahan. Dalam lingkungan industri, kesalahan kecil akibat kelelahan atau ketidaknyamanan dapat menyebabkan cacat produk, salah perakitan, salah pengukuran, hingga gangguan proses produksi. Dengan merancang pekerjaan secara ergonomis, organisasi tidak hanya meningkatkan jumlah output, tetapi juga menjaga mutu hasil, menurunkan angka rework, dan mengurangi pemborosan bahan maupun waktu akibat kesalahan kerja.

Selain produktivitas, ergonomi memiliki peran yang sangat besar dalam **mewujudkan keselamatan kerja**. Keselamatan kerja pada dasarnya bertujuan melindungi pekerja dari kecelakaan, cedera, dan kondisi berbahaya selama bekerja. Banyak kecelakaan kerja sebenarnya bukan semata-mata disebabkan oleh kelalaian pekerja, tetapi oleh sistem kerja yang tidak dirancang dengan baik. Misalnya, pekerja terpeleset karena tata letak area kerja sempit dan berantakan, mengalami cedera punggung karena harus mengangkat beban berat tanpa alat bantu, atau salah mengoperasikan mesin karena panel kontrol membingungkan. Dalam situasi seperti ini, ergonomi berfungsi sebagai pendekatan pencegahan yang menata ulang sistem kerja agar risiko-risiko tersebut dapat diminimalkan sejak tahap perancangan.

Peran ergonomi dalam keselamatan terlihat jelas melalui **pengurangan risiko cedera muskuloskeletal dan kecelakaan fisik**. Pekerjaan yang menuntut gerakan berulang, pengangkatan beban, posisi statis yang lama, atau postur janggal dapat menyebabkan gangguan otot, sendi, dan tulang. Cedera ini mungkin tidak selalu muncul secara tiba-tiba, tetapi berkembang perlahan akibat akumulasi tekanan fisik yang terus-menerus. Ergonomi berperan mengidentifikasi sumber-sumber

beban fisik tersebut dan merancang solusi yang lebih aman, seperti mengubah tinggi meja kerja, menyediakan alat bantu angkat, memperbaiki desain pegangan alat, mengurangi jangkauan berlebihan, atau menata ulang posisi material. Dengan cara ini, tekanan pada tubuh pekerja dapat dikurangi, risiko cedera menurun, dan keselamatan kerja meningkat secara nyata.

Ergonomi juga berkontribusi terhadap keselamatan melalui **penurunan kesalahan manusia atau *human error***. Dalam banyak sistem kerja, terutama yang melibatkan mesin, panel kontrol, komputer, atau pengambilan keputusan cepat, kesalahan manusia dapat menimbulkan konsekuensi yang serius. Kesalahan ini sering terjadi ketika informasi sulit dibaca, alarm tidak jelas, prosedur terlalu rumit, atau operator mengalami kelelahan mental. Ergonomi membantu mengurangi risiko tersebut dengan merancang antarmuka yang mudah dipahami, tata letak kontrol yang logis, instruksi yang jelas, serta lingkungan kerja yang mendukung konsentrasi. Dengan kata lain, ergonomi tidak hanya melindungi tubuh pekerja, tetapi juga mendukung proses berpikir dan pengambilan keputusan agar berjalan lebih aman dan akurat.

Hubungan ergonomi dengan produktivitas dan keselamatan sebenarnya bersifat timbal balik. Lingkungan kerja yang aman akan membantu pekerja bekerja lebih tenang, fokus, dan percaya diri, sehingga produktivitas meningkat. Sebaliknya, sistem kerja yang produktif tetapi tidak aman hanya akan menghasilkan keuntungan jangka pendek karena dalam jangka panjang akan menimbulkan cedera, absensi, turnover, biaya pengobatan, dan gangguan operasional. Ergonomi berperan sebagai jembatan yang menyatukan kedua tujuan ini. Dengan menerapkan ergonomi, perusahaan tidak perlu memilih antara produktivitas atau keselamatan, karena keduanya dapat dicapai melalui desain kerja yang tepat. Sistem kerja yang ergonomis justru memungkinkan produktivitas tinggi tercapai melalui proses yang aman, sehat, dan berkelanjutan.

Dalam praktik industri, peran ergonomi terhadap produktivitas dan keselamatan dapat terlihat dalam berbagai contoh nyata. Pada lini perakitan, penyesuaian tinggi meja dan posisi komponen dapat

mengurangi waktu menjangkau sekaligus mencegah pekerja membungkuk terlalu lama. Pada gudang, penggunaan troli atau alat angkat dapat mempercepat perpindahan barang sekaligus menurunkan risiko cedera punggung. Pada ruang kontrol, desain panel yang jelas dan mudah dibaca dapat mempercepat respons operator sekaligus mencegah kesalahan operasi. Pada pekerjaan berbasis komputer, kursi yang mendukung postur, posisi monitor yang tepat, dan pengaturan waktu istirahat dapat meningkatkan kenyamanan, menjaga fokus, serta mengurangi keluhan leher dan mata. Contoh-contoh ini menunjukkan bahwa intervensi ergonomi hampir selalu membawa manfaat ganda: memperbaiki performa kerja sekaligus meningkatkan keselamatan.

Dari sudut pandang organisasi, peran ergonomi dalam produktivitas dan keselamatan juga berpengaruh langsung pada **biaya dan keberlanjutan operasional**. Tempat kerja yang tidak ergonomis dapat menyebabkan tingginya angka absensi, klaim kesehatan, pergantian tenaga kerja, kerusakan produk, serta keterlambatan produksi akibat kecelakaan atau kelelahan pekerja. Semua hal tersebut pada akhirnya menambah biaya perusahaan. Sebaliknya, investasi pada ergonomi dapat menurunkan biaya-biaya tersebut melalui pencegahan. Pekerja yang sehat dan aman cenderung lebih konsisten, lebih loyal, dan lebih produktif. Perusahaan pun dapat mempertahankan kualitas output, mengurangi gangguan operasional, serta membangun citra sebagai organisasi yang peduli terhadap kesejahteraan tenaga kerja. Dalam jangka panjang, hal ini menjadi bagian penting dari keunggulan kompetitif perusahaan.

Pada era industri modern, peran ergonomi semakin strategis karena sistem kerja menjadi semakin kompleks. Otomasi, digitalisasi, penggunaan robot, kerja berbasis data, serta kolaborasi manusia-mesin menimbulkan tantangan baru baik terhadap produktivitas maupun keselamatan. Pekerja tidak hanya menghadapi beban fisik, tetapi juga beban mental akibat informasi yang berlebihan, tuntutan respons cepat, dan interaksi dengan sistem digital yang kompleks. Ergonomi modern membantu organisasi merancang antarmuka yang lebih ramah pengguna, mengatur beban kerja mental, menyesuaikan ritme kerja dengan kemampuan manusia, serta memastikan bahwa teknologi yang

diterapkan benar-benar mendukung performa dan keselamatan pekerja. Dengan demikian, ergonomi tidak hanya relevan pada pekerjaan manual, tetapi juga menjadi kunci penting dalam sistem kerja berbasis teknologi tinggi.

Secara keseluruhan, ergonomi memegang peran sentral dalam menciptakan produktivitas dan keselamatan kerja yang berjalan seiring. Ergonomi meningkatkan produktivitas dengan menyederhanakan kerja, mengurangi pemborosan gerakan, menurunkan kelelahan, meningkatkan kualitas hasil, dan menjaga kestabilan performa pekerja. Di sisi lain, ergonomi meningkatkan keselamatan dengan mengurangi risiko cedera fisik, menurunkan human error, memperbaiki desain alat dan lingkungan, serta menyesuaikan pekerjaan dengan kemampuan manusia. Dengan kata lain, ergonomi merupakan pendekatan strategis yang menempatkan manusia sebagai pusat sistem kerja, sehingga organisasi dapat mencapai output yang tinggi tanpa mengorbankan kesehatan, kenyamanan, dan keselamatan pekerja. Oleh karena itu, dalam dunia industri maupun sektor kerja lainnya, ergonomi harus dipahami sebagai investasi penting untuk membangun sistem kerja yang produktif, aman, dan berkelanjutan.

BAB 2

SISTEM KERJA

Nia Candrawati S.MB.,MBA.

Politeknik Meta Industri Cikarang

A. Pendahuluan

Dalam berbagai jenis kegiatan kerja, baik pada sektor manufaktur, perkantoran, pelayanan kesehatan, maupun usaha skala kecil dan rumah tangga, pelaksanaan pekerjaan merupakan hasil interaksi dari sejumlah unsur yang saling berhubungan. Unsur-unsur tersebut tidak bekerja secara terpisah, tetapi membentuk suatu kesatuan yang dikenal sebagai sistem kerja (work system). Oleh karena itu, analisis pekerjaan yang hanya berfokus pada satu aspek, misalnya manusia atau teknologi semata, tidak mampu menggambarkan kondisi kerja secara menyeluruh dan berisiko menghasilkan rancangan yang kurang optimal.

Ergonomi sebagai disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dan pekerjaannya menekankan pentingnya penyesuaian sistem kerja dengan karakteristik manusia. Dalam perancangannya, kemampuan, kebutuhan, serta keterbatasan manusia harus menjadi pertimbangan utama agar pekerjaan dapat dilaksanakan secara efektif, efisien, produktif, aman, dan memberikan kenyamanan bagi pekerja.

Sejalan dengan konsep tersebut, berbagai faktor yang terdapat dalam lingkungan kerja juga berpengaruh terhadap kondisi fisik maupun psikologis pekerja. Faktor-faktor tersebut dapat menjadi sumber beban tambahan yang mengharuskan individu melakukan proses adaptasi agar tetap dapat bekerja secara nyaman. Dengan demikian, pencapaian kinerja yang optimal perlu diseimbangkan dengan upaya menjaga kesehatan dan kesejahteraan pekerja.

Perkembangan teknologi pada era Revolusi Industri 4.0 yang berlanjut menuju Industri 5.0 telah membawa perubahan signifikan terhadap karakteristik sistem kerja. Sistem kerja modern tidak lagi hanya

terdiri atas manusia, mesin, dan lingkungan fisik, tetapi juga melibatkan integrasi teknologi digital seperti sistem siber-fisik (cyber-physical systems), kecerdasan buatan (artificial intelligence), Internet of Things (IoT), serta berbagai platform digital yang saling terhubung. Kondisi ini menuntut pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antar elemen sistem kerja serta penerapan pendekatan sistem dalam merancang lingkungan kerja yang adaptif, berorientasi pada manusia, dan berkelanjutan.

Kajian mengenai sistem kerja memiliki nilai strategis tidak hanya dalam konteks akademik, tetapi juga dalam praktik industri. Kesalahan dalam perancangan sistem kerja dapat menyebabkan meningkatnya risiko kecelakaan kerja, menurunnya produktivitas, serta munculnya kerugian ekonomi bagi organisasi. Sebaliknya, sistem kerja yang dirancang secara tepat mampu meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi beban kerja yang berlebihan, dan menciptakan kondisi kerja yang lebih aman serta nyaman. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai sistem kerja menjadi salah satu landasan penting dalam bidang ergonomi dan teknik industri.

B. Elemen Sistem Kerja

Sistem kerja terdiri atas sejumlah komponen utama yang saling berhubungan dan berinteraksi secara berkelanjutan dalam menjalankan suatu proses kerja. Komponen-komponen tersebut umumnya dikelompokkan ke dalam lima unsur pokok, yaitu manusia (man), mesin atau peralatan (machine), material (material), metode kerja (method), dan lingkungan kerja (environment). Kelima unsur tersebut dikenal sebagai konsep **4M+1E**. Dalam beberapa pendekatan manajemen dan teknik industri, konsep ini diperluas menjadi 5M dengan menambahkan unsur modal atau sumber daya keuangan (money) sebagai bagian dari sistem.

Konsep tersebut menunjukkan bahwa sistem kerja tidak dapat dipandang sekadar sebagai kumpulan elemen yang berdiri sendiri, melainkan sebagai suatu kesatuan yang terintegrasi dan terus mengalami perubahan sesuai dengan dinamika interaksi antar komponennya. Oleh

karena itu, pemahaman yang komprehensif terhadap setiap elemen penyusun sistem kerja merupakan fondasi penting dalam proses analisis dan perancangan sistem yang efektif, efisien, aman, serta sesuai dengan kebutuhan manusia dan organisasi. Menurut Carayon (Carayon et al., 2020) melalui model SEIPS (Systems Engineering Initiative for Patient Safety) menegaskan bahwa setiap sistem kerja terdiri atas elemen-elemen yang saling bergantung antara satu sama lainnya atau tidak dapat berdiri sendiri. Perubahan pada satu elemen akan secara langsung maupun tidak langsung akan mempengaruhi elemen lainnya.

1. Manusia (Man)

Manusia merupakan komponen utama dalam sistem kerja karena berperan sebagai pelaksana aktivitas, pengendali proses, sekaligus pengambil keputusan. Dalam perspektif ergonomi, manusia tidak hanya dipandang sebagai sumber tenaga kerja, tetapi juga sebagai individu yang memiliki karakteristik fisik, mental, dan sosial yang memengaruhi kinerjanya. Karakteristik tersebut meliputi aspek antropometri, kemampuan fisik seperti kekuatan dan daya tahan tubuh, kemampuan kognitif yang mencakup perhatian, persepsi, memori, serta proses pengambilan keputusan, dan faktor psikososial seperti motivasi, kepuasan kerja, budaya organisasi, serta tingkat stres yang dialami pekerja.

Perkembangan teknologi dan digitalisasi telah mengubah peran manusia dalam sistem kerja modern. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Leso (Leso et al., 2018) menekankan bahwa dalam era transformasi digital, peran manusia dalam sistem kerja mengalami pergeseran signifikan: antara lain dari peran eksekutor tugas repetitif menuju peran supervisor, pengambil keputusan, dan pemecah masalah dalam sistem yang semakin terotomasi. Pergeseran ini membawa implikasi besar terhadap kompetensi yang diperlukan, beban kognitif yang ditanggung, serta risiko psikososial yang perlu dikelola

2. Mesin dan Peralatan (Machine)

Mesin dan peralatan mencakup seluruh sarana yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan pekerjaan, baik dalam bentuk perangkat fisik maupun teknologi digital. Elemen ini meliputi mesin produksi, alat

bantu operasional, komputer, sistem antarmuka pengguna (user interface), hingga teknologi canggih seperti robotika dan kecerdasan buatan yang banyak diterapkan pada industri modern.

Efektivitas penggunaan mesin sangat dipengaruhi oleh kesesuaiannya dengan kemampuan dan keterbatasan pengguna. Apabila peralatan dirancang tanpa mempertimbangkan faktor manusia, berbagai permasalahan dapat muncul, seperti meningkatnya beban kerja, kesalahan pengoperasian, kelelahan, hingga kecelakaan kerja.

3. Bahan dan Material (Material)

Material merupakan sumber daya atau masukan yang diproses dalam suatu sistem kerja untuk menghasilkan produk atau layanan tertentu. Material dapat berupa bahan baku, komponen setengah jadi, maupun data dan informasi pada sistem berbasis teknologi informasi. Karakteristik material, seperti ukuran, berat, bentuk, suhu, serta potensi bahayanya, menjadi faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan fasilitas kerja dan prosedur operasional.

Pemahaman terhadap sifat-sifat material sangat diperlukan untuk menentukan metode penanganan yang aman dan efisien, termasuk pemilihan alat bantu angkat, desain area kerja, serta langkah-langkah pengendalian risiko yang sesuai.

4. Metode Kerja (Method)

Metode kerja merupakan tata cara atau prosedur yang digunakan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Di dalamnya mencakup urutan aktivitas, pola gerakan, serta instruksi yang menjadi pedoman bagi pekerja dalam menjalankan tugasnya. Perancangan metode kerja yang efektif bertujuan untuk mencapai produktivitas yang tinggi dengan penggunaan sumber daya yang optimal.

Pengembangan metode kerja umumnya didasarkan pada prinsip ekonomi gerakan, studi waktu dan gerak (time and motion study), serta analisis kesesuaian antara tuntutan pekerjaan dengan kemampuan fisik dan mental pekerja. Dengan metode yang dirancang secara tepat, pekerjaan dapat dilakukan secara lebih efisien, mengurangi pemborosan gerakan, menekan tingkat kelelahan, serta meningkatkan kualitas hasil

kerja. Mesin dan peralatan kerja adalah seluruh perangkat fisik maupun digital yang digunakan oleh manusia untuk membantu, memperkuat, atau mengotomatisasi pelaksanaan tugas. Elemen ini mencakup mesin produksi, alat bantu kerja, perangkat komputer, antarmuka pengguna (user interface), hingga sistem robotik dan kecerdasan buatan pada konteks industri modern.

Rancangan mesin dan peralatan yang tidak memperhatikan kapasitas dan keterbatasan manusia akan menimbulkan beberapa masalah seperti beban kerja berlebih, kesalahan operasional, kelelahan, hingga risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, prinsip kesesuaian (fit) antara karakteristik mesin dan kemampuan manusia menjadi kunci utama dalam perancangan elemen ini.

5. Lingkungan Kerja (Environment)

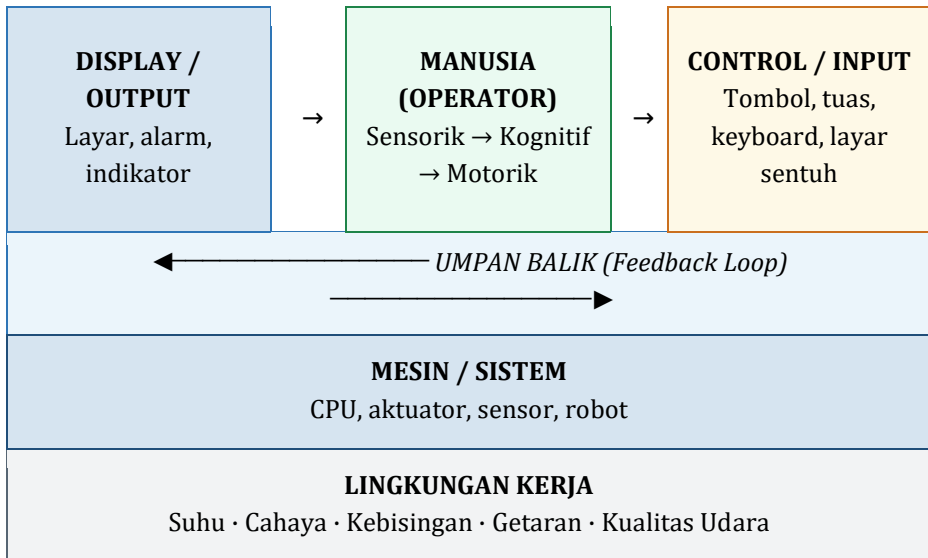
Lingkungan kerja meliputi seluruh kondisi fisik, kimia, biologis, dan sosial di sekitar tempat kerja yang dapat memengaruhi performa dan kesejahteraan pekerja. Faktor-faktor yang membentuk lingkungan kerja antara lain temperatur, kelembaban, sirkulasi udara, pencahayaan, kebisingan, getaran mekanik, bau-bauan, warna dan beberapa faktor lainnya (Lawi et al., 2023).

C. Interaksi Manusia, Mesin dan Lingkungan

Sistem kerja tidak dapat dipahami sebagai sekumpulan komponen yang bekerja secara independen. Sebaliknya, sistem tersebut berfungsi melalui hubungan timbal balik yang berlangsung secara terus-menerus antara manusia, mesin, dan lingkungan kerja. Dinamika interaksi antar komponen ini menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan suatu sistem dalam mencapai tingkat efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan yang optimal.

Kajian mengenai sistem kerja berfokus pada bagaimana manusia, teknologi, dan lingkungan saling memengaruhi serta berkontribusi dalam membentuk suatu sistem yang terintegrasi. Hubungan tersebut melibatkan pertukaran informasi, energi, dan material yang berlangsung secara berkesinambungan sehingga setiap perubahan pada satu

komponen dapat memengaruhi kinerja komponen lainnya. Untuk menggambarkan keterkaitan tersebut, interaksi antara manusia, mesin, dan lingkungan umumnya direpresentasikan dalam bentuk diagram siklus (loop diagram) yang menunjukkan aliran dan hubungan timbal balik antar elemen sistem. Gambaran mengenai hubungan tersebut dapat dilihat pada ilustrasi berikut.



Gambar 2. 1 aliran informasi dalam sistem Human-Machine-Environment (HME)

1. Interaksi Manusia-Mesin (Human-Machine Interaction)

Interaksi manusia dan mesin (Human-Machine Interaction/HMI) merujuk pada proses komunikasi dua arah yang terjadi antara pengguna dan sistem teknologi, baik yang bersifat mekanis maupun digital. Interaksi ini melibatkan pertukaran informasi secara berkelanjutan, di mana manusia menerima informasi dari sistem, menginterpretasikannya, kemudian memberikan respons melalui tindakan atau perintah tertentu.

Salah satu konsep yang banyak digunakan untuk menjelaskan hubungan tersebut adalah model lingkaran kendali (control loop model). Dalam model ini, manusia berfungsi sebagai pengendali yang memperoleh informasi melalui berbagai media tampilan (display), kemudian mengolah informasi tersebut berdasarkan kemampuan persepsi, pengetahuan, dan pengambilan keputusan. Selanjutnya, hasil

pengolahan tersebut diwujudkan dalam bentuk tindakan pengendalian (control) terhadap mesin atau sistem. Mesin akan merespons tindakan tersebut dengan menghasilkan keluaran (output) yang kemudian disajikan kembali kepada pengguna sebagai umpan balik (feedback), sehingga terbentuk suatu siklus interaksi yang berlangsung secara terus-menerus.

Pada saat sekarang penggunaan sistem modern berbasis digital, loop ini menjadi jauh lebih kompleks. Operator tidak lagi hanya berhadapan dengan satu mesin fisik saja, melainkan dengan antarmuka digital yang merepresentasikan puluhan hingga ratusan variabel sekaligus, dengan kondisi seperti ini akan meningkatkan beban kognitif secara signifikan dan menuntut perancangan antarmuka yang menerapkan prinsip-prinsip cognitive ergonomics termasuk didalamnya antara lain prinsip kejelasan informasi (information clarity), konsistensi (consistency), umpan balik segera (immediate feedback), dan pencegahan kesalahan (error prevention) (Hollnagel, 2022).

Model Interaksi dalam Human-Machine System

Terdapat tiga arsitektur utama dalam sistem human-machine yang perlu dipahami :

a. Adaptive Interface (Antarmuka Adaptif)

Antarmuka adaptif merupakan sistem yang mampu menyesuaikan tampilan, fungsi, atau cara penyajian informasi berdasarkan kondisi pengguna maupun situasi operasional yang telah ditetapkan sebelumnya. Tujuan utama pendekatan ini adalah menyediakan informasi yang relevan kepada operator dalam format yang paling mudah dipahami serta pada waktu yang paling tepat. Dengan kemampuan penyesuaian tersebut, antarmuka adaptif dapat membantu meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan dan mengurangi beban kognitif pengguna.

b. Supervisory Control (Kontrol Supervisori)

Kontrol supervisori menggambarkan tingkat keterlibatan manusia dalam proses pengendalian sistem. Model ini mengelompokkan sistem ke dalam beberapa tingkat otomatisasi,

mulai dari pengoperasian secara manual, semiotomatis, hingga otomatis penuh. Pada praktiknya, tingkat kendali yang diberikan kepada manusia dapat berubah sesuai dengan karakteristik pekerjaan, kompleksitas tugas, dan tingkat keandalan teknologi yang digunakan. Oleh karena itu, keseimbangan antara peran manusia dan otomatisasi menjadi faktor penting dalam desain sistem supervisi.

c. Distributed Architecture (Arsitektur Terdistribusi)

Arsitektur terdistribusi memungkinkan komponen manusia dan mesin berada di lokasi yang berbeda secara spasial, dengan subtugas, tanggung jawab, dan keputusan terdistribusi di antara berbagai partisipan manusia pada berbagai tingkatan hierarkis.

2. Interaksi Manusia–Lingkungan (Human–Environment Interaction)

Interaksi antara manusia dan lingkungan kerja terjadi melalui proses adaptasi fisik dan psikologis. Kondisi lingkungan yang sesuai akan mendukung kenyamanan, kesehatan, dan produktivitas kerja. Sebaliknya, faktor lingkungan yang kurang baik, seperti pencahayaan yang tidak memadai, suhu yang terlalu tinggi, atau kebisingan berlebih, dapat menambah beban kerja dan menurunkan kinerja pekerja.

Hubungan manusia dan lingkungan bersifat timbal balik. Lingkungan memengaruhi kondisi pekerja, sementara manusia juga dapat menyesuaikan diri dan melakukan perubahan terhadap lingkungannya. Dalam ergonomi, lingkungan kerja tidak hanya mencakup aspek fisik, tetapi juga berbagai dimensi lain yang saling berinteraksi dan memengaruhi aktivitas kerja.

Empat Dimensi Lingkungan Kerja

Lingkungan fisik merupakan seluruh kondisi material dan faktor inderawi di tempat kerja yang dapat diukur secara objektif dan berpengaruh langsung terhadap kesehatan, kenyamanan, keselamatan, serta produktivitas pekerja. Faktor-faktor lingkungan fisik yang tidak dikelola dengan baik dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja,

gangguan kesehatan, dan penurunan kinerja (Salvendy & Karwowski, 2021).

- a. **Pencahayaan:** yang baik tidak hanya ditentukan oleh tingkat terang, tetapi juga distribusi cahaya, kontras, silau (glare), dan suhu warna. Pencahayaan yang tidak memadai dapat menyebabkan kelelahan mata (eye strain), sakit kepala, dan penurunan ketelitian kerja. Sebaliknya, pencahayaan yang sesuai dengan karakteristik pekerjaan dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi kesalahan kerja (Salvendy & Karwowski, 2021)
- b. **Kebisingan** merupakan salah satu faktor lingkungan kerja yang dapat memengaruhi kesehatan dan kinerja pekerja. Selain menyebabkan gangguan pendengaran akibat paparan jangka panjang, kebisingan juga dapat menurunkan konsentrasi, meningkatkan kelelahan mental, mengganggu komunikasi, serta meningkatkan stres kerja. Dampak tersebut semakin besar pada pekerjaan yang memerlukan konsentrasi tinggi dan komunikasi verbal yang intensif (Salvendy & Karwowski, 2021)
- c. **Termal dan Iklim Kerja:** Suhu lingkungan yang terlalu panas atau terlalu dingin dapat mengganggu mekanisme termoregulasi tubuh. Kondisi ini menyebabkan tubuh mengeluarkan energi lebih besar untuk mempertahankan suhu normal sehingga dapat menurunkan kenyamanan, kapasitas kerja, dan produktivitas pekerja. Pengelolaan lingkungan termal menjadi sangat penting, terutama pada negara beriklim tropis seperti Indonesia (Parsons, 2014)
- d. **Getaran (Vibration):** di tempat kerja dapat berupa getaran seluruh tubuh (whole-body vibration) maupun getaran tangan-lengan (hand-arm vibration). Paparan getaran dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko gangguan muskuloskeletal, gangguan peredaran darah, dan kerusakan sistem saraf. Oleh karena itu, pengendalian sumber getaran dan penggunaan alat pelindung yang sesuai sangat diperlukan
- e. **Kualitas Udara dan Paparan Kimia:** Kualitas udara kerja dipengaruhi oleh keberadaan partikel debu, gas berbahaya, uap

kimia, serta agen biologis. Paparan kontaminan udara yang berlangsung terus-menerus dapat menyebabkan gangguan kesehatan akut maupun kronis, seperti iritasi saluran pernapasan, penyakit paru obstruktif kronis, hingga kanker akibat kerja. Pengendalian ventilasi dan pemantauan kualitas udara menjadi bagian penting dalam menjaga kesehatan pekerja (Salvendy & Karwowski, 2021)

3. Interaksi Mesin-Lingkungan (Machine-Environment Interaction)

Interaksi mesin dan lingkungan merupakan hubungan timbal balik antara peralatan kerja dengan kondisi lingkungan tempat mesin beroperasi. Mesin dapat memengaruhi lingkungan melalui panas, getaran, kebisingan, atau emisi yang dihasilkan, sementara faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, kualitas udara, dan tata letak ruang juga dapat memengaruhi kinerja serta keandalan mesin.

Pemahaman terhadap interaksi ini penting dalam perancangan fasilitas kerja, termasuk pengaturan tata letak, ventilasi, dan sistem pengendalian lingkungan. Pada era Industri 4.0 dan Industri 5.0, interaksi mesin–lingkungan semakin penting karena banyaknya penggunaan sistem otomatis, robot kolaboratif, dan teknologi cerdas yang harus beroperasi secara aman, efisien, dan selaras dengan kebutuhan manusia.

Menurut (Salvendy & Karwowski, 2021) desain sistem kerja modern harus mempertimbangkan hubungan antara manusia, mesin, dan lingkungan sebagai satu kesatuan sistem yang saling memengaruhi. Lingkungan yang tidak sesuai dapat menurunkan performa mesin, meningkatkan frekuensi kesalahan operasi, serta memperbesar risiko kecelakaan kerja. Sebaliknya, mesin yang dirancang dengan baik dapat membantu mengendalikan kondisi lingkungan sehingga mendukung keselamatan dan produktivitas kerja.

a. Pengaruh Lingkungan terhadap Kinerja Mesin

Kondisi lingkungan berperan penting dalam menentukan kinerja dan keandalan mesin. Suhu ekstrem, kelembapan tinggi, serta debu atau kontaminan dapat mengurangi efisiensi kerja, mempercepat kerusakan komponen, dan mengganggu fungsi sensor maupun sistem kontrol. Pada

sistem otomatis, faktor-faktor tersebut dapat menurunkan akurasi deteksi dan performa operasional secara keseluruhan.

b. Pengaruh Mesin terhadap Lingkungan Kerja

Selain dipengaruhi oleh lingkungan, mesin juga dapat mengubah kondisi lingkungan kerja. Pengoperasian mesin sering menghasilkan kebisingan, getaran, panas, radiasi, atau emisi tertentu yang berpotensi memengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan keselamatan pekerja.

c. Interaksi Mesin–Lingkungan pada Sistem Otomatis dan Robotik

Pada sistem robotik dan otomatis modern, mesin harus mampu menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan kerja. Robot kolaboratif memanfaatkan sensor untuk mengenali keberadaan manusia, mendeteksi hambatan, dan merespons kondisi sekitar secara cepat sehingga dapat beroperasi dengan aman dan efektif.

d. Implikasi Ergonomi dalam Interaksi Mesin–Lingkungan

Dalam ergonomi, interaksi mesin dan lingkungan bertujuan untuk mendukung terciptanya sistem kerja yang aman, nyaman, efisien, serta berkelanjutan bagi manusia dan organisasi.

Oleh karena itu, perancangan mesin harus mempertimbangkan beberapa hal, antara lain sebagai berikut:

- Kondisi fisik lingkungan kerja (suhu, kelembapan, pencahayaan, kebisingan, dan getaran).
- Kemampuan mesin untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan.
- Pengurangan dampak negatif mesin terhadap lingkungan kerja.
- Integrasi antara manusia, mesin, dan lingkungan sebagai satu sistem yang saling mendukung.
- Peningkatan keselamatan dan keandalan sistem melalui pemantauan lingkungan secara berkelanjutan.

Metode Pengukuran dan Evaluasi Interaksi Sistem Kerja

Evaluasi terhadap interaksi manusia-mesin-lingkungan dapat dilakukan melalui berbagai metode, baik yang bersifat observasional, kuesioner, maupun pengukuran objektif menggunakan instrumen

tertentu. Pemilihan metode bergantung pada jenis interaksi yang dievaluasi serta sumber daya yang tersedia

D. Pendekatan Sistem dalam Perancangan Kerja

Pendekatan sistem (system approach) adalah cara berpikir yang memandang suatu masalah perancangan kerja sebagai bagian dari keseluruhan sistem yang saling terkait, bukan sebagai bagian yang terisolasi. Pendekatan ini menekankan bahwa perbaikan pada satu elemen sistem kerja harus dianalisis dampaknya terhadap elemen-elemen lain, sehingga solusi yang dihasilkan bersifat optimal secara keseluruhan (system optimum), bukan hanya optimal pada satu bagian saja (local optimum).

Dalam ergonomi modern, sistem kerja dipandang sebagai integrasi antara manusia, teknologi, organisasi, dan lingkungan kerja yang harus dirancang secara terpadu untuk mencapai kinerja yang optimal. Pendekatan ini menekankan bahwa perubahan pada satu elemen sistem dapat menimbulkan dampak terhadap elemen lainnya, sehingga solusi yang dihasilkan harus mempertimbangkan keseluruhan sistem (*system optimum*) dan bukan hanya memperbaiki satu bagian tertentu (*local optimum*) (Salvendy & Karwowski, 2021)

Prinsip-Prinsip Pendekatan Sistem

- **Holistik:** Sistem dipandang sebagai satu kesatuan yang saling terhubung, sehingga perubahan pada satu komponen dapat memengaruhi kinerja komponen lainnya.
- **Berorientasi pada tujuan:** Proses perancangan difokuskan untuk mencapai berbagai sasaran secara bersamaan, seperti peningkatan produktivitas, kualitas, keselamatan kerja, dan kesejahteraan pekerja.
- **Memanfaatkan umpan balik:** Hasil penerapan sistem dievaluasi secara berkala dan digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan serta pengembangan yang berkelanjutan.
- **Partisipatif:** Pekerja dilibatkan secara aktif dalam mengenali permasalahan dan merumuskan solusi karena mereka merupakan pihak yang berinteraksi langsung dengan sistem kerja.

- **Iteratif:** Perancangan dilakukan melalui serangkaian tahapan yang berulang, mulai dari analisis, pengembangan desain, hingga evaluasi, untuk memperoleh hasil yang semakin optimal.

1. Pendekatan Macroergonomic Analysis and Design (MEAD)

Merupakan pendekatan ergonomi yang berfokus pada perancangan dan optimalisasi sistem kerja pada tingkat organisasi atau sistem sosioteknikal (sociotechnical systems). Pendekatan ini memandang organisasi sebagai suatu sistem yang terdiri atas subsistem manusia, teknologi, lingkungan, dan organisasi yang saling berinteraksi. Tujuan utama macroergonomics adalah menciptakan keselarasan (fit) antara berbagai subsistem tersebut sehingga diperoleh peningkatan produktivitas, kualitas kerja, keselamatan, dan kesejahteraan pekerja secara bersamaan (Salvendy & Karwowski, 2021)

Menurut (Hendrick & Kleiner, 2002) yang konsepnya masih menjadi landasan utama dalam pengembangan macroergonomics modern, keberhasilan suatu sistem kerja sangat ditentukan oleh kesesuaian antara struktur organisasi, teknologi yang digunakan, dan karakteristik sumber daya manusia. Oleh karena itu, perbaikan sistem kerja tidak cukup dilakukan pada level individu atau stasiun kerja saja, tetapi harus mempertimbangkan keseluruhan sistem organisasi (Carayon et al., 2020)

Penerapan pendekatan **macroergonomics** di berbagai bidang industri menunjukkan bahwa integrasi antara aspek teknis dan faktor sosial-organisasi dalam perancangan sistem kerja dapat memberikan dampak positif terhadap produktivitas, kualitas kerja, dan kesejahteraan pekerja. Pada industri kerajinan, misalnya, pendekatan ini membantu meningkatkan efektivitas sistem kerja melalui penyesuaian teknologi, metode operasional, serta struktur organisasi agar lebih selaras dengan karakteristik dan kebutuhan tenaga kerja.

Prinsip-Prinsip Macroergonomics

- Integrasi antara manusia, teknologi, dan organisasi.
- Pendekatan sistem (systems approach) dalam perancangan kerja.
- Keterlibatan pekerja dalam proses perancangan.

- Optimalisasi kinerja organisasi dan kesejahteraan pekerja secara simultan.
- Perbaikan berkelanjutan berdasarkan evaluasi sistem kerja.

2. Pendekatan Human-Centered Design (HCD)

Human-Centered Design (HCD) merupakan pendekatan perancangan yang menempatkan kebutuhan, kemampuan, karakteristik, dan keterbatasan manusia sebagai fokus utama dalam proses pengembangan sistem. Pendekatan ini bertujuan menghasilkan produk, sistem, atau lingkungan kerja yang efektif, efisien, aman, mudah digunakan, dan memberikan pengalaman yang positif bagi pengguna (ISO 9241-210:2019; ISO, 2021).

Menurut standar internasional ISO 9241-210, proses HCD dilakukan melalui empat tahapan utama:

- Memahami dan menetapkan konteks penggunaan.
- Mengidentifikasi kebutuhan dan persyaratan pengguna.
- Mengembangkan solusi desain.
- Mengevaluasi desain terhadap kebutuhan pengguna.

Penerapan **Human-Centered Design (HCD)** dalam pengembangan sistem informasi dan antarmuka digital menunjukkan bahwa pelibatan pengguna sejak tahap perancangan mampu meningkatkan kemudahan penggunaan (*usability*), efektivitas operasional, serta kepuasan pengguna. Meskipun pendekatan ini banyak diterapkan pada pengembangan perangkat lunak dan teknologi informasi, prinsip-prinsip HCD juga dapat digunakan dalam perancangan sistem kerja fisik, seperti stasiun kerja, alat bantu, tata letak fasilitas, maupun peralatan produksi, agar lebih sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik pengguna.

Dalam konteks ergonomi, HCD membantu memastikan bahwa sistem yang dirancang sesuai dengan kemampuan fisik, kognitif, dan psikologis pengguna sehingga dapat meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan produktivitas kerja (Salvendy & Karwowski, 2021)

Prinsip-Prinsip Human-Centered Design

- Berpusat pada kebutuhan pengguna.
- Melibatkan pengguna selama proses desain.

- Evaluasi dilakukan secara berulang (iterative design).
- Mempertimbangkan pengalaman pengguna secara menyeluruh.
- Mengintegrasikan aspek ergonomi fisik, kognitif, dan organisasi.

Langkah Umum Perancangan Sistem Kerja dengan Pendekatan Sistem

Perancangan sistem kerja dengan pendekatan sistem dilakukan secara sistematis hal ini guna untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem kerja dapat berfungsi secara terpadu. Menurut (Salvendy & Karwowski, 2021) tahapan umum yang digunakan meliputi:

No.	Tahapan	Aktivitas Utama	Output
1	Mengenali & Merumuskan Masalah	Ruang lingkup, tujuan terukur, identifikasi masalah	<i>Dokumen problem statement, KPI</i>
2	Menganalisis Sistem Kerja Eksisting	Data man, machine, method, material, env	<i>Observasi, wawancara, data historis</i>
3	Mengidentifikasi Kebutuhan & Kendala	Kebutuhan pengguna, target kinerja, batasan	<i>User requirement specification</i>
4	Mengembangkan Alternatif Rancangan	Solusi berdasarkan ergonomi & keselamatan	<i>Sketsa, prototipe, simulasi</i>
5	Mengevaluasi & Memilih Alternatif	Perbandingan produktivitas, biaya, keselamatan	<i>Matriks keputusan, scoring</i>
6	Implementasi & Evaluasi Berkelanjutan	Penerapan & pemantauan berkala	<i>Audit, continuous improvement</i>

Gambar 2. 2 Enam tahapan perancangan sistem kerja

Tantangan dalam Implementasi Pendekatan Sistem

Meskipun pendekatan sistem dalam perancangan kerja menawarkan pandangan yang menyeluruh, penerapannya sering menghadapi berbagai kendala. Secara umum, tantangan tersebut dapat dikelompokkan ke dalam tiga aspek utama, yaitu resistensi terhadap perubahan, keterbatasan ketersediaan data, dan kebutuhan untuk menyeimbangkan berbagai tujuan yang saling bersaing.

1. **Resistensi terhadap perubahan (resistance to change)**

Pekerja yang telah lama menggunakan cara kerja tertentu sering kali merasa enggan menerima perubahan karena dianggap dapat menimbulkan ketidakpastian atau mengganggu kebiasaan yang telah terbentuk, meskipun metode yang digunakan sebelumnya belum tentu paling efektif.

2. **Keterbatasan data historis**

Banyak organisasi, terutama usaha kecil dan menengah, belum memiliki sistem dokumentasi yang memadai untuk mencatat data terkait kondisi kerja, keluhan pekerja, maupun kinerja operasional. Akibatnya, proses analisis dan pengambilan keputusan sering dilakukan dengan informasi yang terbatas.

3. **Trade-off antarkriteria**

Perbaikan pada satu aspek sering kali berdampak pada aspek lainnya. Sebagai contoh, penambahan waktu istirahat dapat mengurangi waktu produksi dalam jangka pendek, tetapi berpotensi meningkatkan produktivitas jangka panjang melalui pengurangan kelelahan dan kesalahan kerja. Oleh karena itu, evaluasi dampak suatu perubahan perlu dilakukan dalam rentang waktu yang cukup panjang agar manfaat sebenarnya dapat terlihat.

Dengan memahami berbagai tantangan tersebut sejak awal, perancang sistem kerja dapat menyusun strategi implementasi yang lebih efektif dan realistis, misalnya melalui penerapan perubahan secara bertahap (*incremental implementation*) sehingga proses adaptasi dapat berlangsung lebih lancar

E. Model Sistem Kerja Modern

Perkembangan teknologi informasi, kecerdasan buatan, dan otomasi robotik telah mengubah lanskap sistem kerja secara fundamental. Model-model sistem kerja yang dikembangkan di era pra-digital memerlukan adaptasi lagi dan pengembangan untuk tetap relevan dalam konteks industri 4.0 dan transisi menuju Industri 5.0.

1. Model SEIPS 3.0 (Systems Engineering Initiative for Patient Safety)

Meskipun awalnya dikembangkan untuk sektor layanan kesehatan, model SEIPS yang diperkenalkan oleh Carayon et al. dan telah terbukti memiliki aplikabilitas yang luas di berbagai sektor industri. Versi terbaru SEIPS 3.0 (Carayon et al., 2020) mengintegrasikan konsep adaptasi sistem dan pembelajaran yang lebih dinamis, mengakui bahwa sistem kerja modern harus mampu beradaptasi secara real-time terhadap perubahan kondisi.

SEIPS 3.0 memperluas model sebelumnya dengan memasukkan dimensi temporal (bagaimana sistem berubah seiring waktu), dimensi multilevel (bagaimana sistem di satu level mempengaruhi sistem di level lain), dan dimensi kolaboratif (bagaimana tim dan pasangan kerja berbagi proses dan outcomes). Ketiga dimensi tambahan ini sangat relevan dalam konteks sistem kerja yang melibatkan tim multidisiplin dan teknologi yang terus berevolusi.

2. Model Human-Robot Collaboration (HRC)

Kolaborasi manusia-robot (Human-Robot Collaboration/HRC) merepresentasikan paradigma baru dalam sistem kerja di mana manusia dan robot beroperasi dalam ruang kerja yang sama, saling melengkapi kemampuan masing-masing. Tidak seperti automasi tradisional yang memisahkan manusia dari robot demi keselamatan, HRC dirancang untuk memungkinkan interaksi yang aman dan sinergis.

Model HRC yang efektif harus mempertimbangkan tiga dimensi kritis berikut ini:

- a. keselamatan fisik yaitu memastikan robot dapat beroperasi di dekat manusia tanpa muncul risiko cedera;
- b. efisiensi kolaborasi yaitu mengoptimalkan pembagian tugas berdasarkan kekuatan komparatif manusia dan robot; dan
- c. penerimaan manusia memastikan pekerja menerima, memahami, dan mempercayai sistem robot yang bekerja bersama mereka (Goodrich & Schultz, 2020)

Penelitian terkini oleh (Villani et al., 2022) mengidentifikasi bahwa salah satu hambatan terbesar dalam implementasi HRC di industri

saat ini adalah faktor kepercayaan (trust). Pekerja yang tidak memahami logika keputusan robot atau merasa tidak memiliki kendali atas interaksi, bahkan cenderung menolak atau menghindari adanya kolaborasi dengan sistem robot, yang pada akhirnya mengurangi manfaat yang seharusnya diperoleh dari penggunaan teknologi tersebut.

3. Cognitive Work Analysis (CWA)

Cognitive Work Analysis (CWA) merupakan kerangka analisis yang dikembangkan oleh Jens Rasmussen dan disempurnakan oleh Kim Vicente untuk memahami serta merancang sistem kerja yang kompleks, dinamis, dan berbasis informasi. CWA terdiri atas lima komponen utama, yaitu:

- Abstraction Hierarchy (AH) untuk memahami fungsi sistem,
- Control Task Analysis (ConTA) untuk mengidentifikasi tugas-tugas pengendalian,
- Strategies Analysis (SA) untuk memetakan strategi kerja yang mungkin,
- Social Organization and Cooperation Analysis (SOCA) untuk memahami koordinasi tim, dan
- Worker Competencies Analysis (WCA) untuk menilai kompetensi yang diperlukan.

Salah satu keunggulan utama CWA dibandingkan analisis tugas konvensional adalah kemampuannya menangani situasi kerja yang tidak sepenuhnya dapat diprediksi atau dituliskan dalam prosedur. Pendekatan ini membantu memahami bagaimana pekerja menafsirkan kondisi yang ambigu dan mengambil keputusan secara tepat, terutama dalam situasi yang dinamis dan penuh tekanan waktu.

4. Sistem Kerja di Era Industri 5.0

Industri 5.0 merupakan evolusi dari Industri 4.0 yang dimana pada era ini tidak hanya menekankan otomasi dan konektivitas, tetapi juga mengembalikan fokus pada nilai-nilai kemanusiaan, keberlanjutan, dan ketangguhan (resilience). Dalam paradigma Industri 5.0, sistem kerja tidak dirancang semata-mata untuk efisiensi maksimal, melainkan untuk menciptakan keseimbangan antara performa teknologi dan

kesejahteraan manusia sebuah pendekatan yang oleh para akademisi disebut sebagai human-centric automation.

(Miraz et al., 2022) mendefinisikan Industri 5.0 sebagai visi di mana industri berkontribusi pada masyarakat dan planet, menempatkan kesejahteraan pekerja di pusat proses produksi, dan menggunakan teknologi baru untuk mendorong kemakmuran melampaui sekadar pertumbuhan dan keuntungan. Dalam konteks sistem kerja, visi ini menuntut perancangan yang mempertimbangkan dimensi well-being, meaningful work, dan environmental sustainability sebagai kriteria desain yang setara dengan produktivitas dan kualitas.

F. Studi Kasus Sistem Kerja di Industri

Penerapan ergonomi dalam sistem kerja industri bertujuan untuk menciptakan keseimbangan antara manusia, mesin, dan lingkungan kerja sehingga diperoleh produktivitas yang tinggi serta keselamatan dan kesehatan kerja yang optimal. Dalam praktiknya, berbagai perusahaan menghadapi tantangan yang berbeda-beda terkait desain stasiun kerja, penggunaan peralatan, tata letak fasilitas, serta kondisi lingkungan kerja. Oleh karena itu, studi kasus menjadi salah satu cara yang efektif untuk memahami bagaimana prinsip-prinsip ergonomi diterapkan dalam dunia industri.

Melalui studi kasus, mahasiswa dan praktisi dapat menganalisis permasalahan nyata yang terjadi di lapangan, mengidentifikasi faktor-faktor penyebabnya, serta merancang solusi ergonomis yang sesuai. Bagian ini menyajikan beberapa contoh penerapan ergonomi pada berbagai sektor industri.

Studi Kasus 1: Pengangkatan Material Secara Manual di Gudang

a. Latar Belakang

Pada sebuah gudang distribusi barang, pekerja harus mengangkat dan memindahkan kardus dengan berat antara 20–30 kilogram secara manual. Aktivitas dilakukan berulang kali selama jam kerja tanpa bantuan alat angkut yang memadai.

b. Permasalahan

Ditemukan beberapa kondisi berikut:

- ✓ Keluhan nyeri pinggang.
- ✓ Cedera otot akibat teknik pengangkatan yang salah.
- ✓ Tingkat absensi yang meningkat.
- ✓ Produktivitas yang tidak stabil.

c. Analisis Ergonomi

Faktor penyebab utama adalah:

- ✓ Beban kerja fisik yang tinggi.
- ✓ Teknik pengangkatan yang tidak sesuai.
- ✓ Frekuensi pengangkatan yang terlalu sering.
- ✓ Tidak tersedia alat bantu material handling.

d. Solusi Perbaikan

Perusahaan menerapkan beberapa langkah:

- ✓ Menyediakan troli dan hand pallet.
- ✓ Memberikan pelatihan teknik pengangkatan yang benar.
- ✓ Mengurangi berat maksimum setiap kardus.
- ✓ Mengatur rotasi pekerjaan.

e. Hasil

Setelah implementasi:

- ✓ Cedera akibat pengangkatan menurun.
- ✓ Produktivitas meningkat.
- ✓ Kelelahan pekerja berkurang.
- ✓ Waktu pemindahan barang menjadi lebih singkat.

Pelajaran yang Dapat Diambil

Pemanfaatan alat bantu dan teknik kerja yang benar merupakan bagian penting dalam penerapan ergonomi untuk mengurangi risiko cedera dan meningkatkan efisiensi kerja.

Studi Kasus 2: Ergonomi pada Industri Kelapa Sawit

Latar Belakang

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor yang banyak menggunakan tenaga kerja fisik, terutama pada kegiatan panen dan pengangkutan tandan buah segar (TBS). Pekerja harus memanen buah

menggunakan egrek atau dodos serta mengangkat tandan yang beratnya dapat mencapai 20–30 kilogram.

Permasalahan

Beberapa masalah yang sering ditemukan adalah:

- Nyeri bahu dan punggung.
- Cedera otot akibat penggunaan alat panen yang berat.
- Kelelahan kerja tinggi.
- Risiko kecelakaan akibat medan kerja yang tidak rata.

Analisis Ergonomi

Faktor penyebab meliputi:

1. Desain alat panen yang kurang ergonomis.
2. Beban kerja fisik yang tinggi.
3. Postur kerja yang tidak alami.
4. Kondisi lingkungan kerja yang ekstrem.

Solusi Perbaikan

Beberapa perbaikan yang dapat dilakukan:

- Menggunakan alat panen berbahan ringan.
- Mendesain pegangan alat sesuai antropometri pekerja.
- Memberikan pelatihan teknik kerja ergonomis.
- Menyediakan alat bantu angkut buah.

Hasil yang Diharapkan

- Mengurangi risiko cedera muskuloskeletal.
- Meningkatkan kapasitas panen.
- Menurunkan tingkat kelelahan.
- Meningkatkan keselamatan kerja.

Pelajaran yang Dapat Diambil

Ergonomi memiliki peran besar dalam sektor perkebunan karena sebagian besar pekerjaan masih melibatkan aktivitas fisik yang intensif.

BAB 3

ANTROPOMETRI DALAM PERANCANGAN KERJA

Siti Nur Hamidah, M.T
Universitas Bina Sarana Informatika

A. Pendahuluan

Perancangan sistem kerja yang ergonomis merupakan salah satu aspek penting dalam disiplin teknik industri dan ergonomi modern. Sistem kerja yang baik tidak hanya mempertimbangkan produktivitas dan efisiensi, tetapi juga harus memperhatikan kemampuan, keterbatasan, kenyamanan, serta keselamatan manusia sebagai pengguna utama sistem tersebut. Salah satu pendekatan utama dalam ergonomi untuk mencapai tujuan tersebut adalah melalui penerapan antropometri.

Antropometri merupakan ilmu yang mempelajari dimensi tubuh manusia, baik dalam kondisi statis maupun dinamis. Data antropometri digunakan untuk merancang fasilitas kerja, alat, mesin, lingkungan kerja, hingga sistem interaksi manusia-mesin agar sesuai dengan karakteristik pengguna. Penerapan antropometri yang tepat dapat meningkatkan kenyamanan kerja, mengurangi risiko musculoskeletal disorders (MSDs), meminimalkan kelelahan, dan meningkatkan produktivitas kerja (Realyvásquez-Vargas et al., 2020)

Dalam konteks industri modern, penerapan antropometri menjadi semakin penting karena adanya tuntutan desain yang inklusif dan adaptif terhadap variasi populasi pekerja. Perbedaan jenis kelamin, usia, suku bangsa, kondisi fisik, serta perkembangan gaya hidup menyebabkan variasi ukuran tubuh manusia semakin kompleks. Oleh karena itu, pendekatan “*one size fits all*” tidak lagi relevan dalam perancangan kerja modern.

Penggunaan data antropometri saat ini tidak hanya diterapkan pada desain meja dan kursi kerja, tetapi juga berkembang pada desain

antarmuka manusia-mesin (Human Machine Interface / HMI), workstation digital, kendaraan, alat bantu kerja, wearable devices, hingga collaborative robotics (Villani et al., 2017).

Dalam bab ini akan dibahas konsep dasar antropometri, jenis dan klasifikasinya, penggunaan data antropometri statis dan dinamis, prinsip penggunaan data antropometri dalam desain, perancangan workstation berbasis antropometri, serta konsep desain inklusif untuk mengakomodasi variabilitas populasi pengguna.

B. Definisi dan Jenis Antropometri

Definisi Antropometri

Secara entimologis, menurut Bridger (2018) bahwa antropometri berasal dari bahasa Yunani yaitu *Anthropos* = *manusia*, *Metron* = *ukuran* (Bridger, 2018) sehingga, antropometri dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari pengukuran dimensi tubuh manusia. Sedangkan menurut (Suarjana et al., 2022) bahwa antropometri merupakan ilmu yang berfokus pada dimensi tubuh, bentuk, kekuatan serta kapasitas kerja yang bertujuan dalam membangun sesuatu berdasarkan dimensi tubuh manusia. Dalam ergonomi, antropometri digunakan untuk memperoleh data ukuran tubuh manusia yang dapat digunakan sebagai dasar dalam merancang produk, fasilitas, maupun sistem kerja agar sesuai dengan karakteristik pengguna. Terdapat beberapa tujuan utama penggunaan antropometri dalam perancangan kerja meliputi meningkatkan kenyamanan kerja, mengurangi risiko cedera kerja, menyesuaikan alat dengan pengguna, meningkatkan efisiensi gerak, mengurangi kelelahan, mendukung keselamatan kerja serta dapat meningkatkan produktivitas. Secara lebih luas data antropometri dapat digunakan pada perancangan lingkungan kerja, peralatan, alat pelindung diri maupun produk-produk yang digunakan dalam menentukan kesesuaian secara optimal pada karakteristik fisik pengguna dengan desain sistem maupun objek yang digunakan.

Jenis Antropometri

Pada umumnya Antropometri dibagi menjadi dua jenis utama yaitu Antropometri Statis dan Antropometri Dinamis.

1. Antropometri Statis (*Structural Anthropometry*)

Antropometri statis merupakan pengukuran dimensi tubuh manusia dalam kondisi diam atau posisi tetap. Jenis pengukuran statis diantaranya terdiri dari tinggi badan, tinggi duduk, lebar bahu, panjang lengan, tinggi siku duduk, tinggi popliteal dan lebar pinggul. Data yang umumnya dapat digunakan untuk desain meja, kursi kerja, kabin kendaraan, tinggi rak, dan dimensi ruang kerja (Elbert et al., 2018).

2. Antropometri Dinamis (*Functional Anthropometry*)

Antropometri dinamis merupakan pengukuran tubuh manusia saat melakukan gerakan tertentu (Sritomo Wignjosoebroto, 2000). Jenis pengukuran dinamis diantaranya terdiri dari jangkauan tangan maksimum, area gerak lengan, sudut putaran tubuh, ruang gerak kaki, gerakan membungkuk, reach envelope (meraih atau menjangkau objek) (Bridger, 2018).

Data antropometri dinamis digunakan untuk desain workstation, layout alat kontrol, area jangkauan operator, desain alat manual, human-machine interaction (Sengupta & Das, 2000).

Dimensi tubuh manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor yang memengaruhi antropometri, antara lain:

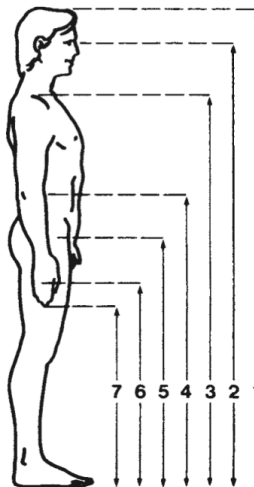
1. Jenis kelamin : laki – laki umumnya memiliki ukuran tubuh lebih besar dibanding perempuan.
2. Umur : ukuran tubuh berubah sesuai pertumbuhan dan proses penuaan.
3. Suku Bangsa dan Ras : setiap populasi memiliki karakteristik antropometri berbeda. Ketika data antropometri yang digunakan untuk merancang suatu produk untuk populasi pekerja di negara Indonesia akan berbeda dengan pekerja di Negara Eropa dan Amerika.
4. Status Gizi : dimana asupan nutrisi memengaruhi pertumbuhan tubuh.

5. Pekerjaan dan Aktivitas : aktivitas fisik tertentu memengaruhi postur dan struktur tubuh.
6. Kondisi Sosial Ekonomi : lingkungan hidup memengaruhi perkembangan fisik manusia

C. Data Antropometri Statis dan Dinamis

Terdapat daftar data antropometri dimensi tubuh manusia sebagai berikut (Pheasant, 2002) :

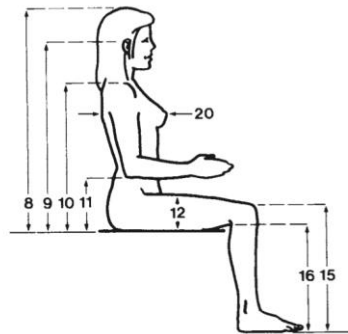
1. *Stature* : merupakan jarak vertikal dari lantai puncak kepala (yaitu, ubun-ubun kepala).



Gambar 3. 1 Dimensi Tubuh (Stature)

2. *Eye Height* : jarak vertikal dari lantai ke sudut dalam mata (sudut luar mata).
3. *Shoulder height* : jarak vertikal dari lantai ke akromion (yaitu ujung tulang bahu).
4. *Elbow Height* : jarak vertikal dari lantai ke radiale. (Radiale adalah penanda tulang yang dibentuk oleh ujung atas tulang radius yang dapat diraba pada permukaan luar siku).
5. *Hip Height* : jarak vertikal dari lantai ke trokanter mayor (tonjolan tulang di ujung atas tulang paha, dapat diraba pada permukaan lateral pinggul).

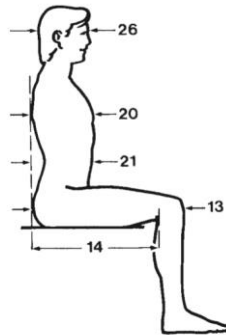
6. *Knuckle Height* : jarak vertikal dari lantai ke metakarpal III (yaitu buku jari tengah).
7. *Fingertip Height* : jarak vertikal dari lantai ke daktilion (yaitu ujung jari tengah).
8. *Sitting height* : jarak vertikal dari permukaan tempat duduk ke puncak kepala (yaitu, ubun-ubun kepala).
9. *Sitting eye height* : jarak vertikal dari permukaan tempat duduk ke sudut dalam mata.
10. *Sitting shoulder height* : jarak vertikal dari permukaan tempat duduk ke akromion (yaitu titik tulang bahu).



Gambar 3. 2 Dimensi Tubuh (Sitting Shoulder Height)

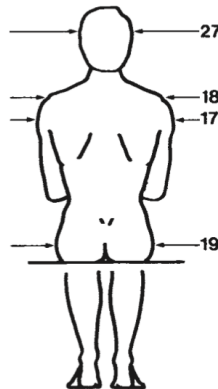
11. *Sitting elbow height* (dikenal juga sebagai *elbow rest height*) : jarak vertikal dari permukaan tempat duduk ke bagian bawah siku.
12. *Thigh Thickness* (dikenal juga sebagai *Thigh Clearance*) : jarak vertikal dari permukaan tempat duduk ke bagian atas jaringan lunak yang tidak terkompresi pada paha di titik tertebalnya, umumnya di tempat bertemunya dengan perut.
13. *Buttock-knee length* : jarak horizontal dari bagian belakang bokong yang tidak tertekan ke bagian depan tempurung lutut.
14. *Buttock – popliteal length* : jarak horizontal dari bagian belakang bokong yang tidak tertekan ke sudut popliteal, di bagian belakang lutut, tempat bagian belakang lutut, tempat bagian belakang tungkai bawah bertemu dengan bagian bawah paha. Dimensi jangkauan, menentukan kedalaman dudukan maksimum yang dapat diterima.
15. *Knee height* : jarak vertikal dari lantai ke permukaan atas lutut (biasanya diukur hingga otot quadriceps, bukan tempurung lutut).

16. *Popliteal Height* : jarak vertikal dari lantai ke sudut popliteal dibagian bawah lutut tempat tendon otot bisep femoris menempel pada tungkai bawah.



Gambar 3. 3 Dimensi Tubuh (Popliteal Height)

17. *Shoulder breadth (bideltoïd)* : lebar horizontal maksimum di bahu, diukur hingga tonjolan otot deltoid.
18. *Shoulder breadth (biacromial)* : jarak horizontal melintasi bahu yang diukur antara akromia (titik tulang).



Gambar 3. 4 Dimensi Tubuh (*Shoulder breadth*)

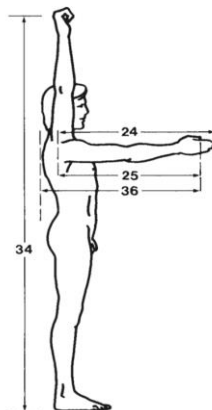
19. *Hip breadth* : jarak horizontal maksimum melintasi pinggul dalam posisi duduk.
20. *Chest (bust) depth* : jarak horizontal maksimum dari bidang referensi vertikal ke bagian depan dada pada pria atau payudara pada wanita.

21. *Abdominal depth* : jarak horizontal maksimum dari bidang referensi vertikal ke bagian depan perut dalam posisi duduk standar.
22. *Shoulder elbow lenght* : jarak dari akromion ke bagian bawah siku dalam posisi duduk standar.
23. *Elbow fingertip length* : jarak dari belakang siku ke ujung jari tengah dalam posisi duduk standar.
24. *Upper limb length* : jarak dari akromion ke ujung jari dengan siku dan pergelangan tangan lurus (terentang)
25. *Shoulder grip lenght* : jarak dari akromion ke pusat objek yang digenggam di tangan dengan siku dan pergelangan tangan lurus.



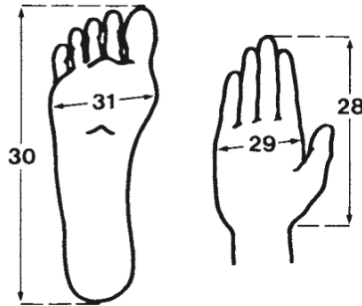
Gambar 3. 5 Dimensi Tubuh (*Shoulder grip length*)

26. *Head length* : jarak antara glabella (titik paling depan di dahi antara tulang alis) dan oksiput (bagian belakang kepala) di garis tengah.
 27. *Head breadth* : lebar maksimum kepala di atas level telinga.
- Aplikasi : jarak bebas.



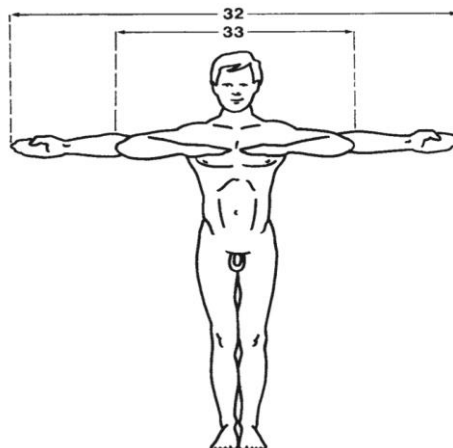
Gambar 3. 6 Dimensi Tubuh (*Head Breadth*)

28. *Hand Lenght* : jarak dari lipatan pergelangan tangan ke ujung jari tengah dengan tangan dipegang lurus dan kaku.
29. *Hand breadth* : lebar maksimum di telapak tangan (pada ujung distal tulang metakarpal)



Gambar 3. 7 Dimensi Tubuh (*Hand Breadth*)

30. *Foot lenght* : jarak, sejajar dengan sumbu panjang kaki, dari bagian belakang tumit ke ujung jari kaki terpanjang.
31. *Lebar horizontal maksimum*, melintasi kaki tegak lurus terhadap sumbu panjang.
32. *Span* : jarak horizontal maksimum antara ujung jari ketika kedua lengan direntangkan ke samping.
33. *Elbow span* : jarak antara ujung siku ketika kedua lengan atas direntangkan ke samping dan siku ditekuk sepenuhnya sehingga ujung jari menyentuh dada.



Gambar 3. 8 Dimensi Tubuh (*Elbow Span*)

34. *Grip Reaches* : Pengukuran dilakukan ke tengah batang silinder yang digenggam penuh di telapak tangan. Pada dimensi 34 dan 35, lengan diangkat vertikal di atas kepala dan pengukuran dilakukan dari lantai atau permukaan tempat duduk, masing-masing. Pada dimensi 36, lengan diangkat horizontal ke depan setinggi bahu dan pengukuran diambil dari belakang tulang belikat.

Dengan pemanfaatan dari data antropometri dengan baik dan tepat memiliki manfaat jangka panjang diantaranya dapat meningkatkan kerja, membuat lingkungan yang aman dan nyaman, serta dapat memberikan peningkatan efisiensi kerja. Berdasarkan data antropometri yang telah dijelaskan diatas, berikut terdapat jenis dari Data Atropometri Statis dan Dinamis.

1. Data Antropometris Statis

Data antropometri statis diperoleh melalui pengukuran tubuh dalam posisi diam menggunakan alat ukur seperti Anthropometer, Sliding Caliper, Measuring tape, dan Digital body scanner. Berikut terdapat data dimensi beserta keteranganya (Elbert et al., 2018).

Tabel 3. 1 Data Antropometri Statis

Dimensi	Keterangan
Tinggi badan	Jarak vertikal dari lantai ke puncak kepala
Tinggi duduk	Tinggi kepala saat duduk
Tinggi siku duduk	Tinggi siku terhadap alat duduk
Tinggi popliteal	Tinggi lipatan lutut ke lantai
Lebar bahu	Jarak antar bahu
Lebar pinggul	Jarak maksimum pinggul

2. Data Antropometri Dinamis

Data antropometri dinamis berkaitan dengan gerakan tubuh manusia saat bekerja. Jenis data dinamis dapat berguna dalam beberapa fungsi diantara desain sistem yang berkaitan dengan aktivitas gerak, alat berat maupun fasilitas. Berikut terdapat data dimensi beserta fungsinya (Sritomo Wignjosoebroto, 2000).

Tabel 3. 2 Data Antropometri Statis

Data Dimensi	Fungsi
Jangkauan tangan	Menentukan posisi alat
Sudut gerakan lengan	Menentukan area kerja
Zona penglihatan	Desain panel kontrol
Ruang gerak kaki	Desain pedal
Envelope kerja	Tata letak workstation

3. Persentil Dalam Antropometri

Dalam pengaplikasian data antropometri biasanya diolah menggunakan konsep persentil. Seperti persentil P5, P50 dan P95 (Pheasant, 2002).

Tabel 3. 3 Data Peirseintil

Persentil	Keterangan
P5	5% populasi terkecil
P50	Nilai rata-rata populasi
P95	95% populasi terbesar

Untuk Mengolah Data berdasarkan masing – masing dimensi diperlukan uji data berguna untuk menyatakan bahwa data yang digunakan tidak terdapat perbedaan yang cukup jauh. Terdapat jenis pengujian untuk data diantaranya (Sinaga et al., 2021) :

1. Uji ke cukupan data : uji kecukupan data yaitu kegiatan uji data untuk memastikan bahwa jumlah sampel secara objektif dapat terpenuhi. Berikut rumus yang digunakan :

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \Sigma X^2 + (\Sigma X)^2}}{\Sigma X} \right]^2$$

Ke te ran gan :

N' = Jumlah data se be naranya

N = Jumlah data pe rcobaan

X_i = Data Pe ngukuran

S = De rajat ke te litian

k = tingkat kepercayaan

2. Uji keseragaman data : uji keseragaman data digunakan untuk mengetahui data yang diukur memiliki keseragaman data yang berada dalam batas kendali atas (BKA), batas rata-rata ataupun batas kendali bawah (BKB) (Supriyanto & Suprpto, 2020).

$$BKA = \bar{\bar{X}} + 3\sigma$$

$$Central = \bar{\bar{X}}$$

$$BKB = \bar{\bar{X}} - 3\sigma$$

Ke terangan :

BKA = untuk batas ke ndali Atas

BKB = untuk batas ke ndali bawah

$\bar{\bar{X}}$ = rata - rata sampe l

σ = Standar de viasi

3. Uji Normalitas :Uji ini berguna dalam mengetahui data populasi yang diuji apakah berdistribusi normal atau tidak. Pengujian data bisa menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov menggunakan SPSS:

H0 : Nilai signifikansi >0,05 menyatakan bahwa data berdistribusi normal

Hi : Nilai signifikasi < 0,05 menyatakan bahwa data tidak berdistribusi normal

4. Prinsip Penggunaan Persentil

- a. Prinsip *Clearance* : Menggunakan P95, digunakan agar pengguna terbesar tetap dapat menggunakan fasilitas, contoh pengaplikasian pada tinggi pintu dan lebar lorong.

Dalam mendesain stasiun kerja, perlu disediakan untuk ruang kepala, ruang siku, dan ruang kaki dll. Lingkungan harus menyediakan akses dan ruang sirkulasi yang memadai, pegangan harus menyediakan bukaan yang memadai untuk jari atau telapak tangan semua hal tersebut termasuk kedalam batasan jarak bebas. Ini adalah batasan satu arah dan menentukan dimensi minimum yang dapat diterima pada objek. Jika dimensi dipilih untuk

mengakomodasi anggota populasi pengguna yang besar (misalnya, persentil ke-95 dalam tinggi, lebar dll) maka sisa populasi yang lebih kecil dari ini akan diakomodasi (Pheasant, 2002).

- b. Prinsip *Reach* : Menggunakan P5, digunakan agar pengguna terkecil tetap dapat menjangkau, contoh pengaplikasiannya pada tombol kontrol dan rak. Kemampuan untuk menggenggam dan mengoperasikan kontrol adalah contoh yang jelas seperti halnya batasan yang disebutkan diatas mengenai tinggi tempat duduk atau kemampuan untuk melihat melewati penghalang visual. Batasan jangkauan menentukan dimensi maksimum yang dapat diterima dari objek. Batasan ini merupakan satu arah, tetapi dapat ditentukan oleh sebagian kecil dari populasi, seperti persentil ke-5 (Pheasant, 2002).
- c. Prinsip *Adjustable Design* : Menggunakan rentang P5-P95, contoh pengaplikasiannya terdapat pada kursi adjustable dan meja adjustable. Sehingga pada konsep ini banyak digunakan dalam desain ergonomi modern dan inklusif design (Sinaga et al., 2021).

D. Prinsip Penggunaan Data Antropometri

1. Prinsip Designing for Extreme Individuals

Prinsip dalam Desain ini dibuat berdasarkan pendekatan desain yang menggunakan ukuran tubuh individu atau pengguna extreme pada suatu populasi baik dengan individu yang memiliki ukuran tubuh terbesar ataupun terkecil (Pheasant, 2002). Desain untuk individu extreme memastikan bahwa produk maupun fasilitas tetap aman dan nyaman digunakan oleh orang-orang dengan ukuran fisik terkecil maupun terbesar (e-journal Politik Negeri Ambon). Penerapan yang dilakukan contohnya pada tinggi pintu menggunakan P95 tinggi badan dan pada jangkauan tombol menggunakan P5 panjang lengan, sehingga semuanya harus bisa dijangkau oleh semua orang (Pheasant, 2002). Penerapan dalam prinsip ini masuk kedalam bagian keselamatan dan juga aksesibilitas.

2. Prinsip Adjustable Range

Prinsip dari *adjustable* atau penyesuaian ini menjadi bagian utama pada desain ergonomis yang dapat disesuaikan merupakan pendekaran yang menungkingna produk atau fasilitas diatur sesuai dengan karakteristik fisik pengguna yang beragam (Bridger, 2018). Desain dibuat fleksible sehingga dapat disesuaikan berbagai pengguna. Contoh penerapan dapat dilakukan pada kursi kantor adjustable dapat diatur ketinggiannya, steering mobil, dan monitor adjustable, meja kerja yang fleksibel dapat dinaik turunkan sehingga mudah digunakan oleh semua orang dengan ukuran tubuh berbeda-beda sehingga membuat pekerja menjadi lebih nyaman. Dalam penyesuaian desain memberikan manfaat dalam pencegahan gangguan muskuloskeletal yang disebabkan oleh postur kerja yang tidak baik.

3. Prinsip Designing for Average

Prinsip pada Desain ini menggunakan ukuran tubuh rata-rata populasi yang biasanya direpresejatsikan oleh Persentil (P50) atau pada rentang persentil antara ke-5 hingga ke-95 desain ini dirancang untuk mayoritas kebutuhan fisik yang sebagian besar populasi gunakan (Pheasant, 2002). Pada prinsip ini digunakan dalam meminimasi desain ekstrem kelompok individu yang sangat kecil maupun sangat besar, sehingga hanya baik digunakan hanya untuk sebagian rata-rata orang.

Contoh penerapan pada ukuran meja maupun kursi kantor didesain untuk rata-rata populasi.

4. Prinsip Ergonomik dalam Penggunaan Antropometri

- *Safety* : Desain harus aman digunakan
- *Comfort* : Desain harus nyaman
- *Efficiency* : Mengurangi gerakan tidak perlu
- *Health* : mengurangi risiko MSDs ‘
- *Productivity* : meningkatkan performa kerja

E. Perancangan Workstation Berbasis Antropometri

Workstation adalah area kerja tempat pekerja melakukan aktivitas kerja menggunakan peralatan, mesin, maupun fasilitas pendukung lainnya untuk menyelesaikan tugas tertentu. Berdasarkan (Sritomo Wignjosoebroto, 2000) menyatakan bahwa *workstation* atau stasiun kerja adalah kombinasi antara manusia, peralatan kerja (mesin/komputer), material, metode kerja dan lingkungan fisik tempatnya bekerja yang saling berinteraksi dan bertujuan untuk menciptakan keseimbangan dan keserasian agar pekerja terhindar dari cedera atau kelelahan dan dapat mencapai produktivitas dan kenyamanan kerja.

Sedangkan menurut (Pheasant, 2002) menyatakan bahwa workstation yang ergonomis harus dirancang berdasarkan karakteristik antropometri, biomekanika, dan kemampuan fisik pengguna agar tercapai kondisi kerja yang aman, nyaman, dan efisien. Workstation ergonomis harus mampu diantaranya mendukung postur netral, mengurangi kelelahan, meminimalkan risiko cedera, memudahkan interaksi manusia-mesin. Sehingga tujuan utama dari perancangan workstation adalah menyesuaikan pekerjaan dengan kemampuan manusia (*fit the task to the worker*), bukan memaksa pekerja menyesuaikan diri terhadap desain yang kurang sesuai (Bridger, 2018).

1. Prinsip Perancangan Workstation Ergonomis

Perancangan workstation ergonomis bertujuan untuk menciptakan kesesuaian antara karakteristik pekerja, tuntutan pekerjaan, serta lingkungan kerja sehingga dapat meningkatkan kenyamanan, keselamatan, kesehatan dan produktivitas kerja.

- a. Menyesuaikan dengan pengguna : fasilitas kerja harus dirancang berdasarkan karakteristik antropometri pengguna sehingga dimensi workstation sesuai dengan dimensi tubuh pekerja (Pheasant, 2002).
- b. Mengurangi gerakan berlebih : area kerja harus berada dalam zona jangkauan optimal. Peralatan, material dan kontrol kerja harus ditempatkan dalam zona jangkauan optimal sehingga pekerja dapat

melakukan aktivitas gerakan yang efisien (Sritomo Wignjosoebroto, 2000).

- c. Mengurangi postur tidak alamiah : workstation harus dirancang agar pekerja dapat mempertahankan postur netral selama bekerja dimana postur yang tidak alamiah seperti membungkuk, memutar tubuh, menjangkau terlalu jauh (Bridger, 2018).
- d. Menyediakan fleksibilitas : Workstation sebaiknya dirancang dengan fitur yang dapat disesuaikan (*adjustable workstation*) agar dapat mengakomodasi variasi ukuran tubuh pengguna (Bridger, 2018).

2. Komponen Workstation Ergonomis

a. Kursi kerja

Kriteria pada kursi kerja terdiri dari tinggi adjustable, sandaran punggung, dukungan lumbar, dan footrest bila diperlukan. Ukuran pada kursi kerja ergonomis harus disesuaikan dengan tinggi dudukan yang sama dengan tinggi meja sehingga sudut lutut ada pada sudut 90 derajat serta telapak kaki bisa bisa menapak dengan stabil, memiliki sandaran punggung, terdapat dukungan lumbar dan menyediakan footrest (Bridger, 2018).

b. Meja Kerja

Kriteria harus sesuai tinggi siku operator. Tinggi meja idealnya berada pada atau sedikit dibawah tinggi siku operator saat bekerja sehingga baru tetap rileks dan lengan bawah dapat berada pada posisi nyaman (Pheasant, 2002).

c. Monitor

Penempatan monitor yang sesuai dapat mengurangi kelelahan visual dan ketegangan otot leher. Kriteria dari posisi sejajar mata dan jarak 50-70 cm, bagian atas layar sejajar dengan tinggi mata pengguna, monitor ditempatkan di depan pengguna untuk menghindari rotasi leher yang berlebihan dan sudut pandang disesuaikan agar tidak menimbulkan silau (Standard & Preview, 1998).

d. Area Jangkauan

Kriteria peralatan sering digunakan ditempatkan pada zona jangkauan normal sehingga dapat mengurangi gerakan yang tidak diperlukan serta

meminimalkan beban biomekanika pada leher, bahu, punggung dan lengan (Pheasant, 2002).

3. Zona Jangkauan Kerja

Zona Jangkauan Kerja atau *work reach zone* yang merupakan area yang dapat dijangkau oleh tangan pekerja saat melakukan aktivitas kerja.

- a. *Normal Reach Area* : Area yang dapat dijangkau oleh tangan tanpa menggerakkan tubuh baik badan, membungkuk, memutar tubuh, atau meregangkan legan secara berlebihan (Bridger, 2018).
- b. *Maximum Reach Area* : Area yang dapat dijangkau dengan peregangan

Alat dan bahan yang penting dan sering digunakan diposisikan masuk kedalam daerah jangkauan primer, dimana daerah tersebut dapat dijangkau tanpa perlu membungkuk, memutar tubuh maupun meregang, sehingga area ini disebut sebagai zona jangkauan sekunder (*secondary reach zone*)(Bridger, 2018).

4. Dampak Workstation Tidak Ergonomis

Terdapat beberapa dampak dari workstation yang tidak ergonomis diantaranya dapat menyebabkan nyeri punggung, nyeri leher, *carpal tunnel syndrome*, kelelahan kerja, serta penurunan produktivitas akibat meningkatnya beban fisik dan gangguan muskuloskeletal (Bridger, 2018). Berdasarkan (Suarjana et al., 2022) menunjukkan workstation berbasis antropometri mampu mengurangi keluhan musculoskeletal dan meningkatkan kenyamanan kerja secara signifikan.

F. Variabilitas Populasi dan Desain Inklusif

Populasi manusia memiliki variasi dimensi tubuh yang tinggi. Variasi terjadi karena gender, umur, ras, kondisi fisik, disabilitas, dan budaya, karena itu desain harus mampu mengakomodasi sebanyak mungkin pengguna. Berdasarkan (Pheasant, 2002) tidak ada satu ukuran antropometri yang dapat mewakili seluruh populasi sehingga

perancangan harus mempertimbangkan distribusi data antropometri dan kelompok pengguna yang dituju.

Desain inklusif merupakan pendekatan desain yang memungkinkan produk digunakan oleh berbagai kelompok pengguna tanpa diskriminasi (Bridger, 2018). Tujuan desain inklusif diantaranya untuk aksesibilitas bagi seluruh pengguna, menciptakan kenyamanan bersifat universal, kesetaraan penggunaan, mengurangi hambatan kelompok pengguna tertentu dan memperluas cakupan pengguna suatu produk atau sistem.

Prinsip Desain Inklusif

Berdasarkan Center for Universal Design dan Mace (Spina, 2025) terdapat beberapa prinsip utama dalam desain inklusif yaitu:

- a. *Equitable Use* (Pengguna yang Setara) : dapat digunakan semua pengguna tanpa membedakan kemampuan fisik, usia, maupun kondisi lainnya.
- b. *Flexibility in Use* (Fleksibilitas Pengguna): Fleksibel terhadap variasi pengguna, desain mampu mengakomodasi berbagai preferensi dan kemampuan pengguna.
- c. *Simple and intuitive use* (sederhana dan mudah dipahami) : Desain mudah digunakan tanpa memerlukan pengalaman atau pelatihan khusus.
- d. *Low Physical Effort* (Upaya fisik minimum): Meminimalkan tenaga, dimana desain dapat digunakan secara efisien dengan tingkat kelelahan fisik yang rendah.
- e. *Size and Space* (ukuran dan ruang yang memadai) : Menyediakan ruang memadai cukup untuk akses, jangkauan, manipulasi, dan penggunaan oleh berbagai kelompok pengguna.

BAB 4

BIOMEKANIKA KERJA

Rozza Linda, M.T.
Universitas Ekasakti

A. Konsep Dasar Biomekanik

Biomekanika merupakan ilmu yang mempelajari penerapan prinsip-prinsip mekanika pada sistem biologis, khususnya tubuh manusia. Dalam bidang ergonomi, biomekanika digunakan untuk memahami bagaimana gaya, gerakan, dan beban kerja memengaruhi struktur tubuh seperti otot, tulang, sendi, tendon, dan ligamen selama melakukan aktivitas kerja. Melalui pendekatan biomekanika, perancang sistem kerja dapat mengevaluasi interaksi antara manusia dan pekerjaannya sehingga tercipta kondisi kerja yang aman, nyaman, dan produktif.

Biomekanika kerja berfokus pada analisis gerakan tubuh manusia saat melakukan tugas tertentu, termasuk mengangkat, mendorong, menarik, membawa, duduk, berdiri, maupun melakukan pekerjaan berulang. Hasil analisis biomekanika digunakan untuk mengurangi risiko cedera, meningkatkan efisiensi gerakan, serta membantu perancangan alat dan lingkungan kerja yang sesuai dengan kemampuan fisik pekerja.

Tujuan Biomekanika dalam Ergonomi

Penerapan biomekanika dalam ergonomi memiliki beberapa tujuan utama, yaitu:

1. **Mengurangi risiko cedera kerja**, terutama gangguan otot dan rangka (Musculoskeletal Disorders/MSDs).
2. **Meningkatkan efisiensi gerakan kerja** sehingga energi yang dikeluarkan pekerja lebih optimal.
3. **Menentukan batas kemampuan fisik manusia** dalam melakukan pekerjaan tertentu.

4. **Mendukung perancangan alat kerja ergonomis** yang sesuai dengan karakteristik pengguna.
5. **Meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja (K3)** melalui pengendalian beban kerja fisik.
6. **Meningkatkan produktivitas kerja** dengan meminimalkan kelelahan dan ketidaknyamanan.

Ruang Lingkup Biomekanika Kerja

Biomekanika kerja mencakup berbagai aspek yang berkaitan dengan interaksi antara tubuh manusia dan aktivitas kerja, antara lain:

a. Analisis Gerakan Tubuh

Analisis ini bertujuan untuk memahami pola gerakan yang dilakukan pekerja selama bekerja. Gerakan yang tidak alami atau terlalu sering dilakukan dapat meningkatkan risiko cedera.

b. Analisis Gaya dan Beban

Biomekanika mempelajari besarnya gaya yang diterima oleh bagian tubuh ketika melakukan pekerjaan tertentu, misalnya saat mengangkat barang atau menggunakan alat kerja.

c. Analisis Postur Kerja

Postur kerja yang tidak sesuai dapat menyebabkan ketegangan otot dan gangguan kesehatan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, evaluasi postur menjadi bagian penting dalam biomekanika kerja.

d. Analisis Keseimbangan dan Stabilitas

Kemampuan tubuh mempertahankan keseimbangan saat bekerja memengaruhi keselamatan dan efektivitas kerja.

Prinsip-Prinsip Dasar Biomekanika

Beberapa prinsip dasar biomekanika yang sering digunakan dalam analisis kerja adalah sebagai berikut.

a. Gaya (Force)

Gaya merupakan dorongan atau tarikan yang menyebabkan suatu benda bergerak atau berubah posisi. Dalam tubuh manusia, gaya dihasilkan oleh kontraksi otot untuk melakukan aktivitas tertentu.

Secara matematis:

$$F = m \times a$$

Keterangan:

- F = gaya (Newton)
- m = massa (kg)
- a = percepatan (m/s^2)

Semakin besar gaya yang diperlukan dalam pekerjaan, semakin besar pula beban yang diterima sistem muskuloskeletal.

b. Momen Gaya (Torque)

Momen gaya adalah kecenderungan suatu gaya untuk memutar benda terhadap titik tertentu.

$$M = F \times d$$

Keterangan:

- M = momen gaya (Nm)
- F = gaya (N)
- d = jarak gaya terhadap titik tumpu (m)

Dalam aktivitas mengangkat barang, semakin jauh posisi beban dari tubuh, semakin besar momen gaya yang harus ditahan oleh otot punggung.

c. Titik Berat (Center of Gravity)

Titik berat adalah titik tempat berat tubuh dianggap terkonsentrasi. Pada manusia yang berdiri tegak, titik berat umumnya berada di sekitar panggul.

Posisi titik berat memengaruhi stabilitas tubuh. Semakin dekat titik berat terhadap pusat keseimbangan, semakin stabil posisi pekerja.

d. Keseimbangan (Equilibrium)

Tubuh dikatakan berada dalam keadaan seimbang apabila jumlah gaya dan momen gaya yang bekerja sama dengan nol.

Keseimbangan penting untuk menjaga postur kerja yang aman dan mengurangi risiko jatuh atau cedera.

Sistem Muskuloskeletal dalam Biomekanika

Sistem muskuloskeletal merupakan komponen utama yang dianalisis dalam biomekanika kerja.

- a. Tulang (Skeleton): Tulang berfungsi sebagai rangka tubuh, pelindung organ, dan tempat melekatnya otot. Tulang juga berperan sebagai tuas dalam menghasilkan gerakan.
- b. Otot (Muscle): Otot menghasilkan gaya melalui kontraksi sehingga memungkinkan terjadinya gerakan tubuh. Jenis otot yang dominan dalam aktivitas kerja adalah otot rangka (skeletal muscle).
- c. Sendi (Joint): Sendi menghubungkan dua atau lebih tulang dan memungkinkan terjadinya gerakan tertentu.

Contoh:

- Sendi bahu → gerakan multidireksi.
- Sendi siku → gerakan fleksi dan ekstensi.
- Sendi lutut → gerakan menekuk dan meluruskan kaki.

- d. Ligamen dan Tendon

Ligamen menghubungkan tulang dengan tulang.

Tendon menghubungkan otot dengan tulang.

Kedua struktur ini berperan dalam menjaga stabilitas dan efisiensi gerakan tubuh.

Biomekanika Statis dan Dinamis

- a. Biomekanika Statis

Biomekanika statis mempelajari kondisi tubuh ketika tidak mengalami percepatan atau berada dalam posisi tetap.

Contoh:

- Berdiri dalam waktu lama.
- Duduk di depan komputer.
- Menahan beban pada posisi tertentu.

Masalah yang sering muncul pada kondisi statis adalah kelelahan otot akibat kontraksi yang berlangsung terus-menerus.

- b. Biomekanika Dinamis

Biomekanika dinamis mempelajari gerakan tubuh yang melibatkan perubahan posisi dan percepatan.

Contoh:

- Mengangkat barang.
- Berjalan.
- Mendorong troli.
- Mengoperasikan mesin.

Analisis biomekanika dinamis penting untuk mengetahui besarnya energi dan gaya yang diperlukan selama aktivitas kerja.

B. Sistem Otot dan Rangka Manusia

Sistem otot dan rangka manusia, yang sering disebut sebagai sistem muskuloskeletal, merupakan sistem yang berperan penting dalam mendukung berbagai aktivitas manusia, termasuk aktivitas kerja. Sistem ini terdiri atas tulang, otot, sendi, tendon, dan ligamen yang bekerja secara terpadu untuk menghasilkan gerakan, menjaga postur tubuh, serta memberikan stabilitas selama melakukan berbagai tugas. Dalam kajian ergonomi dan biomekanika kerja, pemahaman mengenai sistem muskuloskeletal sangat penting karena sebagian besar aktivitas kerja melibatkan interaksi langsung antara tubuh manusia dengan lingkungan kerjanya. Beban kerja yang berlebihan, gerakan berulang, dan postur kerja yang tidak ergonomis dapat memberikan tekanan pada sistem ini sehingga meningkatkan risiko terjadinya cedera dan gangguan kesehatan.

Sistem rangka berfungsi sebagai kerangka utama tubuh yang memberikan bentuk, dukungan, dan perlindungan terhadap organ-organ vital. Pada manusia dewasa terdapat sekitar 206 tulang yang tersusun membentuk kerangka tubuh. Selain berfungsi sebagai penopang tubuh, tulang juga berperan sebagai tempat melekatnya otot sehingga memungkinkan terjadinya gerakan. Tulang juga berfungsi melindungi organ-organ penting seperti otak yang dilindungi oleh tengkorak, serta jantung dan paru-paru yang dilindungi oleh tulang rusuk. Selain itu, tulang berperan dalam penyimpanan mineral, terutama kalsium dan fosfor, serta menjadi tempat pembentukan sel-sel darah melalui sumsum tulang.

Berdasarkan bentuknya, tulang dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, yaitu tulang panjang, tulang pendek, tulang pipih, dan

tulang tidak beraturan. Tulang panjang seperti femur dan humerus berfungsi sebagai pengungkit utama dalam menghasilkan gerakan. Tulang pendek seperti tulang pergelangan tangan dan kaki memberikan stabilitas dan dukungan terhadap tubuh. Tulang pipih seperti tulang rusuk dan tulang tengkorak berfungsi melindungi organ-organ vital, sedangkan tulang tidak beraturan seperti ruas tulang belakang memiliki bentuk yang kompleks dan mendukung berbagai fungsi struktural tubuh.

Salah satu bagian penting dari sistem rangka adalah tulang belakang yang tersusun atas sejumlah ruas tulang yang membentuk struktur utama penopang tubuh. Tulang belakang berfungsi menjaga postur tubuh, melindungi sumsum tulang belakang, serta memungkinkan berbagai gerakan seperti membungkuk, memutar, dan menekuk tubuh. Dalam lingkungan kerja, bagian punggung bawah atau daerah lumbar merupakan area yang paling sering mengalami gangguan akibat aktivitas pengangkatan beban, postur kerja yang salah, atau pekerjaan yang dilakukan secara berulang dalam waktu lama.

Hubungan antara tulang-tulang dalam tubuh terjadi melalui sendi. Sendi memungkinkan tubuh melakukan berbagai jenis gerakan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Beberapa jenis sendi yang penting dalam aktivitas kerja antara lain sendi engsel yang terdapat pada siku dan lutut, sendi peluru pada bahu dan pinggul, sendi putar pada leher, serta sendi geser pada pergelangan tangan. Kondisi sendi yang baik sangat penting untuk menjaga fleksibilitas dan efisiensi gerakan selama bekerja. Sebaliknya, tekanan yang berlebihan pada sendi dapat menyebabkan nyeri, peradangan, dan penurunan kemampuan kerja.

Selain sistem rangka, sistem otot merupakan komponen utama yang bertanggung jawab menghasilkan gaya dan gerakan tubuh. Otot bekerja dengan cara berkontraksi dan berelaksasi sehingga memungkinkan manusia melakukan berbagai aktivitas fisik. Secara umum, tubuh manusia memiliki lebih dari 600 otot yang menyusun hampir setengah dari total berat badan. Dalam konteks ergonomi, otot rangka merupakan jenis otot yang paling banyak diperhatikan karena berperan langsung dalam aktivitas kerja. Otot rangka melekat pada tulang melalui tendon dan dikendalikan secara sadar oleh sistem saraf

sehingga memungkinkan manusia melakukan gerakan yang terkoordinasi.

Ketika melakukan aktivitas kerja, otot bekerja secara berpasangan dalam mekanisme agonis dan antagonis. Otot agonis merupakan otot utama yang berkontraksi untuk menghasilkan gerakan, sedangkan otot antagonis berfungsi mengendalikan dan menyeimbangkan gerakan tersebut. Sebagai contoh, saat seseorang mengangkat benda menggunakan lengan, otot bisep berperan sebagai agonis yang berkontraksi untuk mengangkat beban, sementara otot trisep berfungsi sebagai antagonis yang membantu mengontrol gerakan. Kerja sama antara kedua kelompok otot ini memungkinkan gerakan tubuh berlangsung secara efisien dan aman.

Komponen lain yang tidak kalah penting dalam sistem muskuloskeletal adalah tendon dan ligamen. Tendon merupakan jaringan ikat yang menghubungkan otot dengan tulang dan berfungsi meneruskan gaya hasil kontraksi otot ke tulang sehingga menghasilkan gerakan. Sementara itu, ligamen adalah jaringan ikat yang menghubungkan tulang dengan tulang dan berfungsi menjaga stabilitas sendi. Cedera pada tendon dan ligamen sering terjadi akibat gerakan berulang, penggunaan gaya yang berlebihan, atau kecelakaan kerja yang melibatkan tekanan mendadak pada bagian tubuh tertentu.

Dalam aktivitas kerja, sistem otot dan rangka menerima berbagai jenis beban fisik yang berasal dari aktivitas mengangkat, mendorong, menarik, membawa, duduk, berdiri, maupun menggunakan peralatan kerja. Apabila beban yang diterima melebihi kapasitas fisik pekerja atau dilakukan dalam postur yang tidak tepat, maka dapat terjadi gangguan pada sistem muskuloskeletal. Gangguan tersebut dikenal sebagai Musculoskeletal Disorders (MSDs), yaitu keluhan atau cedera pada otot, tulang, sendi, tendon, ligamen, maupun saraf yang berkaitan dengan aktivitas kerja. Keluhan yang sering muncul meliputi nyeri punggung bawah, nyeri leher, nyeri bahu, carpal tunnel syndrome, dan berbagai gangguan lainnya yang dapat menurunkan produktivitas dan kualitas hidup pekerja.

Dalam ergonomi, pemahaman mengenai sistem otot dan rangka manusia menjadi landasan penting dalam merancang lingkungan kerja

yang sesuai dengan kemampuan fisik manusia. Informasi mengenai struktur dan fungsi sistem muskuloskeletal digunakan untuk menentukan batas aman pengangkatan beban, merancang alat kerja yang ergonomis, mengatur tata letak stasiun kerja, serta mengembangkan metode kerja yang lebih aman dan efisien. Dengan memperhatikan karakteristik sistem otot dan rangka manusia, risiko cedera dapat diminimalkan sehingga tercipta lingkungan kerja yang sehat, nyaman, aman, dan produktif. Oleh karena itu, sistem muskuloskeletal tidak hanya berperan dalam mendukung gerakan tubuh, tetapi juga menjadi salah satu aspek utama yang harus dipertimbangkan dalam perancangan sistem kerja yang ergonomis.

C. Analisis Gaya dan Momen dalam Aktivitas Kerja

Analisis gaya dan momen merupakan salah satu kajian utama dalam biomekanika kerja yang digunakan untuk memahami bagaimana tubuh manusia menerima dan merespons beban selama melakukan aktivitas kerja. Setiap aktivitas seperti mengangkat, membawa, mendorong, menarik, memindahkan barang, maupun mengoperasikan peralatan melibatkan berbagai gaya yang bekerja pada sistem otot dan rangka. Gaya-gaya tersebut akan menghasilkan momen atau torsi yang memengaruhi keseimbangan, stabilitas, dan tingkat beban yang diterima oleh otot, sendi, serta tulang. Melalui analisis gaya dan momen, dapat diketahui apakah suatu pekerjaan masih berada dalam batas kemampuan fisik manusia atau berpotensi menimbulkan kelelahan dan cedera muskuloskeletal.

Dalam biomekanika, gaya didefinisikan sebagai dorongan atau tarikan yang dapat menyebabkan perubahan posisi, arah, atau kecepatan suatu benda. Pada tubuh manusia, gaya dapat berasal dari kontraksi otot, berat tubuh, berat benda yang diangkat, gaya reaksi dari permukaan kerja, maupun interaksi dengan alat dan mesin. Secara fisika, gaya dinyatakan dengan persamaan $F = m \times a$, di mana gaya merupakan hasil perkalian antara massa dan percepatan. Pada sebagian besar aktivitas kerja statis, percepatan relatif kecil sehingga gaya gravitasi akibat berat tubuh dan beban menjadi faktor yang paling dominan. Semakin besar

massa benda yang ditangani, semakin besar pula gaya yang harus dihasilkan oleh otot untuk mengendalikan atau memindahkan beban tersebut.

Tubuh manusia selama bekerja menerima berbagai jenis gaya yang saling berinteraksi. Gaya otot dihasilkan oleh kontraksi otot untuk mempertahankan postur atau menghasilkan gerakan tertentu. Selain itu terdapat gaya berat yang berasal dari pengaruh gravitasi terhadap massa tubuh maupun benda kerja. Gaya reaksi muncul sebagai respons dari permukaan tempat tubuh bertumpu, misalnya gaya yang diberikan lantai terhadap kaki ketika seseorang berdiri atau berjalan. Sementara itu, gaya gesek terjadi ketika dua permukaan saling bersentuhan dan berfungsi membantu atau menghambat pergerakan, seperti gesekan antara alas kaki dengan lantai atau antara roda troli dengan permukaan jalan. Seluruh gaya tersebut bekerja secara bersamaan dan menentukan besarnya beban biomekanis yang diterima pekerja.

Selain gaya, konsep penting lainnya adalah momen gaya atau torque. Momen gaya merupakan kecenderungan suatu gaya untuk menghasilkan gerakan rotasi terhadap suatu titik tumpu. Dalam tubuh manusia, sendi berfungsi sebagai titik tumpu, sedangkan otot menghasilkan gaya yang menyebabkan terjadinya gerakan. Besarnya momen ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu besar gaya dan jarak gaya terhadap titik tumpu, yang secara matematis dinyatakan dengan persamaan $M = F \times d$. Semakin besar gaya yang bekerja atau semakin jauh posisi beban dari tubuh, semakin besar pula momen yang harus ditahan oleh otot dan sendi. Oleh karena itu, posisi beban sangat memengaruhi tingkat tekanan yang diterima sistem muskuloskeletal.

Penerapan konsep momen dapat dilihat pada aktivitas pengangkatan beban. Ketika seorang pekerja mengangkat suatu benda, tulang belakang bagian bawah sering berperan sebagai titik tumpu utama. Jika beban diangkat dalam posisi jauh dari tubuh, maka jarak antara beban dan titik tumpu akan meningkat sehingga menghasilkan momen yang lebih besar. Akibatnya, otot punggung harus bekerja lebih keras untuk menjaga keseimbangan tubuh. Kondisi ini menjelaskan mengapa teknik pengangkatan yang benar selalu menekankan pentingnya menjaga beban sedekat mungkin dengan tubuh. Dengan

mengurangi jarak beban terhadap tubuh, momen yang dihasilkan menjadi lebih kecil sehingga tekanan pada tulang belakang dan otot punggung dapat diminimalkan.

Prinsip kerja gaya dan momen pada tubuh manusia dapat dijelaskan melalui konsep tuas atau lever system. Sistem gerak manusia pada dasarnya bekerja seperti mekanisme tuas yang terdiri atas titik tumpu, gaya kuasa, dan beban. Sebagian besar gerakan tubuh menggunakan sistem tuas kelas III, yaitu kondisi ketika gaya otot berada di antara titik tumpu dan beban. Sistem ini memungkinkan tubuh menghasilkan gerakan yang cepat dan fleksibel meskipun membutuhkan gaya otot yang relatif besar. Contohnya adalah gerakan lengan bawah ketika mengangkat benda, di mana sendi siku berfungsi sebagai titik tumpu, otot bicep menghasilkan gaya, dan beban berada pada tangan.

Analisis gaya dan momen juga berkaitan erat dengan postur kerja. Postur yang ergonomis memungkinkan distribusi gaya yang lebih merata pada tubuh sehingga mengurangi tekanan pada otot dan sendi. Sebaliknya, postur yang tidak ergonomis, seperti membungkuk, memutar badan, menjangkau terlalu jauh, atau bekerja dengan tangan di atas bahu dalam waktu lama, dapat meningkatkan momen gaya secara signifikan. Peningkatan momen ini menyebabkan otot harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan keseimbangan tubuh sehingga mempercepat terjadinya kelelahan dan meningkatkan risiko cedera muskuloskeletal. Oleh karena itu, perancangan stasiun kerja yang sesuai dengan prinsip ergonomi sangat penting untuk menjaga postur kerja tetap berada pada posisi netral.

Aktivitas mendorong dan menarik juga merupakan bagian penting dalam analisis biomekanika kerja. Besarnya gaya yang diperlukan untuk mendorong atau menarik suatu beban dipengaruhi oleh berat beban, kondisi permukaan, koefisien gesekan, serta desain alat bantu yang digunakan. Dalam banyak kasus, aktivitas mendorong lebih disarankan dibandingkan menarik karena memungkinkan pekerja memanfaatkan berat tubuhnya untuk membantu menghasilkan gaya. Selain itu, aktivitas mendorong umumnya menghasilkan postur kerja yang lebih stabil dan mengurangi tekanan pada punggung bawah dibandingkan aktivitas menarik.

Salah satu bagian tubuh yang paling rentan terhadap pengaruh gaya dan momen adalah tulang belakang, khususnya daerah lumbar atau punggung bawah. Tulang belakang dapat menerima berbagai jenis beban mekanis, seperti gaya kompresi, gaya tarik, gaya geser, dan gaya puntir. Kombinasi antara gaya kompresi yang tinggi dan gerakan memutar tubuh saat mengangkat beban merupakan salah satu penyebab utama terjadinya cedera punggung bawah pada pekerja. Oleh karena itu, aktivitas kerja yang melibatkan pengangkatan manual perlu dirancang sedemikian rupa agar tekanan pada tulang belakang dapat diminimalkan.

Dalam praktik ergonomi, analisis gaya dan momen digunakan untuk mengevaluasi keamanan aktivitas kerja, menentukan batas aman pengangkatan beban, merancang alat bantu material handling, serta mengembangkan stasiun kerja yang sesuai dengan kemampuan fisik pekerja. Hasil analisis ini juga menjadi dasar dalam merancang prosedur kerja yang lebih aman dan efisien. Berbagai strategi dapat diterapkan untuk mengurangi momen dan beban kerja fisik, antara lain menjaga beban tetap dekat dengan tubuh, menggunakan alat bantu angkat, mengurangi berat beban, menghindari gerakan memutar tubuh saat mengangkat, serta menyesuaikan tinggi area kerja dengan karakteristik antropometri pekerja.

Secara keseluruhan, analisis gaya dan momen merupakan elemen penting dalam biomekanika kerja yang membantu menjelaskan hubungan antara aktivitas kerja dan respons tubuh manusia terhadap beban fisik. Pemahaman yang baik mengenai konsep ini memungkinkan perancang sistem kerja untuk mengidentifikasi potensi risiko cedera, mengurangi tekanan pada sistem muskuloskeletal, serta menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, nyaman, dan produktif. Dengan menerapkan prinsip-prinsip biomekanika dan ergonomi secara tepat, organisasi dapat meningkatkan kesejahteraan pekerja sekaligus mendukung pencapaian produktivitas kerja yang optimal.

D. Risiko Cedera Muskuloskeletal (MSDs)

Cedera atau gangguan muskuloskeletal merupakan salah satu masalah kesehatan kerja yang paling sering ditemukan di berbagai sektor industri, perkantoran, konstruksi, kesehatan, manufaktur, maupun jasa. Gangguan ini dapat memengaruhi otot, tulang, sendi, tendon, ligamen, saraf, dan jaringan pendukung lainnya akibat aktivitas kerja yang tidak sesuai dengan kemampuan fisik manusia.

Dalam ergonomi, gangguan muskuloskeletal dikenal dengan istilah **Muskuloskeletal Disorders (MSDs)**. MSDs berkembang secara bertahap akibat paparan faktor risiko dalam jangka waktu tertentu, meskipun pada beberapa kasus dapat terjadi secara tiba-tiba akibat cedera akut. Dampak MSDs tidak hanya menurunkan kesehatan pekerja, tetapi juga memengaruhi produktivitas, kualitas kerja, dan meningkatkan biaya pengobatan serta kompensasi kerja.

Pemahaman mengenai faktor penyebab, gejala, dan upaya pencegahan MSDs sangat penting untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan produktif.

Muskuloskeletal Disorders (MSDs) adalah gangguan atau cedera yang terjadi pada sistem muskuloskeletal akibat aktivitas kerja yang memberikan tekanan berlebihan pada otot, tulang, sendi, tendon, ligamen, atau saraf.

MSDs dapat muncul karena:

- Beban kerja fisik yang terlalu berat.
- Gerakan berulang secara terus-menerus.
- Postur kerja yang tidak ergonomis.
- Getaran dari peralatan kerja.
- Durasi kerja yang panjang tanpa istirahat yang cukup.

Gangguan ini dapat bersifat ringan hingga berat, mulai dari rasa tidak nyaman hingga kehilangan fungsi anggota tubuh tertentu.

Cedera muskuloskeletal memiliki beberapa karakteristik umum, yaitu:

1. Berkembang secara bertahap akibat paparan berulang.
2. Menyebabkan rasa nyeri, pegal, atau ketidaknyamanan.
3. Mengurangi kemampuan kerja pekerja.

4. Dapat menjadi kronis jika tidak ditangani.
 5. Umumnya berhubungan dengan faktor ergonomi di tempat kerja.
- MSDs sering kali diawali dengan gejala ringan yang diabaikan oleh pekerja sehingga berkembang menjadi gangguan yang lebih serius.

Faktor Risiko Cedera Muskuloskeletal

a. Postur Kerja yang Tidak Ergonomis

Postur kerja yang menyimpang dari posisi alami tubuh menyebabkan peningkatan tekanan pada otot dan sendi.

Contoh:

- Membungkuk terlalu lama.
- Menundukkan leher secara terus-menerus.
- Mengangkat tangan di atas bahu.
- Duduk tanpa dukungan punggung yang baik.

Postur kerja yang buruk meningkatkan beban biomekanis pada sistem muskuloskeletal.

b. Pengangkatan Beban Berlebih

Mengangkat, membawa, mendorong, atau menarik beban yang melebihi kapasitas fisik pekerja dapat menyebabkan cedera pada punggung, bahu, dan lutut.

Contoh:

- Mengangkat karung secara manual.
- Memindahkan barang berat tanpa alat bantu.
- Mengangkat beban dengan posisi membungkuk.

c. Gerakan Berulang (Repetitive Motion)

Aktivitas yang dilakukan secara berulang dalam frekuensi tinggi dapat menyebabkan kelelahan otot dan peradangan jaringan.

Contoh:

- Mengetik di komputer.
- Pengemasan produk.
- Perakitan komponen elektronik.
- Pengoperasian mesin produksi.

d. Durasi Kerja yang Lama

Paparan aktivitas fisik dalam waktu lama tanpa jeda istirahat dapat meningkatkan risiko kelelahan otot dan cedera.

Contoh:

- Berdiri selama berjam-jam.
- Duduk terus-menerus di depan komputer.
- Pekerjaan shift yang panjang.

e. Getaran (Vibration)

Paparan getaran dari peralatan kerja dapat merusak jaringan otot, saraf, dan pembuluh darah.

Contoh:

- Bor listrik.
- Mesin pemotong.
- Kendaraan berat.
- Mesin konstruksi.

f. Gaya Berlebih (Forceful Exertion)

Pekerjaan yang memerlukan tenaga besar dalam waktu tertentu dapat meningkatkan tekanan pada sistem muskuloskeletal.

Contoh:

- Mengencangkan baut secara manual.
- Mengangkat benda berat secara berulang.
- Menarik troli dengan muatan berlebih.

g. Faktor Lingkungan Kerja

Lingkungan kerja yang kurang mendukung juga dapat meningkatkan risiko MSDs.

Contoh:

- Ruang kerja sempit.
- Pencahayaan kurang memadai.
- Temperatur ekstrem.
- Permukaan kerja yang tidak sesuai.

Bagian Tubuh yang Paling Sering Mengalami MSDs

a. Leher (Neck)

Keluhan:

- Nyeri leher.
- Kekakuan otot.
- Kesulitan menggerakkan kepala.

Penyebab utama:

- Posisi kepala menunduk terlalu lama.
- Penggunaan komputer yang tidak ergonomis.

b. Bahu (Shoulder)

Keluhan:

- Nyeri bahu.
- Penurunan kekuatan lengan.
- Keterbatasan gerak.

Penyebab:

- Mengangkat tangan di atas bahu.
- Mengangkat beban secara berulang.

c. Punggung Bawah (Lower Back)

Merupakan bagian tubuh yang paling sering mengalami gangguan muskuloskeletal.

Keluhan:

- Nyeri punggung bawah.
- Kesulitan berdiri atau berjalan.
- Ketegangan otot lumbar.

Penyebab:

- Mengangkat beban berat.
- Membungkuk terlalu lama.
- Postur duduk yang salah.

d. Pergelangan Tangan

Keluhan:

- Kesemutan.
- Nyeri saat menggenggam.

- Kelemahan tangan.

Penyebab:

- Mengetik secara terus-menerus.
- Penggunaan alat kerja yang tidak sesuai.

e. Lutut

Keluhan:

- Nyeri saat berjalan.
- Pembengkakan.
- Kekakuan sendi.

Penyebab:

- Jongkok dalam waktu lama.
- Naik turun tangga berulang.

Jenis-Jenis Gangguan Muskuloskeletal yang Umum

a. Low Back Pain (LBP)

Low Back Pain adalah nyeri pada bagian punggung bawah yang sering dialami pekerja yang melakukan aktivitas pengangkatan manual.

Gejala:

- Nyeri punggung.
- Kaku pada pinggang.
- Sulit membungkuk.

b. Carpal Tunnel Syndrome (CTS)

Gangguan akibat tekanan pada saraf median di pergelangan tangan.

Gejala:

- Kesemutan pada jari.
- Mati rasa.
- Kelemahan genggaman tangan.

Umumnya terjadi pada pekerja komputer dan operator produksi.

c. Tendinitis

Peradangan pada tendon akibat penggunaan berlebihan.

Gejala:

- Nyeri saat bergerak.
- Pembengkakan.
- Penurunan fungsi otot.

d. Bursitis

Peradangan pada kantong cairan (bursa) yang melindungi sendi.

Gejala:

- Nyeri sendi.
- Pembengkakan.
- Keterbatasan gerak.

e. Epicondylitis (Tennis Elbow)

Cedera pada tendon siku akibat gerakan berulang.

Gejala:

- Nyeri siku.
- Kelemahan lengan bawah.
- Kesulitan menggenggam benda.

Dampak MSDs terhadap Pekerja dan Organisasi

Dampak terhadap Pekerja

1. Menurunnya kualitas hidup.
2. Rasa nyeri berkepanjangan.
3. Penurunan kemampuan fisik.
4. Gangguan aktivitas sehari-hari.
5. Risiko kecacatan permanen pada kasus berat.

Dampak terhadap Organisasi

1. Penurunan produktivitas.
2. Peningkatan absensi kerja.
3. Meningkatnya biaya kesehatan.
4. Tingginya angka kecelakaan kerja.
5. Menurunnya kualitas hasil kerja.

Identifikasi Risiko MSDs di Tempat Kerja

Beberapa metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi risiko MSDs antara lain:

- a. Nordic Body Map (NBM)
Digunakan untuk mengetahui bagian tubuh yang mengalami keluhan berdasarkan persepsi pekerja.
- b. Rapid Entire Body Assessment (REBA)
Digunakan untuk mengevaluasi risiko berdasarkan postur seluruh tubuh.
- c. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)
Digunakan untuk menilai risiko pada leher, bahu, lengan, dan pergelangan tangan.
- d. Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)
Digunakan untuk mengidentifikasi postur kerja yang berisiko.

Metode-metode tersebut membantu perusahaan dalam melakukan tindakan perbaikan ergonomi secara sistematis.

Strategi Pencegahan Cedera Muskuloskeletal

- a. Perbaikan Desain Tempat Kerja
Melakukan penyesuaian tinggi meja, kursi, alat kerja, dan tata letak fasilitas sesuai prinsip ergonomi.
- b. Penggunaan Alat Bantu

Contoh:

- Hand pallet.
- Forklift.
- Conveyor.
- Troli.
- c. Pelatihan Ergonomi
Memberikan edukasi kepada pekerja mengenai:
 - Teknik mengangkat yang benar.
 - Postur kerja yang aman.
 - Penggunaan alat kerja yang tepat.

- d. Pengaturan Waktu Istirahat

Pemberian waktu istirahat yang cukup dapat mengurangi kelelahan otot.

e. Rotasi Pekerjaan

Memindahkan pekerja ke tugas yang berbeda untuk mengurangi paparan gerakan berulang.

f. Program Peregangan (Stretching)

Peregangan sebelum dan selama bekerja membantu meningkatkan fleksibilitas otot dan mengurangi risiko cedera.

Musculoskeletal Disorders (MSDs) merupakan gangguan pada sistem otot, tulang, sendi, tendon, ligamen, dan saraf yang disebabkan atau diperburuk oleh aktivitas kerja. Faktor risiko utama meliputi postur kerja yang tidak ergonomis, pengangkatan beban berlebih, gerakan berulang, durasi kerja yang panjang, getaran, dan penggunaan gaya berlebihan. Bagian tubuh yang paling sering mengalami MSDs adalah leher, bahu, punggung bawah, pergelangan tangan, dan lutut. Dampak MSDs dapat dirasakan oleh pekerja maupun organisasi melalui penurunan kesehatan, produktivitas, dan peningkatan biaya operasional. Oleh karena itu, penerapan ergonomi, penggunaan alat bantu, pelatihan kerja yang benar, serta evaluasi risiko secara berkala menjadi langkah penting dalam mencegah terjadinya cedera muskuloskeletal di tempat kerja.

E. Evaluasi Postur Kerja

Evaluasi postur kerja merupakan proses sistematis untuk menilai posisi tubuh pekerja selama melakukan aktivitas kerja guna mengidentifikasi tingkat risiko yang dapat memengaruhi kesehatan, keselamatan, dan produktivitas kerja. Dalam ergonomi, postur kerja menjadi salah satu faktor penting karena hampir seluruh aktivitas kerja melibatkan penggunaan anggota tubuh dalam posisi tertentu. Postur kerja yang baik memungkinkan pekerjaan dilakukan secara efisien dengan tekanan minimal pada sistem otot dan rangka, sedangkan postur kerja yang tidak ergonomis dapat meningkatkan risiko kelelahan, ketidaknyamanan, serta gangguan muskuloskeletal (Musculoskeletal Disorders/MSDs). Oleh karena itu, evaluasi postur kerja diperlukan untuk mengetahui sejauh mana aktivitas kerja yang dilakukan sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan fisik manusia.

Pentingnya evaluasi postur kerja semakin meningkat seiring dengan berkembangnya berbagai jenis pekerjaan yang menuntut aktivitas fisik maupun pekerjaan yang dilakukan secara statis dalam jangka waktu lama. Pekerjaan yang melibatkan pengangkatan beban, gerakan berulang, penggunaan komputer, maupun pengoperasian mesin dapat menimbulkan tekanan berlebih pada bagian tubuh tertentu apabila dilakukan dengan postur yang kurang tepat. Kondisi tersebut dapat menyebabkan munculnya keluhan seperti nyeri leher, nyeri bahu, sakit punggung, kesemutan pada tangan, hingga gangguan muskuloskeletal kronis. Melalui evaluasi postur kerja, organisasi dapat mengidentifikasi potensi risiko sejak dini dan mengambil tindakan perbaikan sebelum terjadi cedera yang lebih serius.

Dalam proses evaluasi postur kerja, beberapa bagian tubuh menjadi fokus utama pengamatan. Posisi leher perlu diperhatikan karena gerakan menunduk, mendongak, atau memutar leher secara berlebihan dapat menyebabkan ketegangan otot dan nyeri pada area leher serta bahu. Posisi punggung juga memiliki peran penting karena postur membungkuk atau memutar tubuh dalam waktu lama dapat meningkatkan tekanan pada tulang belakang, terutama pada daerah punggung bawah. Selain itu, posisi bahu, lengan, dan pergelangan tangan harus dievaluasi karena penggunaan anggota tubuh bagian atas secara terus-menerus dalam posisi yang tidak alami dapat menyebabkan gangguan pada otot, tendon, dan saraf. Posisi kaki dan lutut juga perlu diperhatikan untuk memastikan tubuh memiliki keseimbangan dan stabilitas yang baik selama bekerja. Di samping faktor postur, besarnya beban yang ditangani, frekuensi gerakan, dan durasi pekerjaan turut menjadi aspek penting dalam penilaian risiko ergonomi.

Postur kerja yang ergonomis umumnya ditandai dengan posisi tubuh yang mendekati kondisi netral. Pada posisi ini, leher berada dalam keadaan tegak dan sejajar dengan tubuh, bahu dalam keadaan rileks, punggung mempertahankan lengkungan alaminya, siku membentuk sudut yang nyaman, serta pergelangan tangan berada pada posisi lurus tanpa tekukan berlebihan. Kaki juga harus bertumpu dengan baik pada lantai atau pijakan sehingga tubuh tetap stabil. Posisi netral memungkinkan distribusi beban yang lebih merata pada sistem

muskuloskeletal sehingga mengurangi tekanan pada otot dan sendi. Sebaliknya, postur yang menyimpang dari posisi netral akan meningkatkan kebutuhan energi otot untuk mempertahankan posisi tubuh dan dapat mempercepat timbulnya kelelahan.

Postur kerja yang tidak ergonomis dapat menimbulkan berbagai dampak negatif baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam jangka pendek, pekerja dapat mengalami rasa pegal, nyeri otot, ketegangan pada leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi akibat ketidaknyamanan fisik. Jika kondisi tersebut berlangsung terus-menerus, maka dapat berkembang menjadi gangguan yang lebih serius seperti Low Back Pain (LBP), Carpal Tunnel Syndrome (CTS), tendinitis, bursitis, dan berbagai jenis gangguan muskuloskeletal lainnya. Dampak ini tidak hanya merugikan pekerja dari sisi kesehatan, tetapi juga dapat menurunkan produktivitas, meningkatkan angka absensi, dan menambah biaya operasional perusahaan.

Untuk mengidentifikasi tingkat risiko postur kerja, berbagai metode evaluasi telah dikembangkan dalam bidang ergonomi. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Rapid Entire Body Assessment (REBA), yaitu metode yang mengevaluasi postur seluruh tubuh dengan mempertimbangkan posisi leher, punggung, kaki, lengan, serta beban kerja yang ditangani. Selain itu, terdapat Rapid Upper Limb Assessment (RULA) yang lebih difokuskan pada analisis bagian tubuh atas seperti leher, bahu, lengan, dan pergelangan tangan. Metode lainnya adalah Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) yang digunakan untuk menganalisis kombinasi postur tubuh dan beban kerja dalam aktivitas industri. Sementara itu, Nordic Body Map (NBM) merupakan metode berbasis kuesioner yang digunakan untuk mengidentifikasi keluhan pada berbagai bagian tubuh berdasarkan persepsi pekerja. Masing-masing metode memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri sesuai dengan jenis pekerjaan yang dianalisis.

Pelaksanaan evaluasi postur kerja biasanya dimulai dengan mengidentifikasi aktivitas kerja yang akan diamati, kemudian dilanjutkan dengan observasi langsung terhadap pekerja saat melakukan tugasnya. Data dapat dikumpulkan melalui pengamatan visual, dokumentasi foto atau video, serta pengukuran sudut tubuh menggunakan alat bantu

tertentu. Selanjutnya, data tersebut dianalisis menggunakan metode penilaian yang sesuai untuk menentukan tingkat risiko ergonomi. Hasil evaluasi kemudian digunakan sebagai dasar dalam menyusun rekomendasi perbaikan yang bertujuan mengurangi risiko cedera dan meningkatkan kenyamanan kerja.

Tindakan perbaikan yang dapat dilakukan berdasarkan hasil evaluasi postur kerja meliputi penyesuaian desain stasiun kerja, pengaturan tata letak peralatan, penggunaan alat bantu kerja, serta pelatihan mengenai teknik kerja yang benar. Penyesuaian tinggi meja, kursi, monitor komputer, maupun peralatan kerja lainnya dapat membantu pekerja mempertahankan postur yang lebih ergonomis. Selain itu, penerapan rotasi pekerjaan, pemberian waktu istirahat yang cukup, dan program peregangan otot secara berkala juga dapat membantu mengurangi kelelahan serta mencegah terjadinya gangguan muskuloskeletal.

Secara keseluruhan, evaluasi postur kerja merupakan bagian penting dari penerapan ergonomi di tempat kerja. Melalui evaluasi yang tepat, organisasi dapat mengidentifikasi faktor-faktor risiko yang berpotensi menimbulkan cedera, melakukan perbaikan terhadap sistem kerja, serta menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan nyaman. Dengan demikian, evaluasi postur kerja tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan kesehatan dan keselamatan pekerja, tetapi juga mendukung peningkatan produktivitas, kualitas kerja, dan keberlanjutan operasional organisasi.

BAB 5

FISIOLOGI KERJA DAN BEBAN KERJA

Saputra, S.T., M.T.

Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang

A. Pendahuluan

Fisiologi kerja merupakan cabang ilmu yang mengkaji respons tubuh manusia terhadap tuntutan fisik yang timbul dalam lingkungan kerja. Dalam disiplin Teknik Industri khususnya pada kajian ergonomi dan perancangan sistem kerja, pemahaman terhadap fisiologi kerja menjadi landasan utama dalam merancang pekerjaan, stasiun kerja, dan jadwal kerja yang sesuai dengan kemampuan serta keterbatasan tubuh manusia (Iridiastadi & Yassierli, 2017). Tanpa pemahaman ini, rancangan sistem kerja berisiko menciptakan kondisi yang melampaui batas kemampuan pekerja, sehingga memicu kelelahan dini, cedera, dan penurunan produktivitas jangka panjang.

Dalam konteks industri manufaktur, konstruksi, pertanian, dan sektor jasa yang melibatkan aktivitas fisik intensif, konsep beban kerja fisik menjadi sangat kritis. Pekerja yang menanggung beban kerja melebihi kapasitas fisiologisnya tidak hanya mengalami penurunan performa, tetapi juga rentan terhadap penyakit akibat kerja seperti *musculoskeletal disorders* (MSDs), kelelahan kronis, dan gangguan kardiovaskular (Tarwaka, 2021). Oleh karena itu, pengukuran dan pengendalian beban kerja berbasis data fisiologis merupakan bagian integral dari program Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di industri.

Data terkini menunjukkan bahwa prevalensi *musculoskeletal disorders* pada pekerja industri di Indonesia masih sangat tinggi. Survei yang dilakukan oleh Kemenaker RI (2022) mencatat bahwa sekitar 47% pekerja di sektor manufaktur melaporkan keluhan muskuloskeletal dalam 12 bulan terakhir. Kondisi ini sangat erat kaitannya dengan ketidaksesuaian antara beban kerja yang ditanggung pekerja dengan

kapasitas fisiologis individu yang bersangkutan. Intervensi ergonomi berbasis pemahaman fisiologi kerja terbukti secara ilmiah mampu mengurangi prevalensi keluhan tersebut secara signifikan (Handayani & Suhardi, 2020).

B. Sistem Energi Manusia

Setiap pekerjaan fisik memerlukan energi. Pada tingkat seluler, energi yang langsung dimanfaatkan oleh otot rangka untuk berkontraksi adalah adenosine triphosphate (ATP). Tubuh manusia tidak menyimpan ATP dalam jumlah besar; oleh karena itu, terdapat tiga sistem metabolik yang bekerja secara berkesinambungan untuk mensintesis ATP sesuai tuntutan aktivitas: sistem fosfagen, sistem glikolisis anaerobik, dan sistem oksidatif aerobik (Iridiastadi & Yassierli, 2017). Proporsi kontribusi masing-masing sistem bergantung pada intensitas dan durasi kerja.

1. Sistem Fosfagen (ATP-PC)

Sistem fosfagen merupakan sistem yang paling cepat merespons kebutuhan energi mendadak. Sistem ini menggunakan ATP yang tersimpan langsung dalam sel otot dan *creatine phosphate* (CP) untuk meresintesis ATP tanpa memerlukan oksigen maupun melalui proses kimiawi yang panjang. Kapasitasnya sangat terbatas, hanya mampu menopang aktivitas intensitas maksimal selama kurang dari 10 detik. Dalam konteks industri, sistem ini aktif pada pekerjaan yang membutuhkan tenaga ledak sesaat, misalnya mengangkat beban berat secara tiba-tiba atau mendorong gerobak bermuatan di permukaan menanjak (Tarwaka, 2021).

Implikasi praktis sistem fosfagen bagi perancangan kerja adalah pentingnya memberikan jeda pemulihan antara satu siklus angkat dengan siklus berikutnya. Pemulihan CP berlangsung sekitar 3 hingga 5 menit. Jika interval antar-aktivitas terlalu pendek, CP tidak sempat diresintesis secara penuh sehingga performa pekerja menurun secara progresif dan risiko cedera meningkat. Perancang sistem kerja perlu memperhitungkan waktu pemulihan ini dalam penetapan work-rest ratio (Pandiangan dkk., 2022).

2. Sistem Glikolisis Anaerobik

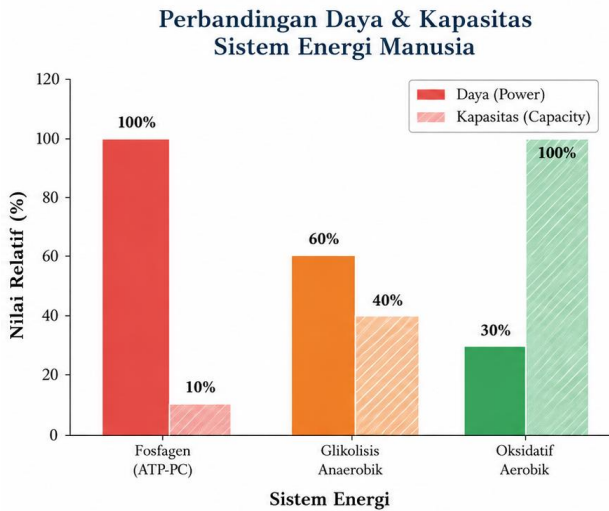
Apabila intensitas kerja melebihi kemampuan sistem fosfagen namun oksigen yang tersedia belum mencukupi, tubuh mengaktifkan glikolisis anaerobik. Dalam proses ini, glukosa atau glikogen otot dipecah menjadi piruvat yang kemudian dikonversi menjadi asam laktat. Setiap molekul glukosa menghasilkan 2 molekul ATP, jauh lebih sedikit dibandingkan jalur aerobik, namun berlangsung sangat cepat. Sistem ini mampu menopang aktivitas intensitas tinggi selama sekitar 30 detik hingga 2 menit (Adiputra dkk., 2021).

Akumulasi asam laktat di dalam sel otot menyebabkan turunnya pH intraseluler, yang dirasakan pekerja sebagai sensasi panas dan nyeri pada otot serta penurunan kekuatan kontraksi. Pemulihan aktif berupa berjalan pelan atau peregangan ringan terbukti lebih efektif membersihkan laktat dibandingkan istirahat diam total. Penelitian terbaru oleh Dewi dkk. (2022) mengkonfirmasi bahwa pemulihan aktif dapat mempercepat eliminasi laktat hingga 40% dibandingkan pemulihan pasif.

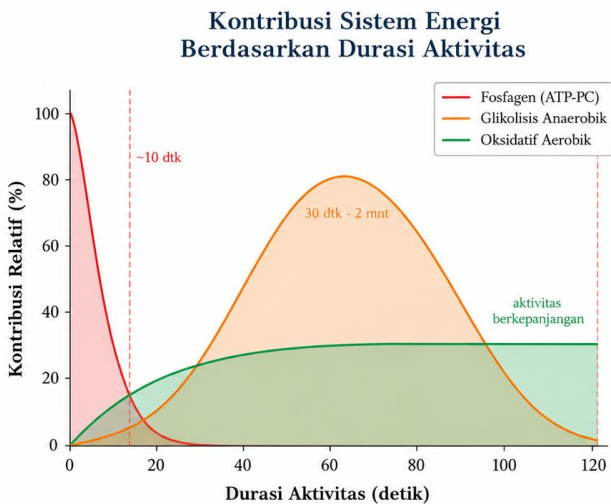
3. Sistem Oksidatif Aerobik

Sistem oksidatif aerobik merupakan tulang punggung metabolisme energi untuk pekerjaan berdurasi panjang. Sistem ini melibatkan tiga rangkaian proses: glikolisis aerobik, siklus asam sitrat (siklus Krebs), dan rantai transpor elektron di mitokondria. Hasilnya, satu molekul glukosa dapat menghasilkan hingga 36–38 molekul ATP. Selain glukosa, lemak dan protein juga dapat dioksidasi, menjadikan sistem ini sangat fleksibel untuk berbagai tipe pekerjaan (Tarwaka, 2021).

Kapasitas aerobik maksimal seseorang dinyatakan dalam VO_{2max} . Para ahli ergonomi menetapkan bahwa untuk pekerjaan yang dilakukan secara terus-menerus selama satu shift penuh (8 jam), beban kerja sebaiknya tidak melebihi 30–33% VO_{2max} agar kelelahan akumulatif dapat dicegah. Nilai VO_{2max} rata-rata pekerja dewasa sehat di Indonesia berkisar antara 30–45 mL/kg/menit, dengan variasi yang dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin, tingkat aktivitas fisik, dan status gizi (Rahmawati & Pratiwi, 2021).



Gambar 5. 1 Perbandingan daya dan kapasitas ketiga sistem energi manusia



Gambar 5. 2 Kontribusi Sistem Energi Berdasarkan Durasi Aktivitas

4. Integrasi Sistem Energi dalam Konteks Kerja Industri

Dalam praktik industri, ketiga sistem energi tidak bekerja secara terpisah, melainkan berintegrasi secara kontinu. Transisi antar-sistem terjadi secara halus bergantung pada intensitas dan durasi pekerjaan.

Tabel 5. 1 Karakteristik dan implikasinya ketiga sistem energi

Karakteristik	Fosfagen	Anaerobik	Aerobik
Kecepatan Aktivasi	Sangat Cepat (< 1 dtk)	Cepat (1–5 dtk)	Lambat (> 1 menit)
Durasi Puncak	< 10 detik	30 dtk – 2 mnt	> 2 menit (tak terbatas)
Produksi ATP	2 ATP/CP	2 ATP/glukosa	36–38 ATP/glukosa
Produk Sampingan	Minimal	Asam Laktat	CO ₂ + H ₂ O
Waktu Pemulihan	3–5 menit	20–60 menit	24–48 jam (glikogen)
Contoh Pekerjaan	Angkat beban berat sesaat, gerakan eksplosif	MMH berulang intens, sprint jarak pendek	Kerja lini produksi 8 jam, operator mesin berdiri

C. Beban Kerja Fisik

Beban kerja fisik (physical workload) didefinisikan sebagai besaran tuntutan fisiologis yang dibebankan kepada pekerja selama melakukan aktivitas kerja. Dalam Teknik Industri, kuantifikasi beban kerja fisik menjadi dasar penetapan standar kerja, penentuan kapasitas produksi, perancangan sistem kompensasi, dan evaluasi risiko kesehatan kerja (Wignjosoebroto, 2019). Beban kerja tidak semata-mata ditentukan oleh karakteristik pekerjaan, tetapi juga oleh kapasitas individu pekerja, sehingga beban yang sama dapat dirasakan ringan oleh satu pekerja namun berat oleh pekerja lain.

1. Klasifikasi Beban Kerja Fisik

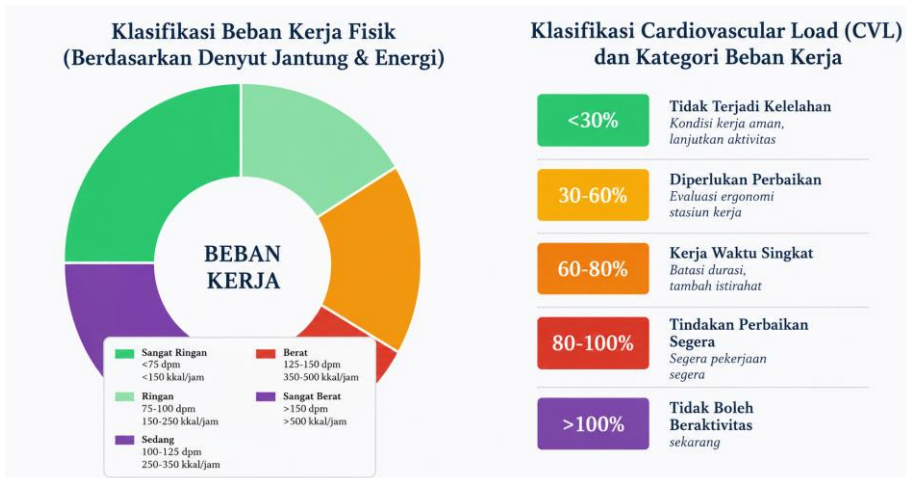
Klasifikasi beban kerja fisik dalam ergonomi umumnya didasarkan pada laju pengeluaran energi dan respons kardiovaskular. Tarwaka (2021) mengadaptasi klasifikasi internasional yang berlaku umum dalam konteks industri Indonesia. Cardiovascular Load (CVL) dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CVL (\%) = \frac{\text{hari kerja} - \text{hari istirahat}}{\text{hari maks} - \text{hari istirahat}} \times 100$$

Keterangan:

HR maks = 220 - usia (dalam tahun)

Satuan lain yang lazim digunakan adalah Metabolic Equivalent of Task (MET), yang menyatakan intensitas aktivitas relatif terhadap laju metabolisme basal (1 MET = 3,5 mL O₂/kg/menit). Aktivitas ringan dikategorikan 1,5–3 MET, aktivitas sedang 3–6 MET, dan aktivitas berat lebih dari 6 MET (Rinawati & Romadlon, 2020). Penggunaan MET memudahkan perbandingan antar jenis pekerjaan yang berbeda dan menjadi acuan dalam penyusunan standar fisik pekerjaan.



Gambar 5. 3 Klasifikasi beban kerja fisik berdasarkan denyut jantung dan energi

2. Faktor-faktor Penentu Beban Kerja Fisik

Beban kerja fisik dipengaruhi oleh tiga kelompok faktor utama yang saling berinteraksi secara dinamis:

a. Faktor pekerjaan (task factors)

Jenis dan intensitas gerakan otot (dinamis vs. statis/isometrik), postur kerja, kecepatan dan ritme kerja, berat beban yang ditangani, serta frekuensi pengulangan. Pekerjaan dengan komponen isometrik tinggi menyebabkan kelelahan lebih cepat karena menghambat aliran darah ke otot (Iridiastadi & Yassierli, 2017).

- b. Faktor lingkungan kerja
Terutama kondisi termal (suhu dan kelembapan udara), kebisingan, dan kualitas udara. Pada lingkungan kerja panas, tubuh memerlukan energi tambahan untuk termoregulasi, menambah beban kardiovaskular secara signifikan meskipun intensitas kerja fisik tidak berubah (Suma'mur, 2019). Penelitian Fadhilah dkk. (2023) mengkonfirmasi bahwa paparan panas di atas 32°C WBGT dapat meningkatkan HR kerja rata-rata sebesar 8–12 dpm.
- c. Faktor individu
Usia, jenis kelamin, kapasitas aerobik ($VO_2\text{max}$), status nutrisi, dan kondisi kesehatan. Kapasitas kerja fisik umumnya mencapai puncaknya pada usia 20–30 tahun dan menurun secara bertahap setelahnya. Perbedaan kapasitas individual ini menjadi dasar argumentasi ergonomi dalam menetapkan standar kerja yang bersifat person-centered (Rahmawati & Pratiwi, 2021).

Tabel 5. 2 Nilai MET berbagai pekerjaan industri dan rekomendasi ergonomi

Jenis Pekerjaan Industri	MET	Kategori	Rekomendasi Ergonomi
Administrasi/duduk komputer	1,5 – 2,0	Sangat Ringan	Manajemen postur duduk
Inspeksi visual berdiri	2,0 – 2,5	Ringan	Anti-fatigue mat, variasi postur
Perakitan manual ringan	2,5 – 3,5	Ringan–Sedang	Istirahat mikro setiap 30 mnt
Pengemasan produk aktif	3,5 – 5,0	Sedang	Istirahat 10 mnt/2 jam
Manual Material Handling (MMH)	5,0 – 7,0	Berat	Rotasi tugas, alat bantu mekanis
Angkat-angkut berat konstruksi	> 7,0	Sangat Berat	Batasi durasi, redesain pekerjaan

3. Kapasitas dan Batas Kemampuan Kerja Fisik

Kapasitas kerja fisik mencerminkan kemampuan maksimal seseorang dalam melakukan kerja aerobik yang berkelanjutan tanpa mengalami kelelahan berlebihan. Para ahli ergonomi menetapkan bahwa untuk pekerjaan penuh selama 8 jam tanpa kelelahan berlebihan, beban kerja rata-rata sebaiknya tidak melampaui 30–33% VO_{2max} . Batas ini memiliki implikasi langsung dalam penentuan kapasitas angkut material, kecepatan lini produksi, dan alokasi tugas pada sistem kerja (Wignjosoebroto, 2019).

Studi terbaru Handayani & Suhardi (2020) pada industri tekstil di Jawa Tengah menemukan bahwa 63% pekerja bagian produksi mengalami beban kerja melebihi batas aman 33% VO_{2max} . Kondisi ini signifikan berkaitan dengan tingginya prevalensi keluhan muskuloskeletal dan absensi kerja yang tercatat. Penerapan analisis beban kerja berbasis fisiologi menjadi urgensi nyata dalam program ergonomi industri nasional.

D. Pengukuran Denyut Jantung dan Konsumsi Oksigen

Pengukuran parameter fisiologis selama bekerja merupakan metode objektif yang paling dapat diandalkan dalam penilaian beban kerja. Di antara berbagai indikator fisiologis yang tersedia, denyut jantung dan konsumsi oksigen merupakan dua parameter yang paling sering digunakan dalam penelitian dan praktik ergonomi industri di Indonesia (Nurmianto, 2018).

1. Pengukuran Denyut Jantung

Denyut jantung (heart rate/HR) merupakan indikator fisiologis paling praktis yang dapat diukur secara langsung di lapangan. Jantung merespons peningkatan kebutuhan energi otot dengan meningkatkan curah jantung melalui peningkatan frekuensi denyut. Hubungan antara denyut jantung dan intensitas kerja bersifat linier pada rentang submaksimal, sehingga denyut jantung dapat digunakan sebagai proksi untuk memperkirakan konsumsi energi pekerja (Rinawati & Romadlon, 2020).

Dalam ergonomi industri Indonesia, pengukuran denyut jantung umumnya dilakukan menggunakan pulse oximeter, heart rate monitor berbasis optical (PPG), atau palpasi manual. Pengukuran dilakukan pada tiga kondisi:

- a. HR istirahat, diukur setelah pekerja duduk tenang selama 10 menit
- b. HR kerja, diukur saat atau segera setelah aktivitas puncak
- c. HR recovery, diukur 1 menit setelah kerja berhenti. Pada pekerjaan yang berlangsung selama 8 jam, HR kerja rata-rata sebaiknya tidak melebihi 30–40 dpm di atas HR istirahat (Tarwaka, 2021).

2. Pengukuran Konsumsi Oksigen

Konsumsi oksigen (VO_2) merupakan ukuran paling akurat dari pengeluaran energi aerobik dan disebut sebagai standar emas (gold standard) dalam pengukuran beban kerja fisik. VO_2 mengukur volume oksigen yang dikonsumsi tubuh per satuan waktu, mencerminkan secara langsung laju metabolisme aerobik. Setiap liter oksigen yang dikonsumsi setara dengan produksi energi sekitar 5 kkal atau 20,9 kilojoule (Adiputra dkk., 2021).

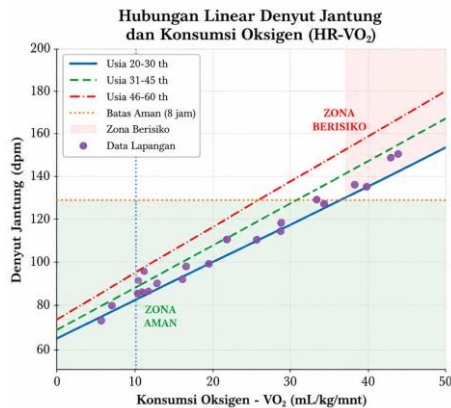
Pengukuran VO_{2max} dapat dilakukan melalui uji beban submaksimal yang lebih aman, seperti tes naik turun bangku (step test Harvard) atau tes berjalan 6 menit (6MWT), yang lebih praktis diterapkan pada populasi pekerja. Nilai $\%VO_{2max}$ yang diperlukan suatu pekerjaan mencerminkan intensitas relatif pekerjaan tersebut bagi individu bersangkutan, dan menjadi dasar yang lebih adil dalam penetapan standar kerja (Manuaba, 2016).

3. Hubungan HR- VO_2 dalam Praktik Ergonomi Industri

Dalam praktik ergonomi industri, hubungan linier antara denyut jantung dan konsumsi oksigen pada intensitas submaksimal dimanfaatkan untuk menyederhanakan penilaian beban kerja. Dengan melakukan kalibrasi awal pada sekelompok sampel pekerja menggunakan protokol latihan bertahap yang terstandar, peneliti dapat menyusun persamaan regresi HR- VO_2 yang kemudian digunakan untuk

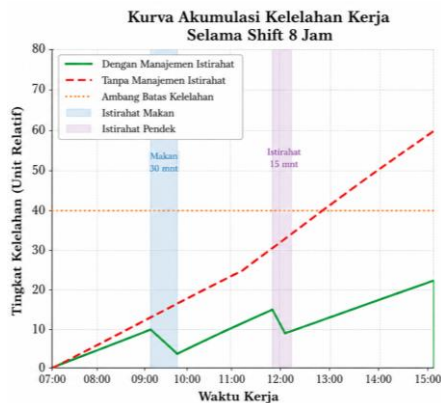
mengonversi data HR menjadi estimasi pengeluaran energi (Wignjosoebroto, 2019).

Perlu dicatat bahwa faktor non-metabolik dapat memengaruhi denyut jantung secara independen, termasuk faktor psikologis (stres, kecemasan), kondisi termal, postur tubuh, dan dehidrasi. Pada kondisi kerja panas, denyut jantung dapat meningkat bahkan tanpa penambahan intensitas kerja fisik, sehingga berpotensi mengakibatkan overestimasi beban metabolik. Interpretasi data denyut jantung karenanya harus selalu mempertimbangkan kondisi kontekstual lingkungan kerja (Fadhilah dkk., 2023).



Gambar 5. 4 Hubungan linear HR-VO

(diadaptasi dari Tarwaka, 2021; Dewi dkk., 2022)



Gambar 5. 5 Kurva akumulasi kelelahan dengan dan tanpa manajemen istirahat selama shift 8 jam

4. Teknologi Modern dalam Pemantauan Fisiologis Pekerja

Perkembangan teknologi wearable sensor telah merevolusi pemantauan fisiologis pekerja di lapangan. Smartwatch dan fitness tracker dengan kemampuan pengukuran HR secara kontinu, estimasi VO_2 , dan deteksi stres kini semakin terjangkau dan dapat diintegrasikan ke dalam sistem manajemen K3 digital (Kuswana, 2020). Data fisiologis real-time ini memungkinkan supervisor untuk memantau kondisi pekerja secara proaktif dan melakukan intervensi sebelum terjadi kelelahan berlebihan atau insiden keselamatan.

Penelitian terbaru oleh Purnama dkk. (2023) pada industri otomotif di Indonesia menunjukkan bahwa implementasi sistem pemantauan HR berbasis wearable mampu menurunkan insiden cedera akibat kelelahan sebesar 31% dan meningkatkan produktivitas lini perakitan sebesar 14% dalam periode 12 bulan. Temuan ini memperkuat argumen investasi teknologi ergonomi dalam industri manufaktur modern.

E. Kelelahan Kerja

Kelelahan kerja (occupational fatigue) merupakan salah satu masalah K3 yang paling umum ditemukan di industri Indonesia. Kelelahan didefinisikan sebagai penurunan kapasitas fungsional dan kapasitas daya tahan tubuh yang disertai perasaan tidak nyaman, yang timbul akibat aktivitas kerja yang melampaui kemampuan pemulihan alami tubuh (Tarwaka, 2021). Kelelahan bukan semata kondisi subyektif berupa rasa kantuk, melainkan fenomena fisiologis nyata yang tercermin dalam penurunan kekuatan otot, waktu reaksi yang memanjang, dan peningkatan kesalahan kerja.

1. Jenis dan Klasifikasi Kelelahan Kerja

Kelelahan kerja dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa dimensi. Pertama, berdasarkan durasi, kelelahan dibedakan menjadi kelelahan akut dan kelelahan kronis. Kelelahan akut berkembang dalam

satu sesi kerja dan umumnya pulih setelah istirahat yang cukup. Kelelahan kronis timbul dari akumulasi kelelahan akut yang tidak pulih sepenuhnya dari hari ke hari, menghasilkan kondisi penurunan kapasitas yang persisten dan berdampak besar pada kesehatan jangka panjang (Dewi dkk., 2022).

Kedua, berdasarkan lokasi dan mekanismenya, kelelahan dibedakan menjadi kelelahan umum (general fatigue), kelelahan otot lokal (local muscular fatigue), dan kelelahan mental (mental fatigue). Dalam industri manufaktur, ketiga jenis kelelahan ini sering muncul bersamaan. Penelitian Prasetyo & Halim (2020) pada operator mesin CNC menunjukkan bahwa 78% subyek mengalami kombinasi kelelahan fisik dan mental secara simultan pada paruh kedua shift 12 jam.

Tabel 5. 3 Klasifikasi jenis kelelahan kerja, mekanisme, manifestasi, dan penanganan ergonomic

(dikompilasi dari Dewi dkk., 2022; Prasetyo & Halim, 2020)

Jenis Kelelahan	Mekanisme Utama	Manifestasi	Penanganan Ergonomi
Kelelahan Umum	Deplesi glikogen sistemik, ketidakseimbangan homeostasis	Kelemahan seluruh tubuh, kantuk, penurunan motivasi	Pengaturan shift, istirahat cukup
Kelelahan Otot Lokal	Akumulasi laktat, deplesi ATP lokal, hambatan aliran darah	Nyeri otot spesifik, penurunan kekuatan, tremor lokal	Rotasi tugas, redesign postur
Kelelahan Mental	Deplesi neurotransmitter, overload kognitif, stres	Konsentrasi menurun, kesalahan meningkat, iritabilitas	Variasi tugas, micro-break, lingkungan kondusif
Kelelahan Visual	Ketegangan otot mata, paparan layar/cahaya glare	Mata perih, sakit kepala, penglihatan kabur	Aturan 20-20-20, pencahayaan ergonomis

2. Mekanisme Kelelahan Otot

Pada tingkat otot, kelelahan timbul melalui beberapa mekanisme yang saling berinteraksi. Deplesi simpanan glikogen otot merupakan mekanisme utama pada pekerjaan aerobik berdurasi panjang. Ketika glikogen habis, kapasitas otot untuk mempertahankan kontraksi menurun drastis. Pada pekerjaan anaerobik intensitas tinggi, akumulasi

asam laktat dan ion hidrogen (H⁺) mengganggu proses coupling antara eksitasi saraf dan kontraksi otot (Adiputra dkk., 2021).

Kontraksi isometrik yang berkepanjangan, sering dijumpai pada pekerjaan dengan postur tidak alamiah seperti memegang alat dalam posisi lengan terangkat atau membungkuk dalam waktu lama, menyebabkan peningkatan tekanan intramuskular yang menghambat perfusi darah ke otot. Kondisi ini mempercepat deplesi energi lokal bahkan pada intensitas kerja yang relatif rendah apabila postur dipertahankan dalam waktu panjang (Iridiastadi & Yassierli, 2017). Penelitian electromyography (EMG) oleh Nugroho dkk. (2022) mengkonfirmasi bahwa median frequency EMG menurun secara signifikan pada pekerja yang mempertahankan postur statik selama lebih dari 20 menit berturut-turut.

3. Dampak Kelelahan terhadap Produktivitas dan Keselamatan

Kelelahan kerja memiliki konsekuensi serius terhadap produktivitas dan keselamatan. Studi di berbagai sektor industri di Indonesia secara konsisten menunjukkan korelasi positif antara tingkat kelelahan dengan frekuensi kesalahan, cacat produk, dan kecelakaan kerja (Prasetyo & Halim, 2020). Pada kondisi lelah, waktu reaksi pekerja memanjang, kemampuan pengambilan keputusan menurun, dan kewaspadaan berkurang.

Dari perspektif produktivitas, penelitian pada industri manufaktur garmen, elektronik, dan pengolahan makanan di Indonesia menunjukkan bahwa beban kerja fisik berlebihan tanpa manajemen kelelahan yang baik dapat menurunkan output pekerja hingga 20–30% pada paruh kedua shift, dibandingkan paruh pertama (Dewi dkk., 2022). Analisis biaya yang dilakukan Purnama dkk. (2023) memperkirakan kerugian ekonomi akibat kelelahan kerja pada sektor manufaktur Indonesia mencapai Rp 47,3 triliun per tahun, meliputi penurunan produktivitas, absensi, dan biaya kecelakaan kerja.

4. Metode Penilaian Kelelahan Kerja

Penilaian kelelahan kerja dalam ergonomi industri dapat dilakukan melalui tiga pendekatan utama yang saling melengkapi:

- a. Pendekatan subyektif
Menggunakan kuesioner terstandar seperti Kuesioner Alat Ukur Perasaan Kelelahan Kerja (KAUPK2) yang dikembangkan untuk konteks Indonesia, atau skala Rating of Perceived Exertion (RPE) Borg (6–20) yang berkorelasi erat dengan denyut jantung dan intensitas metabolik. KAUPK2 telah divalidasi pada berbagai sektor industri Indonesia dan terbukti valid dan reliabel (Tarwaka, 2021).
- b. Pendekatan fisiologis
Pengukuran denyut jantung (CVL), kadar hemoglobin dan laktat darah, serta uji flicker fusion frequency (CFF) untuk menilai kelelahan sistem saraf pusat. CFF mengukur ambang frekuensi kilatan cahaya yang masih dapat dibedakan oleh mata; ambang yang lebih rendah mengindikasikan kelelahan yang lebih berat. Metode ini khususnya sensitif terhadap kelelahan pada operator yang bekerja dengan tuntutan visual tinggi (Handayani & Suhardi, 2020).
- c. Pendekatan psikomotor
Menggunakan uji waktu reaksi, uji kekuatan genggam (grip strength dynamometry), dan analisis error rate. Grip strength dan waktu reaksi telah terbukti sebagai indikator kelelahan yang valid dan dapat diukur secara mudah di lapangan industri menggunakan peralatan yang sederhana dan terjangkau (Nugroho dkk., 2022).

F. Pengaturan Waktu Kerja dan Istirahat

Pengaturan waktu kerja dan istirahat merupakan intervensi ergonomis yang paling mendasar dan efektif dalam pengelolaan beban kerja serta pencegahan kelelahan. Prinsip fundamentalnya sederhana: setiap periode kerja harus diimbangi dengan periode pemulihan yang proporsional terhadap intensitas dan durasi kerja yang telah dilakukan. Dalam Teknik Industri, penetapan waktu kerja dan istirahat merupakan komponen penting dalam penetapan waktu standar melalui fatigue allowance (Wignjosoebroto, 2019).

1. Dasar Fisiologis Waktu Istirahat

Selama periode istirahat, tubuh melaksanakan serangkaian proses pemulihan yang berlangsung pada skala waktu berbeda. Pemulihan ATP dan creatine phosphate berlangsung cepat dalam 3–5 menit pertama. Eliminasi laktat dari darah dan otot memerlukan 20–60 menit, dan berlangsung lebih cepat dengan pemulihan aktif dibandingkan istirahat pasif total. Pengisian kembali simpanan glikogen otot memerlukan 24–48 jam dengan asupan karbohidrat yang memadai (Adiputra dkk., 2021).

Pemahaman kinetika pemulihan ini memiliki implikasi langsung pada rancangan jadwal kerja. Untuk pekerjaan anaerobik intensitas tinggi, waktu istirahat singkat yang sering (3–5 menit setiap 20 menit kerja) lebih efektif mempertahankan kapasitas kerja dibandingkan satu periode istirahat panjang. Sebaliknya, untuk pekerjaan aerobik intensitas sedang yang berkelanjutan, istirahat terjadwal 10–15 menit pada pertengahan setiap sesi sudah memadai untuk mencegah akumulasi kelelahan (Manuaba, 2016).

2. Klasifikasi dan Fungsi Waktu Istirahat dalam Industri

Dalam konteks industri, waktu istirahat dapat diklasifikasikan berdasarkan durasi dan fungsinya menjadi tiga kategori utama:

- a. Istirahat mikro (micro-pause): berdurasi beberapa detik hingga 1–2 menit, berfungsi terutama meringankan tekanan pada otot dan sendi yang bekerja dalam postur statis berkepanjangan. Contoh: mengistirahatkan punggung dengan berdiri sejenak saat bekerja duduk, atau melepas genggam tangan secara berkala. Studi Nugroho dkk. (2022) menunjukkan bahwa micro-pause setiap 20 menit mampu menurunkan indikator EMG kelelahan sebesar 23%.
- b. Istirahat pendek (rest pause): berdurasi 5–15 menit, merupakan istirahat resmi di tengah sesi kerja yang bertujuan memulihkan sistem kardiovaskular dan memberikan kesempatan relaksasi aktif berupa peregangan atau perubahan postur. Dalam sistem produksi, istirahat ini

umumnya dijadwalkan di pertengahan sesi kerja pagi dan sore (Suma'mur, 2019).

- c. Istirahat makan (meal break): berdurasi 30–60 menit, berfungsi untuk pemulihan yang lebih substansial termasuk pengisian substrat energi melalui asupan makanan dan pemulihan hidrasi. Penempatan waktu makan yang optimal secara ergonomis adalah 4–5 jam setelah jam mulai kerja.

3. **Formula *Fatigue Allowance* dalam Penetapan Waktu Standar**

Dalam Teknik Industri, fatigue allowance merupakan salah satu komponen allowance yang diperhitungkan dalam penetapan waktu standar suatu pekerjaan. Fatigue allowance dinyatakan sebagai persentase dari waktu normal. Formula klasik dari Murrell (dikutip dalam Tarwaka, 2021) untuk menghitung persentase waktu istirahat (R) adalah:

$$R(\%) = \frac{W - S}{W - R_0} \times 100$$

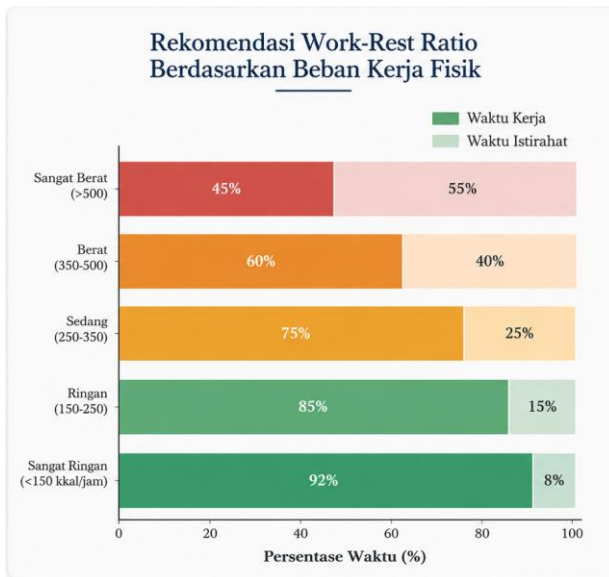
Keterangan:

W = Beban kerja aktual (kkal/mnt)

S = Batas beban yang dapat diterima (biasanya 5 kkal/mnt atau ~33% VO_{2max})

R_0 = Metabolisme istirahat (~1,5 kkal/mnt)

Metode alternatif yang lebih operasional menggunakan tabel ILO (International Labour Organization) yang memberikan poin kumulatif untuk berbagai faktor beban kerja (postur, kekuatan yang dikeluarkan, kondisi lingkungan, dll.), kemudian mengkonversinya menjadi persentase allowance. Metode ini lebih mudah diterapkan oleh praktisi industri di lapangan tanpa peralatan pengukuran fisiologis khusus (Wignjosoebroto, 2019).



Gambar 5. 6 Rekomendasi work-rest ratio berdasarkan klasifikasi beban kerja fisik.

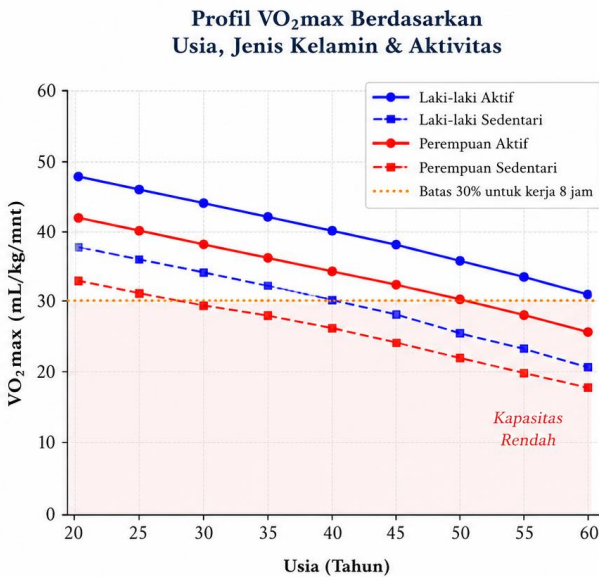


Gambar 5. 7 Kerangka ergonomi kerja

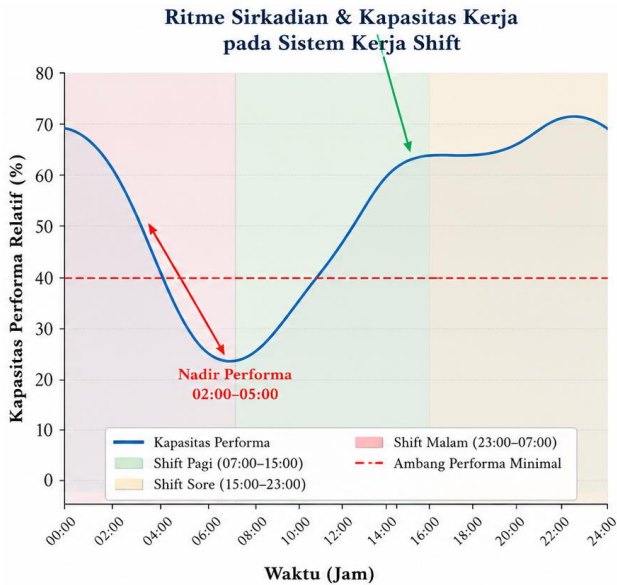
4. Sistem Kerja Shift dan Pertimbangan Ergonomis

Sistem kerja shift merupakan realita umum di industri manufaktur Indonesia yang beroperasi 24 jam. Dari perspektif fisiologi kerja, shift malam membawa beban tambahan karena pekerja harus beraktivitas berlawanan dengan ritme biologis alami tubuh (ritme sirkadian). Kapasitas performa fisik dan kognitif mencapai titik terendah (nadir) pada dini hari sekitar pukul 02.00–05.00, yang bertepatan dengan jam kerja shift malam (Pandiangan dkk., 2022).

Rekomendasi ergonomi untuk sistem shift berdasarkan evidens ilmiah terkini mencakup: rotasi shift searah jarum jam lebih dianjurkan karena lebih mudah diadaptasi ritme sirkadian; durasi shift malam sebaiknya lebih pendek dari shift pagi dan siang; penambahan waktu istirahat pada shift malam untuk mengkompensasi penurunan kapasitas fisiologis; ketersediaan makanan bergizi di tempat kerja; serta rotasi shift tidak lebih cepat dari setiap 7 hari untuk memungkinkan adaptasi fisiologis (Setiawan & Izzah, 2021).



Gambar 5. 8 Profil $VO_2\text{max}$ dan tingkat aktivitas fisik



Gambar 5. 9 Ritme sirkadian kapasitas kerja shift

G. Aplikasi Ergonomi Berbasis Fisiologi dalam Perancangan Sistem Kerja

1. Prinsip Ergonomi Partisipatif dalam Manajemen Beban Kerja

Ergonomi partisipatif (participatory ergonomics) merupakan pendekatan yang melibatkan pekerja secara aktif dalam identifikasi masalah, perancangan solusi, dan implementasi intervensi ergonomi. Pendekatan ini terbukti lebih efektif dan berkelanjutan dibandingkan intervensi top-down karena mempertimbangkan pengalaman langsung pekerja dalam menghadapi tantangan fisiologis pekerjaannya (Kuswana, 2020).

Program ergonomi partisipatif yang berhasil di industri Indonesia umumnya mencakup: pembentukan tim ergonomi lintas fungsi (insinyur industri, petugas K3, pekerja representatif, dan manajer produksi); pelatihan dasar fisiologi kerja bagi supervisor dan pekerja; pengukuran beban kerja berkala menggunakan instrumen yang

disederhanakan; analisis bersama temuan data; serta implementasi dan evaluasi solusi yang terukur.

2. Redesain Stasiun Kerja Berbasis Prinsip Fisiologis

Redesain stasiun kerja berbasis prinsip fisiologis bertujuan meminimalkan beban kerja fisik tanpa mengorbankan produktivitas. Prinsip-prinsip utama yang harus diterapkan mencakup:

- Menjaga postur kerja netral untuk meminimalkan beban statis pada tulang belakang dan sendi
- Menempatkan material dan alat pada jangkauan optimal untuk mengurangi beban muskuloskeletal
- Menyediakan dukungan postural yang sesuai untuk posisi kerja duduk dan berdiri
- Mengoptimalkan tata letak untuk meminimalkan jarak transportasi manual (handayani & suhardi, 2020).

Tabel 5. 4 Masalah fisiologis umum di industri dan solusi

Masalah Fisiologis	Indikator	Solusi Ergonomi Berbasis Bukti
Postur kerja paksa (membungkuk, menjangkau)	CVL > 40%, keluhan nyeri punggung	Adjust ketinggian meja kerja, konveyor adjustable, alat bantu jangkauan; terbukti turunkan CVL 15-25% (Handayani & Suhardi, 2020)
Angkat beban berat berulang (MMH)	%VO ₂ max > 40%, MET > 5	Mechanical assists (hand truck, hoist), team lifting protocol, pembatasan beban per angkatan < 23 kg (NIOSH guideline)
Pekerjaan repetitif monoton	KAUPK2 tinggi, RPE ≥ 14	Job rotation (setiap 2 jam), job enlargement, micro-breaks terstruktur setiap 20-30 menit; turunkan keluhan 35% (Nugroho dkk., 2022)
Pekerjaan panas (lingkungan termal ekstrem)	WBGT > 28°C, HR naik > 10 dpm	Pendinginan evaporatif, ventilasi mekanis, jadwal istirahat di ruang sejuk, hidrasi terjadwal (200-250 ml/20 mnt)
Kelelahan visual (operator inspeksi, komputer)	CFF turun > 3 Hz, keluhan mata lelah	Aturan 20-20-20 (setiap 20 mnt istirahat 20 dtk lihat jarak 20 ft), pencahayaan 500-1000 lux, anti-glare screen

3. Program K3 Berbasis Fisiologi Kerja

Program K3 berbasis fisiologi kerja yang komprehensif mencakup tiga level intervensi yang saling melengkapi. Level primer (pencegahan): penilaian risiko ergonomi sistematis sebelum implementasi sistem kerja baru, penetapan standar kerja berbasis data fisiologis, dan desain stasiun kerja yang ergonomis sejak awal. Level sekunder (pengurangan dampak): pemantauan beban kerja berkala menggunakan indikator fisiologis, program olahraga dan kebugaran bagi pekerja, dan manajemen jadwal kerja-istirahat yang adaptif. Level tersier (rehabilitasi): program pemulihan bagi pekerja dengan gangguan muskuloskeletal, modifikasi tugas (job modification) untuk pekerja yang sedang dalam pemulihan, dan rehabilitasi fungsional berbasis ergonomi (Setiawan & Izzah, 2021).

Peran insinyur industri sangat krusial dalam program K3 berbasis fisiologi. Kompetensi analisis kuantitatif yang dimiliki insinyur industri (pengukuran denyut jantung, perhitungan CVL, penentuan waktu standar dengan fatigue allowance, dan analisis risiko ergonomi) menjadikannya aktor kunci dalam merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi program ergonomi industri yang berbasis bukti ilmiah (evidence-based ergonomics). Investasi dalam program ergonomi yang sistematis terbukti menghasilkan return on investment yang positif, dengan rasio manfaat-biaya rata-rata 3:1 hingga 10:1 berdasarkan studi komprehensif di berbagai negara berkembang (Purnama dkk., 2023).

BAB 6

ERGONOMI KOGNITIF DAN PSIKOLOGI KERJA

Aziati Ridha Khairi
Politeknik Negeri Media Kreatif

A. Pendahuluan

Ergonomi kognitif merupakan cabang ergonomi yang mempelajari proses mental manusia dalam konteks kerja, meliputi persepsi, perhatian, memori, penalaran, pengambilan keputusan, serta respons motorik yang muncul ketika individu berinteraksi dengan sistem, teknologi, maupun lingkungan kerja. Menurut International Ergonomics Association (IEA), ergonomi kognitif berkaitan dengan proses mental seperti persepsi, memori, penalaran, dan respons motorik yang memengaruhi interaksi manusia dengan elemen sistem kerja (IEA, 2023). Bidang ini bertujuan untuk menyesuaikan tuntutan pekerjaan dengan kapasitas kognitif manusia sehingga kesejahteraan pekerja dan kinerja sistem dapat dioptimalkan.

Aspek utama yang dikaji dalam ergonomi kognitif meliputi beban kerja mental (*mental workload*), kesadaran situasional (*situation awareness*), keandalan manusia (*human reliability*), stres kerja, serta interaksi manusia-komputer. Penerapan prinsip ergonomi kognitif terbukti mampu meminimalkan kesalahan manusia, mempercepat proses pembelajaran, dan meningkatkan kepuasan pengguna terhadap sistem kerja yang dirancang. Dalam era digital dan otomatisasi, ergonomi kognitif menjadi semakin penting karena kompleksitas sistem kerja modern menuntut kemampuan manusia untuk memproses informasi dalam jumlah besar secara cepat dan akurat.

Psikologi kerja merupakan disiplin ilmu yang mempelajari perilaku individu dan kelompok dalam lingkungan kerja dengan tujuan meningkatkan efektivitas organisasi sekaligus kesejahteraan pekerja. Kajian psikologi kerja mencakup motivasi, kepuasan kerja, stres kerja,

kepemimpinan, komitmen organisasi, serta hubungan antara karakteristik individu dengan tuntutan pekerjaan. Dalam praktiknya, psikologi kerja berupaya memahami bagaimana faktor psikologis memengaruhi produktivitas, keselamatan kerja, kualitas pengambilan keputusan, dan kesehatan mental pekerja. Dengan demikian, psikologi kerja memberikan landasan teoritis untuk mengembangkan intervensi yang mampu meningkatkan keterlibatan karyawan, mengurangi kelelahan psikologis, dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih adaptif terhadap perubahan teknologi dan organisasi.

Ergonomi kognitif dan psikologi kerja memiliki keterkaitan yang erat karena keduanya berfokus pada kemampuan, keterbatasan, dan perilaku manusia dalam menyelesaikan tugas kerja. Ergonomi kognitif menitikberatkan pada perancangan sistem kerja yang sesuai dengan kapasitas mental manusia, sedangkan psikologi kerja menekankan pemahaman mengenai faktor-faktor psikologis yang memengaruhi perilaku dan kinerja pekerja. Integrasi kedua bidang tersebut memungkinkan organisasi mengembangkan sistem kerja yang tidak hanya aman dan efisien, tetapi juga mendukung kesejahteraan psikologis pekerja. Pendekatan ini semakin relevan pada era digital, ketika pekerja dituntut untuk memproses informasi dalam jumlah besar, bekerja secara multitugas, dan berinteraksi dengan sistem otomatis yang kompleks.

Penelitian terkini menunjukkan bahwa beban kerja mental yang tinggi berpotensi menurunkan perhatian, meningkatkan risiko kesalahan manusia (*human error*), serta mengurangi kualitas pengambilan keputusan pada sistem kerja yang kompleks. Bergman et al. (2021) menjelaskan bahwa kondisi *cognitive underload* maupun *cognitive overload* dapat menyebabkan hilangnya fokus, distraksi, serta penurunan performa pekerja pada lingkungan manufaktur modern. Selain itu, Fogelberg et al. (2025) menemukan bahwa pengukuran beban kerja mental melalui pendekatan multidimensional yang mengombinasikan indikator fisiologis, subjektif, dan berbasis kinerja mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kondisi operator dan mendukung pengembangan sistem kerja yang adaptif. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengukuran aspek

kognitif dan psikologis perlu menjadi bagian integral dalam evaluasi sistem kerja modern.

Penerapan ergonomi kognitif dan psikologi kerja saat ini telah meluas pada berbagai sektor, seperti industri manufaktur, layanan kesehatan, penerbangan, pendidikan, dan pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan. Desain antarmuka yang intuitif, sistem pendukung keputusan, pembagian tugas yang seimbang, serta penyediaan pelatihan yang sesuai dengan karakteristik pengguna merupakan contoh implementasi nyata dari kedua disiplin tersebut. Selain meningkatkan produktivitas, penerapan ergonomi kognitif dan psikologi kerja juga berkontribusi dalam membangun lingkungan kerja yang lebih manusiawi, mengurangi risiko gangguan kesehatan mental, serta memperkuat kemampuan pekerja dalam beradaptasi terhadap perubahan teknologi yang semakin cepat.

B. Persepsi dan Pengolahan Informasi

Konsep Persepsi dalam Ergonomi Kognitif

Persepsi dan pengolahan informasi merupakan dua proses kognitif fundamental yang memungkinkan manusia menerima, menafsirkan, menyimpan, serta menggunakan informasi yang diperoleh dari lingkungan untuk menghasilkan respons yang adaptif. Dalam perspektif psikologi kognitif, persepsi tidak hanya dipandang sebagai proses penerimaan rangsangan sensorik, tetapi juga sebagai proses aktif dalam mengorganisasi, memilih, dan memberikan makna terhadap informasi yang diterima melalui sistem sensorik. Sementara itu, pengolahan informasi (information processing) menjelaskan bagaimana informasi tersebut ditransformasikan menjadi representasi mental yang dapat digunakan untuk berpikir, memecahkan masalah, mengambil keputusan, dan melakukan tindakan tertentu. Pendekatan ini mengibaratkan sistem kognitif manusia sebagai suatu sistem pemrosesan yang menerima input, mengolah informasi, menyimpannya dalam memori, dan menghasilkan output berupa perilaku atau keputusan.

a. Persepsi sebagai Tahap Awal Pemrosesan Informasi

Persepsi merupakan tahapan pertama dalam pengolahan informasi yang melibatkan deteksi dan interpretasi stimulus yang berasal dari lingkungan eksternal maupun internal individu. Proses persepsi dimulai ketika stimulus fisik, seperti cahaya, suara, sentuhan, atau aroma, diterima oleh organ sensorik dan diubah menjadi impuls saraf melalui mekanisme transduksi. Selanjutnya, informasi sensorik tersebut diproses di berbagai area korteks serebral untuk diidentifikasi dan diinterpretasikan berdasarkan pengalaman, pengetahuan sebelumnya, konteks situasional, serta ekspektasi individu. Dengan demikian, persepsi bersifat konstruktif karena individu tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi juga membangun pemahaman berdasarkan interaksi antara stimulus yang diterima dan representasi mental yang telah tersimpan dalam memori.

Penelitian terkini dalam ilmu kognitif menunjukkan bahwa persepsi dipengaruhi oleh mekanisme perhatian (attention mechanism), kapasitas memori kerja, serta prediksi yang dibangun oleh otak terhadap kondisi lingkungan. Pendekatan predictive processing menjelaskan bahwa otak secara terus-menerus menghasilkan prediksi mengenai stimulus yang akan diterima dan kemudian membandingkannya dengan informasi aktual yang masuk. Ketidakesesuaian antara prediksi dan informasi aktual akan menghasilkan prediction error yang digunakan untuk memperbarui model mental individu. Proses ini memungkinkan manusia mengenali pola secara cepat, beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, dan meningkatkan efisiensi pengolahan informasi pada situasi yang kompleks.

b. Tahapan Pengolahan Informasi

Teori pengolahan informasi menjelaskan bahwa informasi diproses melalui beberapa tahapan utama, yaitu memori sensorik, memori kerja, dan memori jangka panjang. Memori sensorik berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara bagi informasi yang diterima melalui indera dalam waktu yang sangat singkat, biasanya hanya beberapa milidetik

hingga beberapa detik. Informasi yang memperoleh perhatian akan diteruskan ke memori kerja (working memory) untuk diproses lebih lanjut, sedangkan informasi yang tidak relevan akan hilang dari sistem kognitif. Memori kerja memiliki kapasitas yang terbatas sehingga individu hanya mampu memproses sejumlah informasi tertentu dalam satu waktu. Pada tahap ini terjadi berbagai aktivitas kognitif seperti pengkodean (encoding), pengorganisasian informasi, pembentukan hubungan antarkonsep, serta integrasi informasi baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya. Informasi yang dianggap penting kemudian dipindahkan ke memori jangka panjang melalui proses konsolidasi sehingga dapat disimpan dalam periode yang lebih lama dan digunakan kembali ketika dibutuhkan melalui mekanisme retrieval. Keterbatasan kapasitas memori kerja menyebabkan peningkatan jumlah informasi atau kompleksitas tugas dapat meningkatkan beban kognitif dan menurunkan performa individu.

c. Faktor yang Mempengaruhi Persepsi dan Pengolahan Informasi

Proses persepsi dan pengolahan informasi tidak hanya ditentukan oleh karakteristik individu, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat informasi tersebut diterima dan diproses. Faktor internal yang berkontribusi meliputi perhatian, motivasi, keadaan emosional, pengalaman sebelumnya, kapasitas memori, serta tingkat kelelahan mental. Kondisi psikologis yang kurang optimal, seperti stres dan kelelahan, dapat menghambat kemampuan individu dalam menginterpretasikan stimulus secara akurat dan memperlambat proses pengolahan informasi. Sebaliknya, pengalaman yang memadai memungkinkan individu membangun skema pengetahuan yang lebih kuat sehingga mampu mengenali pola dan memahami informasi dengan lebih cepat. Sementara itu, faktor eksternal meliputi karakteristik stimulus, kompleksitas pekerjaan, gangguan lingkungan, dan kualitas desain antarmuka. Penyajian informasi yang terstruktur, jelas, dan dikelompokkan secara sistematis terbukti dapat meningkatkan efektivitas pemrosesan informasi serta mengurangi beban kerja mental pengguna.

d. Persepsi dan Pengolahan Informasi dalam Ergonomi Kognitif

Persepsi dan pengolahan informasi dipengaruhi oleh berbagai faktor internal maupun eksternal. Faktor internal meliputi tingkat perhatian, motivasi, kondisi emosional, pengalaman sebelumnya, kapasitas memori, serta tingkat kelelahan mental. Individu yang mengalami stres, kelelahan, atau gangguan perhatian cenderung menunjukkan penurunan akurasi persepsi dan lambat dalam memproses informasi. Sebaliknya, individu dengan pengalaman yang lebih tinggi biasanya mampu mengenali pola dan menginterpretasikan informasi secara lebih efisien karena telah memiliki skema pengetahuan yang kuat. Faktor eksternal mencakup karakteristik stimulus, kompleksitas tugas, gangguan lingkungan, serta desain antarmuka sistem yang digunakan. Dalam konteks ergonomi kognitif, desain tampilan informasi yang tidak terstruktur, penggunaan warna yang tidak konsisten, atau penyajian informasi yang terlalu banyak secara bersamaan dapat meningkatkan mental workload dan menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan. Sebaliknya, penyajian informasi yang sederhana, penggunaan prinsip chunking, visualisasi yang jelas, dan pengelompokan informasi yang logis dapat meningkatkan efisiensi pemrosesan informasi dan mengurangi beban mental pengguna.

Dalam ergonomi kognitif, persepsi dan pengolahan informasi menjadi dasar dalam perancangan sistem kerja, antarmuka digital, serta teknologi berbasis kecerdasan buatan. Sistem yang dirancang sesuai dengan kemampuan perseptual dan kapasitas pemrosesan informasi manusia dapat meningkatkan kinerja, mempercepat waktu respons, serta mengurangi kemungkinan terjadinya human error. Sebaliknya, ketidaksesuaian antara tuntutan tugas dengan kapasitas kognitif individu dapat menimbulkan cognitive overload, yaitu kondisi ketika sumber daya mental yang tersedia tidak mampu memenuhi tuntutan pemrosesan informasi yang diberikan.

Pengolahan Informasi Manusia (*Human Information Processing*)

Pengolahan informasi manusia (Human Information Processing/HIP) merupakan pendekatan dalam psikologi kognitif yang menjelaskan bagaimana manusia menerima, memilih, mengodekan, menyimpan, memanipulasi, dan mengambil kembali informasi untuk menghasilkan respons atau perilaku tertentu. Teori ini memandang manusia sebagai sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik serupa dengan komputer, yaitu menerima masukan (input), memproses informasi, menyimpan informasi, dan menghasilkan keluaran (output). Namun, berbeda dengan komputer, proses pengolahan informasi pada manusia dipengaruhi oleh faktor biologis, psikologis, pengalaman, motivasi, emosi, serta kondisi lingkungan. Dalam ergonomi kognitif, konsep pengolahan informasi manusia menjadi landasan utama dalam merancang sistem kerja, antarmuka pengguna, dan teknologi yang sesuai dengan kapasitas kognitif manusia sehingga dapat meningkatkan efisiensi kerja, keselamatan, dan kualitas pengambilan keputusan.

1. Tahapan Pengolahan Informasi Manusia

Secara umum, pengolahan informasi manusia berlangsung melalui lima tahapan utama yang meliputi penerimaan stimulus sensorik, perhatian, memori kerja, memori jangka panjang, dan pembentukan respons perilaku. Proses tersebut terjadi secara dinamis dan terintegrasi sehingga memungkinkan individu memahami lingkungan sekitarnya, melaksanakan tugas, serta beradaptasi terhadap perubahan kondisi.

a. Penerimaan Informasi Sensorik (*Sensory Processing*)

Tahap pertama dimulai ketika stimulus dari lingkungan diterima oleh organ sensorik, seperti mata, telinga, kulit, hidung, dan lidah. Informasi sensorik yang masuk disimpan sementara dalam memori sensorik (sensory memory). Penyimpanan ini berlangsung sangat singkat, berkisar antara beberapa milidetik hingga dua detik. Sebagian besar informasi yang diterima akan hilang apabila tidak memperoleh perhatian. Hanya stimulus yang dianggap relevan atau penting yang akan diteruskan ke tahap berikutnya. Dalam lingkungan kerja modern, operator sering kali menerima informasi visual dan auditori secara bersamaan. Oleh karena itu, sistem kerja yang menyajikan terlalu banyak informasi dalam waktu singkat dapat menyebabkan kelebihan beban

perseptual (perceptual overload) dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan.

b. Perhatian (*Attention*)

Perhatian merupakan mekanisme seleksi yang menentukan informasi mana yang akan diproses lebih lanjut. Kapasitas perhatian manusia bersifat terbatas sehingga individu tidak mampu memproses seluruh rangsangan yang diterima secara simultan. Sistem perhatian memungkinkan seseorang memfokuskan sumber daya kognitif pada informasi yang relevan sambil mengabaikan stimulus yang tidak penting. Penelitian terkini menunjukkan bahwa perhatian memiliki hubungan yang sangat erat dengan memori kerja. Individu dengan kapasitas perhatian yang baik cenderung lebih mampu mempertahankan informasi yang relevan dan menghambat gangguan dari stimulus eksternal. Sebaliknya, stres, kelelahan, dan multitasking dapat mengurangi kemampuan memusatkan perhatian sehingga berdampak negatif terhadap performa kerja.

c. Memori Kerja (*Working Memory*)

Memori kerja merupakan komponen sistem kognitif yang berperan dalam menyimpan dan memanipulasi informasi secara sementara selama individu menjalankan berbagai aktivitas mental tingkat tinggi, seperti memahami bacaan, melakukan operasi matematika, memecahkan masalah, dan mengambil keputusan. Fungsi memori kerja tidak hanya terbatas pada penyimpanan informasi, tetapi juga mencakup proses pengintegrasian informasi baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki sebelumnya. Meskipun demikian, kapasitas memori kerja manusia bersifat terbatas, sehingga hanya sejumlah kecil informasi yang dapat diproses secara simultan. Ketika kompleksitas tugas atau jumlah informasi yang harus diolah melampaui kapasitas tersebut, kondisi *cognitive overload* dapat terjadi yang ditandai dengan menurunnya kinerja, meningkatnya waktu yang dibutuhkan untuk merespons, serta bertambahnya risiko kesalahan.

d. Memori Jangka Panjang (*Long-Term Memory*)

Informasi yang diproses dalam memori kerja dapat dipindahkan ke memori jangka panjang melalui proses konsolidasi. Memori jangka panjang memiliki kapasitas yang sangat besar dan dapat menyimpan

informasi dalam jangka waktu yang lama, bahkan sepanjang hidup individu.

Memori jangka panjang terdiri atas beberapa komponen, yaitu:

- **Memori episodik**, yang menyimpan pengalaman pribadi.
- **Memori semantik**, yang menyimpan fakta, konsep, dan pengetahuan umum.
- **Memori prosedural**, yang menyimpan keterampilan dan kebiasaan.

Ketika seseorang menghadapi suatu tugas, informasi yang relevan akan diambil kembali (*retrieval*) dari memori jangka panjang untuk digunakan dalam proses berpikir dan pengambilan keputusan. Kecepatan dan akurasi pengambilan informasi dipengaruhi oleh pengalaman, latihan, serta frekuensi penggunaan informasi tersebut.

e. Respons dan Pengambilan Keputusan

Tahap akhir pengolahan informasi adalah pemilihan respons dan pelaksanaan tindakan. Pada tahap ini individu mengevaluasi alternatif tindakan yang tersedia berdasarkan informasi yang telah diproses. Respons dapat berupa tindakan fisik, komunikasi verbal, maupun keputusan strategis.

Dalam konteks ergonomi kognitif, kualitas pengambilan keputusan sangat dipengaruhi oleh kondisi kognitif operator. Tingkat kelelahan yang tinggi, tekanan waktu, serta kompleksitas tugas dapat menyebabkan individu mengambil keputusan yang kurang optimal. Oleh karena itu, sistem kerja perlu dirancang sedemikian rupa agar mendukung proses pengolahan informasi manusia, misalnya melalui penyederhanaan tampilan antarmuka, pemberian umpan balik yang jelas, dan penggunaan sistem pendukung keputusan.

Faktor yang Mempengaruhi Pengolahan Informasi Manusia

Kemampuan manusia dalam mengolah informasi dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal.

Faktor internal meliputi usia, tingkat pendidikan, pengalaman kerja, kapasitas memori, kondisi emosional, motivasi, serta tingkat stres. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa stres yang tinggi dapat

menurunkan kapasitas memori kerja dan menghambat proses penalaran serta pembelajaran.

Faktor eksternal meliputi desain lingkungan kerja, tingkat kebisingan, pencahayaan, kompleksitas tugas, serta kualitas antarmuka manusia-komputer. Pada lingkungan kerja yang sarat informasi, desain sistem yang buruk dapat menyebabkan distraksi, kelelahan mental, dan peningkatan risiko *human error*. Sebaliknya, sistem yang dirancang sesuai dengan prinsip ergonomi kognitif mampu mengoptimalkan perhatian, meningkatkan retensi informasi, dan memperbaiki performa operator

C. Beban Kerja Mental (*Mental Workload*)

Beban kerja mental (*mental workload* atau MWL) merupakan salah satu konsep utama dalam ergonomi kognitif yang menggambarkan besarnya sumber daya kognitif yang harus digunakan seseorang untuk menyelesaikan suatu tugas dalam kondisi tertentu. Berbeda dengan beban kerja fisik yang berkaitan dengan penggunaan energi otot, beban kerja mental berhubungan dengan aktivitas kognitif seperti persepsi, perhatian, memori kerja, penalaran, pemecahan masalah, pengambilan keputusan, dan pengendalian respons. Beban kerja mental muncul akibat adanya interaksi antara tuntutan tugas, karakteristik individu, serta kondisi lingkungan kerja. Beban kerja mental yang optimal dapat meningkatkan kewaspadaan dan kinerja, sedangkan beban kerja mental yang terlalu rendah (*underload*) maupun terlalu tinggi (*overload*) dapat menyebabkan penurunan performa, kelelahan mental, berkurangnya konsentrasi, serta meningkatnya risiko *human error*.

1. Konsep Dasar Beban Kerja Mental

Beban kerja mental didasarkan pada asumsi bahwa kapasitas pemrosesan informasi manusia bersifat terbatas. Ketika tuntutan pekerjaan berada dalam batas kemampuan individu, informasi dapat diproses secara efektif sehingga kinerja tetap optimal. Namun, apabila tuntutan tugas melebihi kapasitas kognitif yang tersedia, individu akan mengalami kelebihan beban kognitif (*cognitive overload*). Kondisi ini ditandai oleh meningkatnya kesalahan, lambatnya waktu respons,

kesulitan mempertahankan perhatian, serta penurunan kemampuan pengambilan keputusan. Sebaliknya, beban kerja mental yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebosanan, hilangnya kewaspadaan, dan menurunnya motivasi kerja. Dengan demikian, hubungan antara beban kerja mental dan performa kerja umumnya mengikuti pola kurva berbentuk U terbalik, di mana kinerja terbaik dicapai pada tingkat beban kerja yang moderat.

Bergman et al. (2021) menemukan bahwa persepsi pekerja terhadap beban kerja mental dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kompleksitas tugas, variasi produk, tekanan kualitas, gangguan informasi, kebutuhan multitasking, serta keterbatasan waktu dalam menyelesaikan pekerjaan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kondisi kerja yang menuntut pemrosesan informasi secara terus-menerus dapat meningkatkan tekanan kognitif dan memengaruhi performa operator di lingkungan manufaktur modern.

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Beban Kerja Mental

Beban kerja mental dipengaruhi oleh kombinasi faktor internal dan eksternal.

Faktor Internal	Faktor Eksternal
• Tingkat pendidikan • Pengalaman kerja • Kapasitas memori kerja • Kondisi kesehatan • Motivasi • Tingkat stres • Kelelahan mental • Kemampuan adaptasi terhadap teknologi	• Kompleksitas pekerjaan • Jumlah informasi yang harus diproses • Tekanan waktu (time pressure) • Sistem kerja multitugas • Kebisingan lingkungan • Desain antarmuka pengguna • Tingkat otomatisasi sistem

Pekerja yang memiliki pengalaman lebih banyak biasanya mampu mengembangkan strategi penyelesaian tugas yang lebih efisien sehingga dapat mengurangi penggunaan sumber daya kognitif.

Sebaliknya, individu yang mengalami stres berkepanjangan cenderung menunjukkan penurunan kapasitas perhatian dan memori kerja.

3. Dimensi Beban Kerja Mental

Secara multidimensional, beban kerja mental terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

a. Mental Demand

Menggambarkan tingkat aktivitas berpikir yang diperlukan selama pelaksanaan tugas, seperti mengingat, menghitung, menganalisis, dan membuat keputusan.

b. Physical Demand

Menunjukkan tingkat aktivitas fisik yang masih diperlukan selama pekerjaan berlangsung.

c. Temporal Demand

Menggambarkan tekanan waktu yang dirasakan pekerja dalam menyelesaikan tugas.

d. Performance

Menunjukkan persepsi individu terhadap keberhasilan atau kegagalan dalam mencapai target pekerjaan.

e. Effort

Menggambarkan seberapa besar usaha mental dan fisik yang harus dikeluarkan agar dapat mempertahankan performa kerja.

f. Frustration Level

Mengukur tingkat stres, ketegangan, kecemasan, atau ketidaknyamanan psikologis yang dialami pekerja selama menjalankan tugas.

Keenam dimensi tersebut menjadi dasar dalam instrumen NASA Task Load Index (NASA-TLX) yang hingga saat ini masih merupakan metode subjektif yang paling banyak digunakan untuk mengukur beban kerja mental pada berbagai sektor industri, kesehatan, pendidikan, transportasi, dan sistem berbasis teknologi cerdas.

4. Metode Pengukuran Beban Kerja Mental

Pengukuran beban kerja mental dapat dilakukan melalui tiga pendekatan utama.

a. Metode Subjektif

Metode subjektif dilakukan dengan meminta pekerja menilai tingkat beban kerja yang mereka rasakan.

Instrumen yang paling sering digunakan adalah:

- NASA-TLX
- SWAT (Subjective Workload Assessment Technique)
- RSME (Rating Scale Mental Effort)

NASA-TLX menjadi metode yang paling populer karena mampu mengevaluasi beban kerja berdasarkan enam dimensi utama dan relatif mudah diterapkan pada berbagai jenis pekerjaan.

b. Metode Objektif

Metode objektif menggunakan indikator fisiologis untuk menggambarkan aktivitas mental pekerja.

Parameter yang sering digunakan meliputi:

- Variabilitas denyut jantung (Heart Rate Variability)
- Elektroensefalografi (EEG)
- Diameter pupil mata
- Frekuensi kedipan mata
- Aktivitas galvanik kulit

Wu et al. (2024) menemukan adanya hubungan positif antara skor NASA-TLX dengan perubahan diameter pupil, yang menunjukkan bahwa respons fisiologis dapat digunakan sebagai indikator objektif untuk menilai peningkatan beban kerja mental.

c. Metode Berbasis Kinerja

Pendekatan ini mengevaluasi perubahan performa individu selama menyelesaikan tugas.

Indikator yang umum digunakan antara lain:

- Waktu penyelesaian tugas
- Tingkat kesalahan
- Produktivitas
- Akurasi kerja

Fogelberg et al. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi pengukuran subjektif, fisiologis, dan berbasis kinerja menghasilkan penilaian beban kerja mental yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu metode saja.

5. Dampak Beban Kerja Mental

Beban kerja mental yang tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap individu maupun organisasi, antara lain:

- Menurunkan konsentrasi dan perhatian
- Mengurangi kapasitas memori kerja
- Meningkatkan tingkat kesalahan manusia (human error)
- Menyebabkan kelelahan mental (mental fatigue)
- Memicu stres kerja dan burnout
- Menurunkan produktivitas
- Meningkatkan risiko kecelakaan kerja

Sebaliknya, pengelolaan beban kerja mental yang baik mampu meningkatkan kualitas pengambilan keputusan, menjaga kesejahteraan psikologis pekerja, serta mempertahankan performa kerja dalam jangka panjang.

D. Human Error

Human error atau kesalahan manusia merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap kecelakaan kerja, kegagalan sistem, penurunan kualitas produk, dan gangguan operasional pada berbagai sektor, seperti industri manufaktur, transportasi, penerbangan, kesehatan, energi nuklir, serta sistem berbasis teknologi canggih. Dalam perspektif ergonomi kognitif, *human error* didefinisikan sebagai kegagalan seseorang dalam melaksanakan tindakan yang direncanakan sebagaimana mestinya, atau penggunaan rencana tindakan yang tidak sesuai untuk mencapai tujuan tertentu. Namun, perkembangan penelitian ergonomi modern menunjukkan bahwa *human error* tidak lagi dipandang semata-mata sebagai kesalahan individu, melainkan sebagai konsekuensi dari interaksi yang kompleks antara manusia, teknologi, tugas, organisasi, dan lingkungan kerja. Pendekatan sistemik ini menekankan bahwa kesalahan manusia sering kali merupakan gejala dari kelemahan sistem yang lebih luas, sehingga pencegahan kecelakaan

perlu difokuskan pada perbaikan sistem kerja secara menyeluruh daripada hanya menyalahkan operator.

1. Konsep Human Error dalam Ergonomi dan Keselamatan Kerja

Secara tradisional, *human error* dipahami sebagai penyimpangan perilaku manusia dari prosedur, standar, atau tujuan yang telah ditetapkan. Definisi ini berkembang dari teori yang dikemukakan oleh James Reason melalui Swiss Cheese Model, yang menjelaskan bahwa kecelakaan terjadi akibat kombinasi berbagai kelemahan pertahanan organisasi yang memungkinkan kesalahan individu menembus lapisan-lapisan pengamanan. Meskipun model tersebut masih banyak digunakan, penelitian terkini menunjukkan bahwa pendekatan yang terlalu berorientasi pada individu memiliki keterbatasan karena mengabaikan faktor sistemik yang memengaruhi perilaku pekerja. Read et al. (2021) menyatakan bahwa pemahaman mengenai *human error* telah bergeser dari paradigma individu menuju paradigma sistem sosioteknis (*sociotechnical systems*), di mana kesalahan dipandang sebagai hasil interaksi dinamis antara manusia dan elemen-elemen sistem lainnya.

Dalam lingkungan kerja modern, operator sering dihadapkan pada kondisi yang kompleks, seperti tingginya volume informasi, tekanan waktu, multitasking, perubahan prosedur, dan peningkatan otomatisasi. Situasi tersebut dapat meningkatkan tuntutan kognitif sehingga kapasitas pemrosesan informasi manusia menjadi terbatas. Ketika tuntutan tugas melebihi kemampuan kognitif yang tersedia, kemungkinan terjadinya kesalahan akan meningkat. Oleh karena itu, *human error* saat ini dipahami sebagai indikator adanya ketidaksesuaian antara tuntutan sistem dengan kemampuan manusia dalam memproses informasi, mempertahankan perhatian, mengingat prosedur, serta mengambil keputusan secara tepat.

2. Klasifikasi Human Error

Salah satu klasifikasi *human error* yang masih digunakan secara luas adalah klasifikasi yang dikembangkan oleh Reason, yang membedakan kesalahan menjadi slips, lapses, mistakes, dan violations.

a. Slips

Slip merupakan kesalahan yang terjadi ketika seseorang memiliki tujuan dan rencana tindakan yang benar, tetapi gagal mengeksekusi tindakan tersebut dengan tepat. Kesalahan ini biasanya berkaitan dengan gangguan perhatian, distraksi, atau aktivitas rutin yang dilakukan secara otomatis. Contohnya adalah operator yang bermaksud menekan tombol tertentu tetapi justru menekan tombol lain karena kurang fokus.

b. Lapses

Lapse adalah kesalahan yang disebabkan oleh kegagalan memori. Individu mengetahui apa yang harus dilakukan, tetapi lupa melakukan langkah tertentu dalam prosedur kerja. Contoh yang sering ditemukan adalah pekerja yang lupa mengencangkan baut terakhir pada proses perakitan meskipun telah memahami prosedurnya.

c. Mistakes

Mistake terjadi ketika individu melakukan tindakan sesuai rencana, tetapi rencana tersebut sebenarnya tidak tepat. Kesalahan ini berkaitan dengan proses berpikir, pengetahuan, atau pengambilan keputusan yang kurang akurat. *Mistake* dibedakan menjadi dua kategori, yaitu *rule-based mistakes* yang terjadi akibat penerapan aturan yang tidak sesuai, dan *knowledge-based mistakes* yang muncul karena kurangnya pengalaman atau pemahaman terhadap situasi yang dihadapi.

d. Violations

Violation merupakan penyimpangan yang disengaja terhadap prosedur, aturan, atau standar keselamatan yang berlaku. Tidak seperti *slips*, *lapses*, dan *mistakes*, pelanggaran dilakukan secara sadar. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa pelanggaran sering kali dipengaruhi oleh tekanan produksi, budaya organisasi, target waktu yang ketat, serta kebiasaan kerja yang berkembang di lingkungan kerja tertentu. Oleh karena itu, pelanggaran tidak selalu dapat dipandang sebagai tindakan individu semata, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi organisasi dan sistem kerja yang ada.

3. Faktor Penyebab Human Error

Human error dipengaruhi oleh berbagai faktor internal maupun eksternal.

Faktor internal	Faktor eksternal
• Kelelahan fisik dan mental; • Beban kerja mental yang tinggi; • Tingkat stres; • Kurangnya pengalaman kerja; • Kapasitas memori kerja yang terbatas; • Penurunan konsentrasi; • Kurangnya kompetensi dan pelatihan.	• Kompleksitas tugas; • Desain antarmuka yang buruk; • Lingkungan kerja yang bising; • Tekanan waktu (<i>time pressure</i>); • Sistem kerja multitugas; • Komunikasi yang tidak efektif; • Budaya keselamatan yang lemah; • Tingkat otomatisasi yang tinggi.

Pada era digital dan Industry 5.0, interaksi manusia dengan sistem otomatis semakin intensif. Operator tidak hanya melakukan pekerjaan manual, tetapi juga bertugas memantau sistem, menginterpretasikan data, serta mengambil keputusan dalam waktu singkat. Kondisi ini menyebabkan faktor-faktor kognitif seperti kesadaran situasional, keandalan manusia, dan kemampuan pengambilan keputusan menjadi semakin penting dalam mencegah terjadinya *human error*.

4. Pendekatan Modern dalam Analisis Human Error

Pendekatan kontemporer dalam ergonomi dan keselamatan kerja menekankan bahwa investigasi kecelakaan tidak seharusnya berhenti pada identifikasi kesalahan operator. Sebaliknya, analisis perlu dilakukan terhadap keseluruhan sistem sosioteknis yang mencakup faktor organisasi, kebijakan manajemen, desain teknologi, prosedur operasional, serta kondisi lingkungan kerja. Berbagai metode berbasis sistem telah banyak digunakan untuk memahami penyebab *human error*, di antaranya:

- AcciMap
- Systems-Theoretic Accident Model and Processes (STAMP-STPA)
- Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

- Cognitive Work Analysis (CWA)

Metode-metode tersebut memungkinkan peneliti mengidentifikasi hubungan antar komponen sistem yang berkontribusi terhadap munculnya kesalahan dan kecelakaan. Penggunaan pendekatan sistemik juga sejalan dengan perkembangan paradigma Safety-II, yang memandang manusia bukan hanya sebagai sumber kesalahan, tetapi juga sebagai sumber fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi dalam menjaga keberhasilan operasi sistem yang kompleks.

5. Strategi Pencegahan Human Error

Upaya pengendalian *human error* dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, antara lain:

1. Perancangan sistem yang berpusat pada manusia (*human-centered design*).
2. Penyederhanaan prosedur kerja dan antarmuka pengguna.
3. Peningkatan kualitas pelatihan dan simulasi kerja.
4. Pengurangan beban kerja mental dan tekanan waktu.
5. Penguatan budaya keselamatan organisasi.
6. Penerapan sistem pendukung keputusan berbasis kecerdasan buatan.
7. Monitoring kondisi operator secara real-time menggunakan indikator fisiologis dan kognitif.

Pendekatan tersebut bertujuan untuk meningkatkan keandalan manusia (*human reliability*) sekaligus memperkuat kemampuan sistem dalam mengantisipasi, mendeteksi, dan memulihkan kondisi yang berpotensi menimbulkan kegagalan operasional.

E. Pengambilan Keputusan dalam Sistem Kerja

Pengambilan keputusan (*decision-making*) dalam sistem kerja merupakan proses kognitif yang digunakan individu atau kelompok untuk memilih tindakan terbaik dari beberapa alternatif yang tersedia guna mencapai tujuan organisasi, menjaga keselamatan kerja, dan mempertahankan kinerja sistem. Dalam perspektif ergonomi kognitif, pengambilan keputusan tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan

individu dalam menganalisis informasi, tetapi juga oleh karakteristik tugas, desain antarmuka, tingkat otomatisasi, kondisi lingkungan kerja, budaya organisasi, serta interaksi antara manusia dan teknologi. Pada sistem kerja modern yang semakin kompleks, pengambilan keputusan dipandang sebagai hasil interaksi dinamis antara manusia, teknologi, dan organisasi dalam suatu sistem sosioteknis (*sociotechnical system*).

Pengambilan keputusan merupakan tahapan akhir dari proses pengolahan informasi manusia. Individu terlebih dahulu menerima informasi melalui sistem sensorik, memusatkan perhatian pada informasi yang dianggap relevan, mengolah informasi tersebut dalam memori kerja, membandingkannya dengan pengalaman atau pengetahuan yang tersimpan dalam memori jangka panjang, kemudian mengevaluasi berbagai alternatif tindakan sebelum memilih respons yang paling sesuai. Kualitas keputusan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kapasitas kognitif manusia yang terbatas. Ketika jumlah informasi yang harus diproses melebihi kapasitas memori kerja, individu dapat mengalami *cognitive overload* yang berdampak pada menurunnya akurasi penilaian, meningkatnya waktu respons, serta bertambahnya kemungkinan terjadinya *human error*.

1. Model Pengambilan Keputusan dalam Sistem Kerja

a. Model Rasional (*Rational Decision-Making Model*)

Model rasional menjelaskan bahwa pengambilan keputusan dilakukan melalui tahapan yang sistematis, yaitu mengidentifikasi masalah, mengumpulkan informasi, menyusun alternatif solusi, mengevaluasi konsekuensi setiap alternatif, memilih alternatif terbaik, serta melakukan implementasi dan evaluasi hasil keputusan. Model ini mengasumsikan bahwa pengambil keputusan memiliki akses terhadap seluruh informasi yang dibutuhkan dan mampu mengevaluasi setiap alternatif secara objektif. Namun, dalam praktiknya, asumsi tersebut jarang terpenuhi karena manusia memiliki keterbatasan kapasitas kognitif, waktu, dan sumber daya. Oleh karena itu, keputusan dalam lingkungan kerja nyata sering kali diambil dalam kondisi ketidakpastian dan informasi yang tidak lengkap.

b. Model Rasionalitas Terbatas (*Bounded Rationality*)

Konsep rasionalitas terbatas menjelaskan bahwa manusia tidak selalu mampu menghasilkan keputusan yang benar-benar optimal karena keterbatasan kemampuan dalam memproses informasi. Individu cenderung mencari solusi yang dianggap cukup baik (*satisficing*) dibandingkan solusi yang paling optimal. Dalam lingkungan industri, operator sering dihadapkan pada tekanan waktu, banyaknya data yang harus dianalisis, serta tuntutan untuk mempertahankan kontinuitas operasi. Kondisi tersebut menyebabkan keputusan lebih banyak dipengaruhi oleh pengalaman, intuisi, serta strategi penyederhanaan masalah (*heuristics*) dibandingkan analisis menyeluruh terhadap seluruh alternatif yang tersedia.

c. *Naturalistic Decision-Making* (NDM)

Pendekatan *Naturalistic Decision-Making* berkembang untuk menjelaskan bagaimana para ahli mengambil keputusan pada lingkungan yang dinamis, kompleks, dan berisiko tinggi, seperti ruang kendali pembangkit listrik, pusat kendali lalu lintas udara, instalasi migas, pelayanan kesehatan, dan operasi militer. Model ini menyatakan bahwa pengambil keputusan yang berpengalaman tidak selalu membandingkan berbagai alternatif tindakan, tetapi lebih sering mengenali pola situasi berdasarkan pengalaman sebelumnya. Setelah suatu pola dikenali, individu akan melakukan simulasi mental terhadap kemungkinan hasil tindakan tersebut sebelum memutuskan untuk melaksanakannya. Pendekatan ini sangat relevan pada sistem kerja yang memerlukan respons cepat dan tidak memungkinkan analisis yang panjang.

2. Faktor yang Mempengaruhi Pengambilan Keputusan dalam Sistem Kerja

Pengambilan keputusan dipengaruhi oleh faktor individu, faktor pekerjaan, faktor organisasi, dan faktor teknologi.

Faktor Individu	Faktor individu mencakup pengalaman kerja, tingkat kompetensi, kapasitas memori kerja, kemampuan
------------------------	--

	analitis, kondisi kesehatan, motivasi, tingkat stres, dan kelelahan mental. Operator yang memiliki pengalaman tinggi umumnya mampu mengenali pola masalah lebih cepat sehingga dapat menghasilkan keputusan yang lebih akurat dibandingkan pekerja yang belum berpengalaman.
Faktor Pekerjaan	Karakteristik pekerjaan seperti kompleksitas tugas, tekanan waktu (<i>time pressure</i>), multitasking, tingkat risiko, dan beban kerja mental memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas keputusan. Beban kerja mental yang berlebihan dapat mengurangi perhatian, meningkatkan kelelahan kognitif, serta memperbesar kemungkinan kesalahan dalam memilih tindakan yang tepat.
Faktor Organisasi	Budaya organisasi, sistem komunikasi, kepemimpinan, prosedur operasional standar, dan koordinasi antaranggota tim turut menentukan efektivitas pengambilan keputusan. Ergonomi organisasi menekankan pentingnya desain struktur kerja, mekanisme koordinasi, dan sistem komunikasi yang mendukung proses pengambilan keputusan secara kolaboratif.
Faktor Teknologi	Pada era Industry 4.0 dan Industry 5.0, teknologi informasi, sistem otomatisasi, kecerdasan buatan, dan <i>decision support systems</i> semakin banyak digunakan untuk membantu pekerja dalam mengambil keputusan. Namun, implementasi teknologi tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja apabila tidak mempertimbangkan karakteristik sistem kerja secara keseluruhan. Salwei dan Carayon (2022) menjelaskan bahwa desain teknologi berbasis kecerdasan buatan harus mempertimbangkan alur kerja, kebutuhan pengguna, preferensi operator, serta interaksi sosial

	yang terjadi di dalam sistem kerja agar keputusan yang dihasilkan tetap efektif dan dapat dipercaya.
--	--

3. Pengambilan Keputusan dalam Perspektif Sistem Socioteknis

Pendekatan sistem socioteknis memandang pengambilan keputusan sebagai hasil interaksi antara subsistem sosial dan subsistem teknis. Subsistem sosial meliputi pekerja, tim kerja, budaya organisasi, dan kebijakan manajemen, sedangkan subsistem teknis mencakup mesin, perangkat lunak, sistem informasi, dan teknologi otomatisasi. Optimalisasi salah satu subsistem tanpa mempertimbangkan subsistem lainnya dapat menurunkan kualitas keputusan dan mengurangi performa sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, sistem kerja modern perlu dirancang dengan pendekatan *human-centered design* yang mampu mendukung kemampuan kognitif manusia, mengurangi beban kerja mental, serta meningkatkan ketahanan sistem terhadap kondisi yang tidak terduga

F. Desain Antarmuka dan Mesin (*Human-Machine Interface Design*)

Desain antarmuka dan mesin (*Human-Machine Interface/HMI*) merupakan bidang dalam ergonomi kognitif yang berfokus pada perancangan media interaksi antara manusia dengan mesin, sistem komputer, perangkat lunak, maupun teknologi otomatisasi agar interaksi yang terjadi berlangsung secara efektif, efisien, aman, dan nyaman. Antarmuka berfungsi sebagai jembatan komunikasi yang memungkinkan pengguna menerima informasi dari sistem, memahami kondisi operasional, mengambil keputusan, serta memberikan respons atau perintah kepada mesin. Dalam konteks industri modern, desain antarmuka tidak lagi hanya berorientasi pada aspek estetika dan kemudahan penggunaan (*usability*), tetapi juga mempertimbangkan kemampuan perseptual, kapasitas pemrosesan informasi, beban kerja mental, tingkat kepercayaan terhadap otomatisasi, serta karakteristik

pengguna yang beragam. Pendekatan ergonomi kognitif menekankan bahwa desain antarmuka yang baik harus mampu menyesuaikan tuntutan sistem dengan kemampuan kognitif manusia sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan manusia (*human error*) dan meningkatkan kualitas pengambilan keputusan.

1. Konsep Dasar Desain Antarmuka dan Mesin

Desain antarmuka manusia-mesin merupakan bagian dari sistem sosioteknis yang menghubungkan subsistem manusia dengan subsistem teknologi. Pada awal perkembangan industri, interaksi manusia dan mesin dilakukan melalui tuas, sakelar, tombol mekanis, serta indikator analog. Seiring berkembangnya teknologi digital, antarmuka telah berevolusi menjadi layar sentuh (*touchscreen*), panel kendali digital, sistem realitas virtual (*Virtual Reality*), realitas tertambah (*Augmented Reality*), *wearable devices*, hingga antarmuka berbasis kecerdasan buatan. Perubahan ini menyebabkan operator tidak lagi berperan sebagai pelaksana tugas manual, tetapi juga sebagai pengawas sistem, pengolah informasi, dan pengambil keputusan pada lingkungan kerja yang semakin kompleks. Oleh karena itu, desain antarmuka modern harus mempertimbangkan prinsip *human-centered design*, yaitu pendekatan perancangan yang menempatkan kebutuhan, kemampuan, keterbatasan, dan pengalaman pengguna sebagai fokus utama dalam pengembangan sistem.



Menurut standar ISO 9241-210, desain antarmuka yang berpusat pada manusia harus dikembangkan melalui proses iteratif yang

melibatkan pengguna sejak tahap identifikasi kebutuhan, perancangan prototipe, pengujian kegunaan, hingga evaluasi sistem. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan benar-benar sesuai dengan konteks penggunaan dan dapat mendukung aktivitas kerja secara optimal. Penelitian Ioniță et al. (2025) menunjukkan bahwa antarmuka yang efektif tidak hanya harus memenuhi aspek kegunaan (*usability*), tetapi juga harus mampu meningkatkan ketahanan sistem (*resilience*), personalisasi interaksi, keberlanjutan, serta kualitas pengalaman pengguna pada lingkungan manufaktur cerdas.

2. Prinsip-Prinsip Desain Antarmuka dan Mesin

a. Visibilitas Informasi (*Visibility*)

Visibilitas mengacu pada kemampuan antarmuka untuk menyajikan informasi yang relevan secara jelas sehingga pengguna dapat memahami kondisi sistem dengan cepat. Informasi yang penting, seperti status mesin, indikator bahaya, alarm, atau parameter proses, harus ditampilkan pada posisi yang mudah dilihat dan dibedakan dari informasi lain.

Penggunaan warna, ukuran huruf, simbol, serta kontras visual harus dirancang sedemikian rupa agar dapat meningkatkan keterbacaan informasi. Penyajian informasi yang terlalu banyak pada satu tampilan dapat meningkatkan *information overload*, yaitu kondisi ketika jumlah informasi yang tersedia melebihi kapasitas pemrosesan informasi manusia sehingga mengurangi perhatian dan meningkatkan kemungkinan kesalahan.

b. Konsistensi (*Consistency*)

Konsistensi merupakan prinsip yang menekankan keseragaman tampilan, simbol, ikon, warna, terminologi, serta mekanisme interaksi dalam seluruh sistem antarmuka. Konsistensi memungkinkan pengguna mempelajari sistem dengan lebih cepat karena pola interaksi yang digunakan tetap sama pada berbagai kondisi.

Sebagai contoh, tombol berwarna merah secara umum digunakan untuk fungsi penghentian darurat (*emergency stop*), sedangkan warna

hijau digunakan untuk menunjukkan kondisi aman atau operasi normal. Ketidakkonsistenan dalam penggunaan simbol dan warna dapat menyebabkan kebingungan pengguna, memperlambat waktu respons, serta meningkatkan risiko kesalahan operasional.

c. Umpan Balik (*Feedback*)

Umpan balik merupakan informasi yang diberikan sistem kepada pengguna setelah suatu tindakan dilakukan. Umpan balik dapat berupa perubahan warna, suara peringatan, getaran, pesan teks, maupun animasi visual.

Tujuan utama umpan balik adalah memastikan bahwa pengguna mengetahui apakah perintah yang diberikan telah diterima dan dijalankan oleh sistem. Sistem yang tidak memberikan umpan balik secara memadai dapat menyebabkan ketidakpastian, meningkatkan beban kerja mental, dan menurunkan kepercayaan pengguna terhadap otomatisasi.

d. Kompatibilitas (*Compatibility*)

Kompatibilitas mengacu pada kesesuaian antara karakteristik antarmuka dengan ekspektasi, pengalaman, serta model mental pengguna. Sebagai contoh, pergerakan indikator ke arah kanan biasanya diasosiasikan dengan peningkatan nilai, sedangkan pergerakan ke kiri diasosiasikan dengan penurunan nilai. Ketidaksesuaian antara desain sistem dengan model mental pengguna dapat menyebabkan kesalahan interpretasi informasi dan memperpanjang waktu pengambilan keputusan.

e. Kesederhanaan (*Simplicity*)

Prinsip kesederhanaan bertujuan untuk mengurangi kompleksitas visual dan meminimalkan jumlah langkah yang diperlukan pengguna dalam menyelesaikan suatu tugas.

Antarmuka yang terlalu rumit dapat meningkatkan beban kerja mental, mengurangi kapasitas perhatian, serta menimbulkan kelelahan kognitif. Oleh karena itu, informasi sebaiknya disajikan menggunakan

prinsip *chunking*, yaitu pengelompokan informasi ke dalam unit-unit kecil yang lebih mudah dipahami dan diingat oleh pengguna.

Darejeh et al. (2024) menemukan bahwa pengurangan kompleksitas tampilan dan penerapan metode pengukuran *cognitive load* mampu meningkatkan efektivitas evaluasi kegunaan berbagai jenis antarmuka, termasuk aplikasi web, sistem informasi, robotika, dan lingkungan virtual.

3. Desain Antarmuka dalam Perspektif Ergonomi Kognitif

Ergonomi kognitif memandang antarmuka sebagai media utama dalam proses persepsi, pemrosesan informasi, dan pengambilan keputusan. Antarmuka yang dirancang dengan baik dapat membantu operator mempertahankan kesadaran situasional (*situation awareness*), mengurangi beban kerja mental, serta meningkatkan akurasi pengambilan keputusan.

Sebaliknya, desain antarmuka yang buruk dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti:

- Peningkatan *mental workload*;
- Kesalahan interpretasi informasi;
- Penurunan perhatian;
- Kelelahan mental (*mental fatigue*);
- Berkurangnya kepercayaan terhadap sistem otomatis;
- Meningkatkan risiko *human error*.

Penelitian mengenai antarmuka kendaraan otomatis menunjukkan bahwa desain HMI yang berbeda dapat menghasilkan tingkat beban kerja mental yang berbeda pula. Pengukuran menggunakan *electrocardiography* (ECG), *electrodermal activity* (EDA), dan NASA-TLX menunjukkan bahwa antarmuka yang lebih transparan dan intuitif mampu menurunkan beban kerja mental pengguna dibandingkan antarmuka yang kompleks dan kurang informatif.

4. Antarmuka Adaptif pada Era Industry 5.0

Perkembangan Industry 5.0 mendorong munculnya konsep **adaptive interface**, yaitu antarmuka yang dapat menyesuaikan

tampilan, jumlah informasi, dan metode interaksi berdasarkan kondisi pengguna secara real-time.

Antarmuka adaptif dapat memanfaatkan berbagai teknologi, seperti:

- *Eye tracking*;
- Sensor fisiologis;
- Kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*);
- *Machine learning*;
- *Digital twin*;
- Realitas virtual dan realitas tertambah.

Teknologi tersebut memungkinkan sistem mendeteksi peningkatan beban kerja mental, kelelahan, maupun penurunan perhatian pengguna, kemudian secara otomatis menyederhanakan tampilan atau mengubah metode penyajian informasi. Pendekatan ini diyakini mampu meningkatkan keselamatan kerja, produktivitas, dan kesejahteraan operator pada lingkungan kerja cerdas di masa depan.

BAB 7

LINGKUNGAN KERJA FISIK

Tri Ernita,ST,MP,IPM

Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang

A. Pendahuluan

Lingkungan kerja fisik adalah seluruh kondisi fisik di sekitar pekerja yang dapat memengaruhi proses kerja, kenyamanan, kesehatan, keselamatan, produktivitas, dan kualitas hasil kerja. Dalam konteks Teknik Industri, lingkungan kerja fisik sangat penting karena pekerja merupakan bagian dari sistem kerja yang berinteraksi dengan mesin, peralatan, metode kerja, material, dan lingkungan. Lingkungan kerja fisik meliputi faktor-faktor seperti:

Tabel 7. 1 Faktor Lingkungan Fisik Contoh di Tempat Kerja

Pencahayaan	Cahaya lampu, cahaya alami, silau, bayangan
Kebisingan	Suara mesin produksi, kompresor, blower, kendaraan
Getaran	Mesin gerinda, bor, forklift, alat berat
Temperatur	Suhu ruang produksi, dapur industri, gudang, ruang boiler
Kelembaban	Udara terlalu lembab atau terlalu kering
Aliran udara	Ventilasi, kipas, AC, exhaust fan
Radiasi panas	Furnace, oven, pengelasan, mesin panas

Dalam Teknik Industri, lingkungan kerja fisik bukan hanya dibahas sebagai aspek K3, tetapi juga sebagai faktor yang memengaruhi **efisiensi kerja, beban kerja, kesalahan kerja, kelelahan, kualitas produk, dan produktivitas**.

Pentingnya Lingkungan Kerja Fisik dalam Teknik Industri

Lingkungan kerja fisik yang buruk dapat menyebabkan pekerja cepat lelah, sulit berkonsentrasi, lambat merespons, sering melakukan

kesalahan, bahkan mengalami penyakit akibat kerja. Sebaliknya, lingkungan kerja yang baik dapat meningkatkan kenyamanan, ketelitian, keselamatan, dan produktivitas.

Dalam sistem kerja industri, lingkungan fisik berhubungan langsung dengan:

Tabel 7. 2 Hubungan system Kerja Industri dan Lingkungan Fisik

Aspek Teknik Industri	Hubungan dengan Lingkungan Kerja Fisik
Ergonomi	Menyesuaikan lingkungan dengan kemampuan manusia
Produktivitas	Lingkungan nyaman meningkatkan output kerja
Kualitas	Pencahayaan baik mengurangi cacat inspeksi
Keselamatan kerja	Kebisingan, panas, dan getaran berlebih meningkatkan risiko kecelakaan
Perancangan fasilitas	Tata letak, ventilasi, pencahayaan, dan jarak mesin perlu diperhitungkan
Human performance	Lingkungan memengaruhi konsentrasi, kecepatan, ketelitian, dan kelelahan

B. Pencahayaan / Lighting

Pencahayaan adalah jumlah cahaya yang diterima oleh suatu bidang kerja agar pekerja dapat melihat objek kerja dengan jelas, nyaman, dan aman. Dalam Permenaker No. 5 Tahun 2018, pencahayaan di tempat kerja dibedakan menjadi **pencahayaan alami** yang berasal dari sinar matahari dan **pencahayaan buatan** yang berasal dari sumber selain cahaya alami.

Pencahayaan yang baik harus memenuhi beberapa prinsip:

Tabel 7. 3 Prinsip Pencahayaan yang baik

Prinsip	Penjelasan
Cukup terang	Tidak terlalu redup
Tidak menyilaukan	Tidak menyebabkan glare
Merata	Tidak banyak bayangan tajam

Sesuai jenis pekerjaan	Pekerjaan detail membutuhkan cahaya lebih tinggi
Stabil	Tidak berkedip-kedip
Aman	Tidak menimbulkan panas berlebih atau risiko listrik

Jenis Pencahayaan

a. Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami berasal dari cahaya matahari. Keunggulannya adalah hemat energi dan memberi kesan nyaman, tetapi kelemahannya tidak stabil karena tergantung cuaca, waktu, dan arah bangunan.

b. Pencahayaan Buatan

Pencahayaan buatan berasal dari lampu, seperti LED, fluorescent, lampu pijar, atau lampu industri. Pencahayaan buatan lebih mudah dikendalikan intensitas dan distribusinya.

c. Pencahayaan Umum

Pencahayaan yang menerangi seluruh ruangan secara merata.

d. Pencahayaan Setempat

Pencahayaan yang difokuskan pada area kerja tertentu, misalnya lampu meja inspeksi, lampu mesin jahit, atau lampu area perakitan.

Standar Pencahayaan Tempat Kerja

Permenaker No. 5 Tahun 2018 menetapkan standar pencahayaan berdasarkan jenis pekerjaan. Beberapa contoh intensitas pencahayaan adalah: penerangan darurat 5 lux, halaman dan jalan 20 lux, pekerjaan kasar 50 lux, pekerjaan membedakan barang kecil secara sepiantas 100 lux, pekerjaan agak teliti 200 lux, pekerjaan teliti 300 lux, pekerjaan halus 500–1.000 lux, dan pekerjaan sangat halus 1.000 lux.

Tabel 7. 4 Standar Pencahayaan Tempat Kerja

Jenis Pekerjaan / Area	Standar Pencahayaan
Penerangan darurat	5 lux
Halaman dan jalan	20 lux
Gudang barang besar/kasar, tangga, gang	50 lux

Toilet, ruang penerimaan, ruang penyimpanan sedang	100 lux
Pekerjaan agak teliti, bubut kasar, menjahit bahan terang, pekerjaan kayu	200 lux
Pekerjaan kantor, membaca, menulis, arsip, pemeriksaan teliti	300 lux
Akuntansi, mengetik lama, pemasangan halus, pekerjaan mesin halus	500–1.000 lux
Pekerjaan sangat halus, arloji, ampul obat, tukang emas, pemeriksaan cetak	1.000 lux

SNI 7062:2019 menetapkan metode pengukuran intensitas pencahayaan di tempat kerja menggunakan **lux meter**, dan standar ini berstatus berlaku menurut katalog BSN.

Pencahayaan merupakan salah satu faktor lingkungan kerja fisik yang sangat berpengaruh terhadap kenyamanan, kesehatan, keselamatan, dan produktivitas pekerja. Pencahayaan yang tidak sesuai, baik terlalu redup, terlalu terang, tidak merata, menimbulkan bayangan, maupun lampu yang berkedip, dapat menyebabkan gangguan visual dan menurunkan kemampuan pekerja dalam melakukan aktivitas kerja secara teliti. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada pekerja, tetapi juga dapat memengaruhi kelancaran sistem kerja, seperti meningkatnya kesalahan inspeksi, cacat produk, waktu kerja yang lebih lama, hingga meningkatnya risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, identifikasi terhadap dampak pencahayaan yang tidak sesuai perlu dilakukan sebagai dasar dalam perbaikan lingkungan kerja.

Tabel 7. 5 Dampak Pencahayaan Tidak Sesuai

Kondisi Pencahayaan	Dampak terhadap Pekerja	Dampak terhadap Sistem Kerja
Terlalu redup	Mata cepat lelah, sakit kepala, sulit fokus	Kesalahan inspeksi, cacat produk meningkat
Terlalu terang	Silau, mata perih, tidak nyaman	Konsentrasi turun
Banyak bayangan	Objek sulit terlihat	Waktu kerja lebih lama
Lampu berkedip	Gangguan visual, pusing	Ketelitian menurun

Distribusi tidak merata	Area kerja tidak konsisten	Risiko kecelakaan meningkat
-------------------------	----------------------------	-----------------------------

Contoh Kasus Pencehayaan

Di sebuah ruang inspeksi produk terdapat pencahayaan rata-rata **180 lux**, sementara pekerjaan yang dilakukan adalah pemeriksaan detail produk kecil yang membutuhkan minimal **300 lux**.

Analisis:

- Kondisi pencahayaan belum memenuhi standar.
- Risiko yang mungkin terjadi adalah kesalahan inspeksi, cacat lolos ke pelanggan, mata cepat lelah, dan produktivitas menurun.
- Rekomendasi perbaikan: menambah lampu LED, membersihkan armatur lampu, mengatur ulang posisi lampu, menambah pencahayaan setempat pada meja inspeksi.

C. Kebisingan / Noise

Kebisingan adalah suara yang tidak dikehendaki dan dapat mengganggu kenyamanan, komunikasi, konsentrasi, serta kesehatan pendengaran pekerja. Dalam industri, kebisingan sering berasal dari mesin produksi, kompresor, generator, blower, conveyor, alat potong, kendaraan, dan aktivitas pemukulan material.

NIOSH menetapkan rekomendasi batas pajanan kebisingan kerja sebesar **85 dBA untuk rata-rata 8 jam kerja**, dan pekerja yang terpajan pada atau di atas nilai tersebut memerlukan program pencegahan kehilangan pendengaran.

Tabel 7. 6 Jenis Kebisingan

Jenis Kebisingan	Penjelasan	Contoh
Kontinu	Suara relatif tetap	Mesin diesel, blower
Terputus-putus	Suara muncul dan hilang	Mesin press periodik
Impulsif	Suara mendadak dan keras	Ledakan, palu, stamping
Fluktuatif	Intensitas naik turun	Area produksi campuran
Frekuensi tinggi	Nada tinggi	Gerinda, bor

Frekuensi rendah	Nada rendah	Kompresor besar, generator
------------------	-------------	-------------------------------

Permenaker No. 5 Tahun 2018 mencantumkan batas pajanan kebisingan, antara lain 85 dBA untuk 8 jam, 88 dBA untuk 4 jam, 91 dBA untuk 2 jam, 94 dBA untuk 1 jam, 97 dBA untuk 30 menit, dan 100 dBA untuk 15 menit.

Tabel 7. 7 Standar Kebisingan

Lama Pajanan per Hari	Intensitas Kebisingan
8 jam	85 dBA
4 jam	88 dBA
2 jam	91 dBA
1 jam	94 dBA
30 menit	97 dBA
15 menit	100 dBA

SNI 7231:2009 mengatur metode pengukuran intensitas kebisingan di tempat kerja, berstatus berlaku menurut BSN, dan menggunakan alat **sound level meter**.

Alat Ukur Kebisingan

Kebisingan merupakan salah satu faktor lingkungan kerja fisik yang dapat memengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan konsentrasi pekerja. Tingkat kebisingan yang melebihi batas aman dapat menyebabkan gangguan pendengaran, kelelahan, stres kerja, penurunan konsentrasi, hingga meningkatnya risiko kecelakaan kerja. Oleh karena itu, pengukuran kebisingan perlu dilakukan secara tepat menggunakan alat ukur yang sesuai agar kondisi lingkungan kerja dapat dievaluasi dan dikendalikan dengan baik. Beberapa alat yang umum digunakan untuk mengukur dan menganalisis kebisingan di tempat kerja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. 8 Alat Ukur Kebisingan

Alat	Fungsi
Sound Level Meter	Mengukur tingkat kebisingan sesaat
Noise Dosimeter	Mengukur pajanan kebisingan personal selama jam kerja

Octave Band Analyzer	Menganalisis frekuensi kebisingan
----------------------	-----------------------------------

Dampak Kebisingan

Kebisingan di tempat kerja dapat memberikan dampak negatif terhadap pekerja maupun produktivitas kerja. Paparan kebisingan yang berlebihan tidak hanya menyebabkan gangguan fisik, seperti gangguan pendengaran dan sakit kepala, tetapi juga dapat menimbulkan dampak psikologis, seperti stres, mudah marah, dan kelelahan mental. Selain itu, kebisingan juga dapat menurunkan konsentrasi pekerja sehingga meningkatkan kesalahan kerja dan risiko kecelakaan.

Tabel 7. 9 Dampak Kebisingan

Dampak Fisik	Dampak Psikologis	Dampak Produktivitas
Gangguan pendengaran	Mudah marah	Konsentrasi menurun
Tinnitus/telinga berdenging	Stres kerja	Kesalahan kerja meningkat
Tekanan darah meningkat	Sulit berkomunikasi	Waktu kerja lebih lama
Sakit kepala	Kelelahan mental	Kecelakaan meningkat

Pengendalian kebisingan dilakukan berdasarkan hierarki pengendalian:

Tabel 7. 10 Pengendalian Kebisingan

Level Pengendalian	Contoh
Eliminasi	Menghilangkan sumber bising
Substitusi	Mengganti mesin lama dengan mesin lebih senyap
Rekayasa teknik	Enclosure mesin, peredam, barrier, isolasi getaran
Administratif	Rotasi kerja, pembatasan waktu paparan
APD	Ear plug, ear muff

D. Getaran / Vibration

Getaran adalah gerakan bolak-balik suatu benda atau media dari posisi keseimbangannya. Dalam lingkungan kerja, getaran biasanya

berasal dari mesin, alat mekanis, kendaraan industri, alat berat, bor, gerinda, jack hammer, forklift, atau mesin produksi

Tabel 7. 11 Jenis Getaran

Jenis Getaran	Penjelasan	Contoh
Hand-Arm Vibration / HAV	Getaran yang masuk ke tangan dan lengan	Bor, gerinda, chainsaw, jack hammer
Whole Body Vibration / WBV	Getaran yang menjalar ke seluruh tubuh	Forklift, traktor, excavator, dump truck

Permenaker No. 5 Tahun 2018 mewajibkan pengukuran dan pengendalian getaran pada tempat kerja yang memiliki sumber getaran tangan-lengan maupun seluruh tubuh.

Untuk **getaran tangan dan lengan**, Permenaker No. 5 Tahun 2018 mencantumkan NAB berdasarkan waktu paparan. Contohnya: 6–8 jam sebesar 5 m/det², 4–<6 jam sebesar 6 m/det², 2–<4 jam sebesar 7 m/det², 1–<2 jam sebesar 10 m/det², 0,5–<1 jam sebesar 14 m/det², dan <0,5 jam sebesar 20 m/det².

Tabel 7. 12 Standar Getaran

Waktu Paparan per Hari	NAB Getaran Tangan-Lengan
6–8 jam	5 m/det ²
4–<6 jam	6 m/det ²
2–<4 jam	7 m/det ²
1–<2 jam	10 m/det ²
0,5–<1 jam	14 m/det ²
<0,5 jam	20 m/det ²

Untuk getaran seluruh tubuh, nilai acuan yang sering dirujuk dari Permenaker No. 5 Tahun 2018 adalah: 0,5 jam sebesar 3,4644 m/det², 1 jam sebesar 2,4497 m/det², 2 jam sebesar 1,7322 m/det², 4 jam sebesar 1,2249 m/det², dan 8 jam sebesar 0,8661 m/det².

Getaran merupakan salah satu faktor lingkungan kerja fisik yang perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan keselamatan pekerja. Getaran yang berasal dari mesin, alat kerja, maupun kendaraan kerja dapat menimbulkan gangguan pada tubuh

apabila terjadi secara terus-menerus. Oleh karena itu, pengukuran getaran perlu dilakukan menggunakan alat ukur yang sesuai agar tingkat paparan getaran dapat diketahui dan dikendalikan dengan baik.

Tabel 7. 13 Alat Ukur Getaran

Alat	Fungsi
Vibration meter	Mengukur percepatan getaran
Accelerometer	Sensor untuk mengukur getaran pada sumbu X, Y, Z
Human vibration meter	Mengukur pajanan getaran pada tubuh manusia

Satuan: m/det^2 atau m/s^2 .

Dampak Getaran terhadap Pekerja

Getaran di tempat kerja dapat memberikan dampak terhadap kesehatan dan kenyamanan pekerja, terutama jika paparan terjadi secara terus-menerus. Dampak getaran dapat berbeda tergantung pada jenis getaran yang diterima, seperti getaran tangan-lengan, getaran seluruh tubuh, maupun getaran dari mesin besar. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui jenis getaran dan dampaknya agar dapat dilakukan upaya pencegahan serta pengendalian risiko di lingkungan kerja.

Tabel 7. 14 Dampak Getaran terhadap Pekerja

Jenis Getaran	Dampak Kesehatan
Getaran tangan-lengan	Kesemutan, mati rasa, gangguan aliran darah, vibration white finger, gangguan saraf, nyeri sendi
Getaran seluruh tubuh	Nyeri pinggang, gangguan tulang belakang, kelelahan, mual, gangguan keseimbangan
Getaran mesin besar	Gangguan konsentrasi, penurunan kenyamanan kerja, risiko kecelakaan

Pengendalian getaran di lingkungan kerja perlu dilakukan untuk mengurangi risiko gangguan kesehatan, meningkatkan kenyamanan pekerja, serta mencegah terjadinya kerusakan pada mesin maupun peralatan. Upaya pengendalian dapat dilakukan melalui rekayasa teknik,

perawatan mesin, perbaikan desain alat, dan pengaturan administratif. Beberapa bentuk pengendalian getaran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. 15 Pengendalian Getaran

Jenis Pengendalian	Contoh
Rekayasa teknik	Peredam getaran, isolator, balancing mesin
Perawatan mesin	Pelumasan, pengencangan baut, penggantian bearing
Desain alat	Pegangan anti-vibration
Administratif	Rotasi kerja, pembatasan waktu pajanan
APD	Sarung tangan anti-getaran
Ergonomi	Kursi operator dengan suspensi, postur kerja baik

Contoh Kasus Getaran

Operator gerinda tangan terpajan getaran sebesar **12 m/det²** selama **2 jam per hari**.

Analisis:

- Untuk pajanan 1-<2 jam, NAB getaran tangan-lengan adalah 10 m/det².
- Nilai 12 m/det² melebihi batas.
- Rekomendasi: gunakan alat dengan getaran lebih rendah, lakukan maintenance, gunakan sarung tangan anti-getaran, dan kurangi durasi pajanan.

E. Temperatur dan Kelembaban

Temperatur kerja adalah tingkat panas atau dingin udara di lingkungan kerja yang dapat memengaruhi kenyamanan, metabolisme, kelelahan, dan keselamatan pekerja.

Tabel 7. 16 Faktor yang mempengaruhi Temperatur di tempat kerja

Faktor	Contoh
Suhu udara	Panas ruang produksi
Kelembaban	Udara lembab atau kering
Panas radiasi	Oven, furnace, matahari
Kecepatan udara	Ventilasi, kipas

Beban kerja	Kerja ringan, sedang, berat
Pakaian kerja	Coverall, APD tebal

OSHA merekomendasikan penggunaan **Wet Bulb Globe Temperature / WBGT** untuk menilai bahaya panas di tempat kerja karena memperhitungkan suhu udara, kelembaban, panas radiasi, dan pergerakan udara.

Kelembaban adalah kandungan uap air di udara. Kelembaban yang terlalu tinggi dapat membuat keringat sulit menguap sehingga tubuh sulit mendinginkan diri. Kelembaban yang terlalu rendah dapat menyebabkan kulit kering, iritasi mata, dan gangguan pernapasan.

Untuk ruang perkantoran, Permenkes No. 48 Tahun 2016 memuat suhu nyaman sekitar **23–26°C** dan kelembaban **40–60%**.

Iklim kerja panas tidak cukup dinilai dari suhu udara saja. Penilaian yang lebih tepat menggunakan **ISBB/WBGT** karena mempertimbangkan suhu basah alami, suhu bola, suhu kering, kelembaban, aliran udara, dan radiasi panas.

SNI 16-7061-2004 mengatur pengukuran iklim kerja panas dengan parameter **Indeks Suhu Basah dan Bola / ISBB** dan berstatus berlaku menurut BSN.

Tabel 7. 17 Contoh acuan iklim kerja panas yang sering digunakan

Beban Kerja	NAB WBGT/ISBB
Kerja ringan	$\leq 30,0^{\circ}\text{C}$ WBGT
Kerja sedang	$\leq 28,0^{\circ}\text{C}$ WBGT
Kerja berat	$\leq 26,0^{\circ}\text{C}$ WBGT

Acuan tersebut digunakan untuk menilai apakah kondisi panas masih aman atau perlu pengaturan kerja-istirahat, pendinginan, ventilasi, atau pengendalian panas.

Alat Ukur Temperatur dan Kelembaban

Temperatur dan kelembaban merupakan faktor lingkungan kerja fisik yang berpengaruh terhadap kenyamanan, kesehatan, dan produktivitas pekerja. Untuk mengetahui kondisi lingkungan kerja secara objektif, diperlukan alat ukur yang sesuai dengan setiap parameter,

seperti suhu udara, kelembaban, iklim kerja panas, kecepatan udara, dan panas radiasi. Jenis alat ukur dan satuannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. 18 Alat Ukur Temperatur dan Kelembaban

Parameter	Alat Ukur	Satuan
Suhu udara	Thermometer	°C
Kelembaban	Hygrometer	% RH
Iklim kerja panas	WBGT meter / ISBB meter	°C WBGT
Kecepatan udara	Anemometer	m/s
Panas radiasi	Globe thermometer	°C

Dampak Temperatur dan Kelembaban Tidak Sesuai

Temperatur dan kelembaban yang tidak sesuai di tempat kerja dapat memengaruhi kondisi fisik pekerja, kenyamanan kerja, serta produktivitas. Kondisi lingkungan yang terlalu panas, terlalu dingin, terlalu lembab, terlalu kering, maupun memiliki ventilasi buruk dapat menimbulkan gangguan kesehatan dan menurunkan kinerja pekerja. Dampak temperatur dan kelembaban yang tidak sesuai dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 7. 19 Dampak Temperatur dan Kelembaban Tidak Sesuai

Kondisi	Dampak terhadap Pekerja	Dampak terhadap Sistem Kerja
Terlalu panas	Dehidrasi, heat stress, heat exhaustion, heat stroke	Produktivitas turun, kecelakaan naik
Terlalu dingin	Kaku otot, menggigil, penurunan keterampilan manual	Kecepatan kerja turun
Terlalu lembab	Keringat sulit menguap, tidak nyaman	Konsentrasi turun
Terlalu kering	Iritasi mata dan kulit	Kenyamanan turun
Ventilasi buruk	Sesak, bau, udara pengap	Kelelahan meningkat

Pengendalian panas dan kelembaban di tempat kerja perlu dilakukan untuk menjaga kenyamanan, kesehatan, dan keselamatan

pekerja. Upaya pengendalian dapat dilakukan melalui perbaikan teknis, pengaturan kerja, penggunaan APD, desain fasilitas, serta monitoring kondisi lingkungan kerja secara berkala. Beberapa contoh pengendalian panas dan kelembaban dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 7. 20 Pengendalian Panas dan Kelembaban

Pengendalian	Contoh
Rekayasa teknik	Ventilasi, exhaust fan, insulasi panas, AC, shielding panas
Administratif	Jadwal kerja-istirahat, rotasi kerja, minum teratur
APD	Pakaian kerja tahan panas, pelindung wajah
Desain fasilitas	Pemisahan area panas, penempatan mesin panas jauh dari operator
Monitoring	Pengukuran WBGT berkala

F. Dampak Lingkungan Kerja Fisik terhadap Performa Kerja

Lingkungan kerja fisik sangat memengaruhi performa manusia. Dalam Teknik Industri, performa kerja dapat dilihat dari kecepatan kerja, ketelitian, kualitas output, kelelahan, beban kerja, keselamatan, dan produktivitas.

1. Dampak terhadap Produktivitas

Lingkungan kerja yang nyaman membuat pekerja lebih mudah fokus dan bekerja lebih stabil. Pencahayaan cukup, suhu nyaman, kebisingan rendah, dan getaran terkendali dapat mempercepat penyelesaian pekerjaan.

2. Dampak terhadap Kualitas

Pencahayaan buruk dapat menyebabkan kesalahan inspeksi. Kebisingan tinggi dapat mengganggu konsentrasi. Getaran pada alat kerja dapat mengurangi presisi pekerjaan. Temperatur panas dapat menurunkan ketelitian akibat kelelahan.

3. Dampak terhadap Keselamatan

Lingkungan yang terlalu bising dapat membuat pekerja tidak mendengar alarm atau peringatan. Pencahayaan buruk meningkatkan

risiko tersandung atau salah membaca instruksi. Panas berlebih dapat menyebabkan pusing dan kehilangan konsentrasi.

4. Dampak terhadap Kesehatan

Paparan jangka panjang dapat menyebabkan gangguan pendengaran, gangguan penglihatan, gangguan muskuloskeletal, heat stress, dehidrasi, gangguan saraf, dan kelelahan kronis.

Hubungan Faktor Lingkungan Fisik dengan Performansi Kerja

Faktor lingkungan fisik seperti pencahayaan, kebisingan, getaran, suhu, dan kelembaban memiliki hubungan langsung dengan performansi kerja. Apabila kondisi lingkungan kerja tidak sesuai, pekerja dapat mengalami kelelahan, penurunan konsentrasi, ketidaknyamanan, hingga peningkatan risiko kecelakaan. Dampak hubungan faktor lingkungan fisik terhadap performansi kerja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. 21 Hubungan Faktor Lingkungan Fisik dengan Performansi Kerja

Faktor Lingkungan	Jika Tidak Sesuai	Dampak pada Performa
Pencahayaan kurang	Mata lelah, objek sulit terlihat	Kesalahan kerja meningkat
Kebisingan tinggi	Komunikasi terganggu	Konsentrasi dan keselamatan menurun
Getaran tinggi	Nyeri, mati rasa, presisi turun	Produktivitas dan kualitas turun
Suhu panas	Dehidrasi, cepat lelah	Output turun, risiko kecelakaan naik
Kelembaban tinggi	Tidak nyaman, sulit berkeringat	Fokus menurun
Ventilasi buruk	Sesak, pengap	Kelelahan meningkat

Langkah Evaluasi Lingkungan Kerja Fisik

Evaluasi lingkungan kerja fisik dilakukan untuk mengetahui potensi bahaya yang dapat memengaruhi kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan pekerja. Kegiatan ini mencakup identifikasi, pengukuran, perbandingan dengan standar, analisis dampak, hingga pemberian rekomendasi dan implementasi perbaikan. Tahapan evaluasi lingkungan kerja fisik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. 22 Evaluasi lingkungan kerja fisik dapat dilakukan dengan tahapan berikut:

Tahap	Kegiatan
Identifikasi	Menentukan potensi bahaya fisik di area kerja
Pengukuran	Mengukur pencahayaan, kebisingan, getaran, suhu, kelembaban
Perbandingan standar	Membandingkan hasil dengan NAB atau standar
Analisis dampak	Menilai pengaruh terhadap pekerja dan proses kerja
Rekomendasi	Memberi usulan perbaikan
Implementasi	Melakukan perbaikan teknis/administratif
Monitoring	Melakukan pengukuran ulang

Contoh Format Lembar Observasi Lingkungan Kerja Fisik

Lembar observasi lingkungan kerja fisik merupakan instrumen yang digunakan untuk mencatat dan mendokumentasikan hasil pengukuran berbagai faktor lingkungan kerja, seperti pencahayaan, kebisingan, getaran, suhu, kelembaban, dan parameter fisik lainnya yang berpengaruh terhadap kenyamanan, kesehatan, dan keselamatan pekerja. Melalui lembar observasi ini, hasil pengukuran dapat dibandingkan dengan standar atau nilai ambang batas yang berlaku sehingga dapat diketahui tingkat kesesuaiannya. Selain itu, lembar observasi juga berfungsi sebagai dasar dalam menentukan tindakan perbaikan atau pengendalian yang diperlukan untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif.

Sebagai contoh, hasil observasi pada ruang inspeksi menunjukkan tingkat pencahayaan sebesar 180 lux yang diukur menggunakan lux meter, sementara standar yang ditetapkan adalah 300 lux. Kondisi ini dinyatakan tidak sesuai sehingga diperlukan penambahan lampu LED untuk meningkatkan intensitas pencahayaan. Pada area mesin press, tingkat kebisingan yang diukur menggunakan sound level meter mencapai 92 dBA, melebihi standar 85 dBA untuk paparan kerja selama 8 jam. Oleh karena itu, diperlukan pemasangan enclosure pada mesin dan penggunaan alat pelindung pendengaran seperti ear plug.

Pada operator gerinda, hasil pengukuran getaran menggunakan vibration meter menunjukkan nilai 12 m/s^2 , sedangkan standar yang diperbolehkan adalah 10 m/s^2 . Kondisi ini dikategorikan tidak sesuai dan dapat dikendalikan melalui penerapan rotasi kerja untuk mengurangi durasi paparan getaran pada pekerja. Di area furnace, indeks tekanan panas yang diukur menggunakan WBGT meter mencapai 31°C , melebihi standar 28°C . Untuk mengatasi kondisi tersebut, diperlukan peningkatan ventilasi serta pengaturan waktu istirahat pekerja agar risiko stres panas dapat diminimalkan.

Sementara itu, pada ruang kantor, tingkat kelembaban udara yang diukur menggunakan hygrometer mencapai 70%, sedangkan rentang kelembaban yang direkomendasikan adalah 40–60%. Hasil ini menunjukkan kondisi yang tidak sesuai sehingga diperlukan perbaikan sistem pendingin udara (AC) atau penggunaan dehumidifier untuk menjaga kelembaban pada tingkat yang nyaman. Dari contoh tersebut dapat dilihat bahwa lembar observasi lingkungan kerja fisik tidak hanya berfungsi sebagai alat dokumentasi hasil pengukuran, tetapi juga sebagai dasar pengambilan keputusan dalam upaya pengendalian risiko dan peningkatan kualitas lingkungan kerja.

BAB 8

METODE ANALISIS DAN EVALUASI ERGONOMI

Mufrida Meri Z, ST., M.Kom., IPM
Universitas Ekasakti

A. Metode Penilaian Postur Kerja (RULA, REBA, OWAS)

Postur kerja merupakan posisi tubuh pekerja saat melakukan aktivitas kerja. Postur yang tidak ergonomis dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan gangguan muskuloskeletal atau *Musculoskeletal Disorders* (MSDs), seperti nyeri punggung, nyeri leher, cedera bahu, dan gangguan pada pergelangan tangan. Oleh karena itu, diperlukan metode penilaian postur kerja untuk mengidentifikasi tingkat risiko ergonomi dan menentukan tindakan perbaikan yang tepat.

Beberapa metode yang paling banyak digunakan dalam evaluasi ergonomi adalah:

1. **RULA (Rapid Upper Limb Assessment)**
2. **REBA (Rapid Entire Body Assessment)**
3. **OWAS (Ovako Working Posture Analysis System)**

Ketiga metode tersebut digunakan untuk menilai tingkat risiko cedera akibat postur kerja, namun memiliki fokus dan karakteristik yang berbeda.

1. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

RULA dikembangkan oleh **Lynn McAtamney dan Nigel Corlett** pada tahun 1993 untuk mengevaluasi risiko gangguan muskuloskeletal yang berhubungan dengan postur tubuh bagian atas (*upper limb*).

Metode ini menilai:

- Posisi lengan atas
- Lengan bawah
- Pergelangan tangan
- Leher

- Batang tubuh
- Kaki
- Aktivitas otot
- Beban kerja

RULA sangat cocok digunakan pada pekerjaan:

- Operator komputer
- Pekerja administrasi
- Operator mesin
- Pekerja perakitan

Kelompok Penilaian RULA

a. Kelompok A

Meliputi:

- Lengan atas (Upper Arm)
- Lengan bawah (Lower Arm)
- Pergelangan tangan (Wrist)

b. Kelompok B

Meliputi:

- Leher (Neck)
- Batang tubuh (Trunk)
- Kaki (Legs)

Langkah Penilaian RULA

Langkah 1

Menentukan skor postur:

Bagian Tubuh	Skor
Lengan Atas	1-6
Lengan Bawah	1-3
Pergelangan Tangan	1-4
Leher	1-6
Batang Tubuh	1-6
Kaki	1-2

Langkah 2

Menghitung skor kelompok A dan kelompok B menggunakan tabel RULA.

Langkah 3

Menambahkan faktor:

- Aktivitas otot
- Beban atau gaya

Langkah 4

Menentukan skor akhir RULA.

Rumus Perhitungan RULA

Secara konseptual:

$$RULAFinal = Skor\ Postur + Skor\ Aktivitas\ Otot + Skor$$

atau

$$RULAFinal = f(A,B)$$

dimana:

- A = Skor kelompok A
- B = Skor kelompok B
- f = fungsi kombinasi berdasarkan tabel RULA

Karena RULA menggunakan tabel kombinasi, skor akhir tidak diperoleh melalui persamaan matematis langsung melainkan melalui matriks penilaian.

Interpretasi Skor RULA

Skor	Tingkat Risiko	Tindakan
1-2	Rendah	Tidak perlu tindakan
3-4	Sedang	Perlu investigasi
5-6	Tinggi	Perlu perbaikan segera
7	Sangat Tinggi	Perbaikan harus dilakukan sekarang

Contoh Kasus

Seorang operator komputer bekerja dengan:

- Leher menunduk 30°

- Punggung membungkuk
- Pergelangan tangan menekuk

Hasil penilaian:

- Skor A = 5
- Skor B = 6

Dari tabel RULA diperoleh:

Skor Akhir = 7

Artinya postur kerja memiliki risiko sangat tinggi dan memerlukan tindakan segera.

2. Rapid Entire Body Assessment (REBA)

REBA dikembangkan oleh **Sue Hignett dan Lynn McAtamney** pada tahun 2000 untuk mengevaluasi seluruh bagian tubuh (*entire body assessment*).

Metode ini banyak digunakan pada:

- Rumah sakit
- Industri manufaktur
- Gudang
- Pertanian
- Konstruksi

REBA mempertimbangkan:

- Leher
- Punggung
- Kaki
- Lengan
- Pergelangan tangan
- Beban
- Aktivitas kerja

Kelompok Penilaian REBA

1. Grup A
 - Leher
 - Batang tubuh
 - Kaki
2. Grup B

- Lengan atas
- Lengan bawah
- Pergelangan tangan

Tahapan Penilaian REBA

Tahap 1: Menentukan skor Grup A.

Tahap 2: Menentukan skor Grup B.

Tahap 3: Menambahkan faktor:

- Beban
- Coupling (kualitas pegangan)

Tahap 4: Menentukan skor akhir REBA menggunakan tabel kombinasi.

Rumus Perhitungan REBA

Secara umum:

$$REBA = Skor\ Postur + Skor\ Beban + Skor$$

atau

$$REBA_{Final} = f(A,B,C)$$

dimana:

- A = Skor Grup A
- B = Skor Grup B
- C = Faktor beban dan coupling

Perhitungan akhir diperoleh dari tabel REBA.

Interpretasi Skor REBA

Skor	Tingkat Risiko	Tindakan
1	Dapat diabaikan	Tidak perlu
2-3	Rendah	Mungkin diperlukan
4-7	Sedang	Perlu tindakan
8-10	Tinggi	Segera diperbaiki
11-15	Sangat Tinggi	Perbaiki segera

Contoh Kasus

Pekerja mengangkat karung 25 kg dengan posisi membungkuk.

Hasil observasi:

Grup A = 7

Grup B = 5

Beban = 2

Dari tabel REBA diperoleh:

REBA=10

Interpretasi:

Risiko tinggi sehingga diperlukan tindakan perbaikan ergonomi sesegera mungkin.

3. Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

OWAS dikembangkan oleh perusahaan baja Finlandia, **Ovako Oy**, untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi postur kerja yang berpotensi menyebabkan gangguan muskuloskeletal.

Metode ini sederhana dan banyak digunakan pada:

- Industri berat
- Pertambangan
- Konstruksi
- Pertanian
- Perkebunan

OWAS mengevaluasi empat elemen:

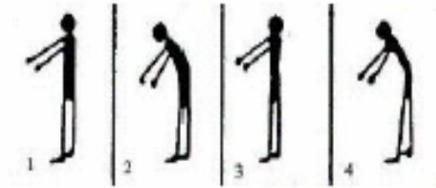
1. Punggung
2. Lengan
3. Kaki
4. Beban

Kode Postur OWAS

a. Punggung

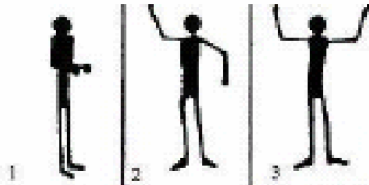
Kode	Postur
1	Tegak
2	Membungkuk
3	Memutar
4	Membungkuk dan memutar

Bagian Belakang (Back)



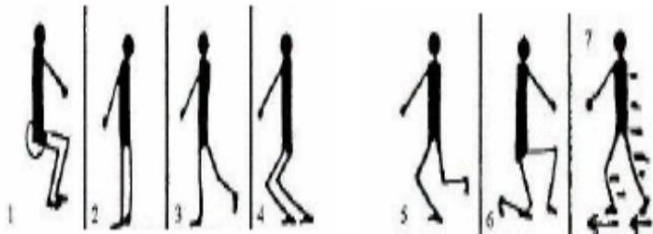
b. Lengan

Kode	Postur
1	Di bawah bahu
2	Satu lengan di atas bahu
3	Kedua lengan di atas bahu



c. Kaki

Kode	Postur
1	Duduk
2	Berdiri dua kaki lurus
3	Berdiri satu kaki
4	Jongkok
5	Berlutut
6	Berjalan
7	Posisi lainnya



d. Beban

Kode	Berat
1	< 10 kg
2	10-20 kg
3	> 20 kg

Rumus Kode OWAS

OWAS menggunakan sistem pengkodean:

$$OWAS = (\text{Punggung}, \text{Lengan}, \text{Kaki}, \text{Beban})$$

Contoh:

$$OWAS = (2, 1, 4, 3)$$

Artinya:

- Punggung membungkuk
- Lengan di bawah bahu
- Kaki jongkok
- Beban > 20 kg

Kategori Risiko OWAS

Kategori	Tingkat Risiko	Tindakan
1	Aman	Tidak perlu tindakan
2	Risiko ringan	Perlu perbaikan di masa datang
3	Risiko sedang	Perlu perbaikan segera
4	Risiko tinggi	Harus segera diperbaiki

Contoh Kasus

Seorang pekerja perkebunan sawit:

- Membungkuk saat memanen
- Kedua tangan di bawah bahu
- Berdiri dengan satu kaki menahan beban
- Membawa tandan 25 kg

Kode OWAS:

$$OWAS = (2, 1, 3, 3)$$

Hasil analisis menunjukkan kategori risiko 3 sehingga perlu dilakukan perbaikan postur kerja dalam waktu dekat.

Perbandingan Metode RULA, REBA, dan OWAS

Aspek	RULA	REBA	OWAS
Fokus	Tubuh bagian atas	Seluruh tubuh	Postur kerja umum
Kompleksitas	Sedang	Tinggi	Rendah
Analisis Beban	Terbatas	Lengkap	Sederhana
Cocok Untuk	Pekerjaan kantor dan perakitan	Pengangkatan dan pelayanan kesehatan	Industri berat dan perkebunan
Output	Skor 1–7	Skor 1–15	Kategori 1–4
Kecepatan Analisis	Cepat	Sedang	Sangat cepat

RULA, REBA, dan OWAS merupakan metode observasional yang efektif untuk mengevaluasi risiko ergonomi akibat postur kerja. RULA lebih sesuai untuk analisis anggota tubuh bagian atas, REBA digunakan untuk mengevaluasi seluruh tubuh pada aktivitas dinamis, sedangkan OWAS cocok untuk identifikasi cepat postur kerja di lingkungan industri dan perkebunan. Pemilihan metode harus disesuaikan dengan karakteristik pekerjaan sehingga hasil evaluasi dapat digunakan sebagai dasar perancangan sistem kerja yang lebih aman, nyaman, dan produktif.

B. Penilaian Beban Kerja

Beban kerja (*workload*) merupakan sejumlah tuntutan fisik maupun mental yang harus ditanggung oleh pekerja dalam melaksanakan tugasnya selama periode tertentu. Dalam ergonomi, penilaian beban kerja sangat penting karena beban kerja yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kelelahan, penurunan produktivitas, kesalahan kerja, kecelakaan kerja, serta gangguan kesehatan jangka panjang. Sebaliknya, beban kerja yang terlalu rendah dapat menimbulkan kebosanan (*boredom*), kurangnya motivasi, dan penurunan kewaspadaan.

Tujuan utama penilaian beban kerja adalah untuk memastikan bahwa tuntutan pekerjaan sesuai dengan kapasitas fisik dan mental

pekerja sehingga tercapai kondisi kerja yang aman, sehat, nyaman, dan produktif.

Menurut perspektif ergonomi, beban kerja dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu:

1. Beban Kerja Fisik

Beban kerja yang berkaitan dengan penggunaan energi otot dalam melakukan aktivitas kerja.

Contoh:

- Mengangkat barang
- Mendorong troli
- Memanen kelapa sawit
- Mengoperasikan mesin produksi

2. Beban Kerja Mental

Beban kerja yang berkaitan dengan aktivitas kognitif, seperti:

- Pengambilan keputusan
- Konsentrasi
- Pemecahan masalah
- Pemantauan sistem

Contoh:

- Operator ruang kontrol
- Programmer
- Pengawas produksi
- Petugas lalu lintas udara

Metode Penilaian Beban Kerja Fisik

1. Metode Konsumsi Energi

Metode ini digunakan untuk mengukur energi yang dikeluarkan pekerja selama melakukan aktivitas kerja.

Rumus Pengeluaran Energi

$$KE = Et - Ei$$

Keterangan:

- KE = Konsumsi energi kerja (kkal/menit)
- Et = Energi saat bekerja (kkal/menit)
- Ei = Energi saat istirahat (kkal/menit)

Klasifikasi Beban Kerja Berdasarkan Konsumsi Energi

Konsumsi Energi (kkal/jam)	Kategori
< 200	Ringan
200 – 350	Sedang
350 – 500	Berat
> 500	Sangat Berat

Contoh Perhitungan

Diketahui:

- Energi saat bekerja = 6,5 kkal/menit
- Energi saat istirahat = 1,5 kkal/menit

Maka:

$$KE = 6,5 - 1,5$$
$$KE = 5 \text{ kkal/menit}$$

Dalam satu jam:

$$5 \times 60 = 300 \text{ kkal/jam}$$

Kategori beban kerja:

Sedang

Metode Denyut Nadi Kerja

Metode denyut nadi merupakan metode yang paling sering digunakan dalam ergonomi karena relatif mudah dan murah.

Prinsipnya adalah semakin berat pekerjaan maka semakin tinggi denyut jantung pekerja.

Rumus Cardiovascular Load (%CVL)

$$\%CVL = \frac{DNK - DNI}{DNM - DNI} \times 100\%$$

Keterangan:

- DNK = Denyut nadi kerja (denyut/menit)
- DNI = Denyut nadi istirahat
- DNM = Denyut nadi maksimum

Untuk pria:

$$DNM = 220 - Usia$$

Untuk wanita:

$$DNM = 200 - Usia$$

Interpretasi %CVL

%CVL	Kategori
< 30%	Tidak terjadi kelelahan
30-60%	Perlu perbaikan
60-80%	Kerja dalam waktu singkat
80-100%	Tindakan segera diperlukan
>100%	Tidak diperbolehkan

Contoh Perhitungan

Diketahui:

- Usia = 30 tahun
- DNI = 70 denyut/menit
- DNK = 120 denyut/menit

Maka:

$$\begin{aligned} DNM &= 220 - 30 \\ DNM &= 190 \\ CVL &= \frac{120 - 70}{190 - 70} \times 100 \\ CVL &= 41,67\% \end{aligned}$$

Interpretasi:

Beban kerja berada pada kategori **perlu perbaikan**.

Metode Penilaian Beban Kerja Mental

1. NASA-TLX (NASA Task Load Index)

NASA-TLX merupakan metode subjektif yang dikembangkan oleh badan antariksa Amerika Serikat, yaitu **NASA**, untuk mengukur beban kerja mental.

Metode ini terdiri dari enam dimensi:

1. Mental Demand (MD)

2. Physical Demand (PD)
3. Temporal Demand (TD)
4. Performance (P)
5. Effort (EF)
6. Frustration Level (FR)

Rumus NASA-TLX

$$WWL = \frac{\sum (W_i \times R_i)}{15}$$

Keterangan:

- WWL = Weighted Workload
- Wi = Bobot dimensi
- Ri = Rating dimensi
- 15 = Total bobot pasangan NASA-TLX

Interpretasi NASA-TLX

Skor	Kategori
0 – 20	Sangat Rendah
21 – 40	Rendah
41 – 60	Sedang
61 – 80	Tinggi
81 – 100	Sangat Tinggi

Contoh Perhitungan

Misalkan diperoleh:

Dimensi	Bobot	Rating
MD	4	80
PD	1	40
TD	3	70
P	2	60
EF	4	85
FR	1	50

Maka:

$$WWL = \frac{(4 \times 80) + (1 \times 40) + (3 \times 70) + (2 \times 60) + (4 \times 85) + (1 \times 50)}{15}$$
$$WWL = \frac{1080}{15}$$
$$WWL = 72$$

Interpretasi:

Beban kerja mental termasuk kategori **tinggi**.

2. Metode Recommended Weight Limit (RWL) dan Lifting Index (LI)

Metode ini dikembangkan oleh **National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)** untuk menilai aktivitas pengangkatan manual.

Rumus Recommended Weight Limit (RWL)

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

Keterangan:

- LC = Load Constant (23 kg)
- HM = Horizontal Multiplier
- VM = Vertical Multiplier
- DM = Distance Multiplier
- AM = Asymmetry Multiplier
- FM = Frequency Multiplier
- CM = Coupling Multiplier

Rumus Lifting Index (LI)

$$LI = \frac{\text{Beban Aktual}}{RWL}$$

Interpretasi LI

Nilai LI	Risiko
≤ 1	Aman
1 – 3	Risiko sedang
> 3	Risiko tinggi

Contoh Perhitungan

Diketahui:

- Beban aktual = 20 kg
- RWL = 15 kg

Maka:

$$LI = \frac{20}{15}$$
$$LI = 1,33$$

Interpretasi: Aktivitas pengangkatan memiliki risiko sedang dan memerlukan evaluasi ergonomi.

Beberapa faktor yang memengaruhi tingkat beban kerja antara lain:

- a. Faktor Individu
 - Usia
 - Jenis kelamin
 - Kondisi kesehatan
 - Kebugaran fisik
 - Pengalaman kerja
- b. Faktor Pekerjaan
 - Berat beban
 - Frekuensi kerja
 - Durasi kerja
 - Kompleksitas tugas
 - Target produksi
- c. Faktor Lingkungan
 - Suhu kerja
 - Kebisingan
 - Pencahayaan
 - Getaran
 - Kualitas udara
- d. Faktor Organisasi
 - Sistem shift
 - Jam kerja
 - Waktu istirahat
 - Budaya kerja

C. Analisis Waktu Dan Gerakan

Analisis waktu dan gerakan (*Time and Motion Study*) merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari cara kerja seseorang dalam menyelesaikan suatu tugas serta waktu yang diperlukan untuk melaksanakannya. Metode ini bertujuan untuk menemukan cara kerja yang paling efisien, menghilangkan gerakan yang tidak diperlukan, mengurangi kelelahan pekerja, dan meningkatkan produktivitas kerja. Konsep analisis waktu dan gerakan pertama kali dikembangkan oleh **Frederick Winslow Taylor** melalui studi waktu (*time study*) dan kemudian disempurnakan oleh **Frank dan Lillian Gilbreth** melalui studi gerakan (*motion study*). Kedua pendekatan tersebut kemudian dikombinasikan menjadi suatu metode yang banyak digunakan dalam ergonomi dan perancangan sistem kerja.

Analisis gerakan (*motion study*) berfokus pada identifikasi dan evaluasi setiap gerakan yang dilakukan pekerja selama melaksanakan suatu pekerjaan. Tujuan utama analisis ini adalah menghilangkan gerakan yang tidak memberikan nilai tambah, menyederhanakan metode kerja, dan menciptakan proses kerja yang lebih efektif. Dalam praktiknya, berbagai gerakan dasar seperti menjangkau (*reach*), memegang (*grasp*), memindahkan (*move*), memosisikan (*position*), dan melepaskan (*release*) diamati secara rinci untuk mengetahui apakah terdapat gerakan yang dapat dikurangi atau dihilangkan. Melalui pendekatan ini, pekerja dapat menyelesaikan tugas dengan usaha fisik yang lebih kecil dan risiko kelelahan yang lebih rendah.

Sementara itu, analisis waktu (*time study*) bertujuan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan oleh seorang pekerja yang terlatih untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dengan metode kerja yang telah ditetapkan. Hasil analisis waktu digunakan sebagai dasar dalam penentuan standar kerja, penyusunan target produksi, perencanaan kebutuhan tenaga kerja, dan evaluasi produktivitas. Pengukuran waktu biasanya dilakukan menggunakan stopwatch atau perangkat perekam digital yang memungkinkan pengamatan secara akurat terhadap setiap elemen pekerjaan.

Dalam pelaksanaan studi waktu, pekerjaan terlebih dahulu dipecah menjadi beberapa elemen kerja yang lebih kecil dan mudah diamati. Selanjutnya, waktu penyelesaian setiap elemen dicatat selama beberapa kali pengamatan. Dari data tersebut dihitung waktu rata-rata menggunakan rumus:

$$W_s = \frac{\sum X_i}{n}$$

dengan:

- W_s = waktu rata-rata pengamatan,
- X_i = waktu hasil pengamatan ke-i,
- n = jumlah pengamatan.

Sebagai contoh, apabila waktu yang diperoleh dari lima kali pengamatan berturut-turut adalah 45 detik, 47 detik, 46 detik, 44 detik, dan 48 detik, maka waktu rata-ratanya adalah:

$$W_s = \frac{45 + 47 + 46 + 44 + 48}{5}$$

$$W_s = 46 \text{ detik}$$

Setelah waktu rata-rata diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung waktu normal (*normal time*). Waktu normal merupakan waktu rata-rata yang telah disesuaikan dengan tingkat kinerja pekerja atau *performance rating*. Rumus yang digunakan adalah:

$$W_N = W_s \times \frac{PR}{100}$$

dengan:

- W_N = waktu normal,
- W_s = waktu rata-rata,
- PR = nilai *performance rating* (%).

Sebagai ilustrasi, apabila waktu rata-rata adalah 46 detik dan pekerja memiliki *performance rating* sebesar 110%, maka waktu normalnya adalah:

$$W_N = 46 \times 1,10$$

$$W_N = 50,6 \text{ detik}$$

Selanjutnya, untuk memperoleh waktu baku (*standard time*), perlu ditambahkan faktor kelonggaran (*allowance*) yang mencakup kebutuhan pribadi, kelelahan, dan hambatan yang tidak dapat dihindari. Waktu baku dihitung menggunakan rumus:

$$W_B = \frac{W_N}{1 - A}$$

dengan:

- W_B = waktu baku,
- W_N = waktu normal,
- A = allowance.

Jika allowance ditetapkan sebesar 15%, maka waktu baku yang diperoleh adalah:

$$W_B = \frac{50,6}{1 - 0,15}$$

$$W_B = \frac{50,6}{0,85}$$

$$W_B = 59,53 \text{ detik}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu standar yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan adalah sekitar 60 detik.

Dalam ergonomi, analisis waktu dan gerakan tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas, tetapi juga bertujuan untuk menciptakan kondisi kerja yang lebih aman dan nyaman. Dengan mengurangi gerakan yang tidak efisien dan menyesuaikan metode kerja dengan kemampuan manusia, risiko kelelahan dan cedera akibat kerja dapat diminimalkan. Oleh karena itu, metode ini banyak diterapkan dalam berbagai sektor, seperti industri manufaktur, rumah sakit, pergudangan, perkebunan, perkantoran, dan berbagai bidang lainnya yang memerlukan peningkatan efisiensi dan kualitas sistem kerja. Analisis waktu dan gerakan menjadi salah satu alat penting dalam perancangan sistem kerja yang ergonomis karena mampu

mengintegrasikan aspek produktivitas dan kesejahteraan pekerja secara seimbang.

D. Kuesioner Ergonomi

Kuesioner ergonomi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis dan evaluasi ergonomi untuk memperoleh informasi mengenai kondisi kerja berdasarkan persepsi, pengalaman, dan keluhan yang dirasakan oleh pekerja. Berbeda dengan metode observasi seperti Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), maupun Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) yang berfokus pada pengamatan langsung terhadap postur kerja, kuesioner ergonomi menggali data subjektif yang hanya dapat diketahui dari pekerja itu sendiri. Melalui kuesioner, evaluator dapat memperoleh gambaran mengenai tingkat kenyamanan, keluhan muskuloskeletal, kelelahan, beban kerja fisik maupun mental, serta persepsi pekerja terhadap lingkungan kerja. Informasi tersebut menjadi pelengkap penting dalam proses evaluasi ergonomi karena tidak semua faktor risiko dapat diamati secara visual. Oleh sebab itu, penggunaan kuesioner ergonomi sering dipadukan dengan metode observasi dan pengukuran lainnya untuk menghasilkan analisis yang lebih menyeluruh.

Secara umum, kuesioner ergonomi dapat diartikan sebagai instrumen penelitian yang disusun dalam bentuk serangkaian pertanyaan sistematis untuk mengidentifikasi berbagai faktor yang memengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan keselamatan pekerja selama menjalankan aktivitas kerja. Kuesioner ini dapat digunakan pada berbagai sektor, mulai dari industri manufaktur, perkantoran, pelayanan kesehatan, pendidikan, transportasi, hingga sektor jasa. Penggunaan kuesioner memberikan keuntungan karena mampu menjangkau jumlah responden yang besar dalam waktu relatif singkat dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode pengukuran langsung. Selain itu, hasil yang diperoleh dapat dianalisis secara statistik sehingga memudahkan peneliti dalam mengidentifikasi pola hubungan antara kondisi kerja dengan risiko gangguan kesehatan.

Tujuan utama penggunaan kuesioner ergonomi adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang berpotensi menimbulkan gangguan pada pekerja serta mengevaluasi efektivitas sistem kerja yang telah diterapkan. Informasi yang diperoleh melalui kuesioner dapat digunakan untuk mengetahui bagian tubuh yang paling sering mengalami keluhan, tingkat kenyamanan fasilitas kerja, persepsi pekerja terhadap lingkungan kerja, tingkat kelelahan, maupun beban kerja yang dirasakan selama bekerja. Data tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi perbaikan desain tempat kerja, pengaturan metode kerja, penyediaan alat bantu, hingga penyusunan program peningkatan kesehatan dan keselamatan kerja. Dengan demikian, kuesioner ergonomi tidak hanya berfungsi sebagai alat identifikasi masalah, tetapi juga sebagai dasar pengambilan keputusan dalam upaya peningkatan produktivitas dan kesejahteraan pekerja.

Suatu kuesioner ergonomi yang baik harus memenuhi beberapa persyaratan agar mampu menghasilkan data yang valid dan reliabel. Pertama, setiap pertanyaan harus memiliki validitas yang baik, yaitu benar-benar mengukur aspek ergonomi yang ingin diteliti. Kedua, instrumen harus memiliki reliabilitas yang tinggi sehingga memberikan hasil yang konsisten apabila digunakan pada kondisi yang relatif sama. Ketiga, bahasa yang digunakan harus sederhana, jelas, dan mudah dipahami oleh responden dengan latar belakang pendidikan yang beragam. Selain itu, pertanyaan yang disusun harus relevan dengan tujuan penelitian, tidak bersifat menggiring jawaban, serta disusun secara sistematis agar responden dapat menjawab dengan mudah dan objektif. Jumlah pertanyaan juga perlu disesuaikan agar tidak terlalu panjang sehingga mengurangi konsentrasi responden dalam memberikan jawaban.

Dalam praktik ergonomi, terdapat beberapa jenis kuesioner yang dikembangkan untuk tujuan evaluasi yang berbeda. Salah satu kelompok yang paling banyak digunakan adalah kuesioner keluhan muskuloskeletal yang bertujuan mengidentifikasi lokasi, frekuensi, dan tingkat keparahan nyeri atau ketidaknyamanan pada berbagai bagian tubuh. Selain itu, terdapat pula kuesioner yang dirancang untuk mengevaluasi beban kerja fisik, beban kerja mental, tingkat kelelahan,

kenyamanan lingkungan kerja, hingga kepuasan pekerja terhadap fasilitas kerja yang tersedia. Pemilihan jenis kuesioner harus disesuaikan dengan tujuan penelitian sehingga data yang diperoleh benar-benar dapat menggambarkan kondisi ergonomi yang sedang dievaluasi.

Salah satu instrumen yang paling banyak digunakan dalam penelitian ergonomi adalah **Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ)**. Kuesioner ini dikembangkan untuk mengidentifikasi keluhan muskuloskeletal pada sembilan bagian utama tubuh, yaitu leher, bahu, siku, pergelangan tangan atau tangan, punggung bagian atas, punggung bagian bawah atau pinggang, pinggul atau paha, lutut, serta pergelangan kaki atau kaki. Responden diminta memberikan informasi mengenai apakah mereka pernah mengalami rasa sakit atau ketidaknyamanan pada bagian tubuh tersebut dalam kurun waktu tertentu, misalnya selama dua belas bulan terakhir maupun tujuh hari terakhir. Selain itu, responden juga diminta menjelaskan apakah keluhan tersebut mengganggu aktivitas kerja atau memerlukan penanganan medis. Kesederhanaan format pertanyaan serta kemudahan interpretasi hasil menjadikan NMQ sebagai salah satu instrumen standar dalam penelitian ergonomi di berbagai negara.

Selain NMQ, terdapat pula **Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ)** yang memberikan informasi lebih rinci mengenai tingkat ketidaknyamanan pada setiap bagian tubuh. Berbeda dengan NMQ yang hanya mengidentifikasi keberadaan keluhan, CMDQ juga mengevaluasi frekuensi munculnya keluhan, tingkat keparahan rasa sakit, serta sejauh mana keluhan tersebut memengaruhi kemampuan pekerja dalam menyelesaikan tugasnya. Oleh karena itu, CMDQ sering digunakan pada penelitian yang membutuhkan analisis lebih mendalam mengenai gangguan muskuloskeletal, terutama pada pekerjaan yang melibatkan aktivitas berulang seperti operator komputer, pekerja administrasi, operator produksi, maupun tenaga laboratorium.

Aspek ergonomi tidak hanya berkaitan dengan kondisi fisik, tetapi juga mencakup beban kerja mental yang dialami pekerja. Untuk mengevaluasi kondisi tersebut, salah satu instrumen yang paling banyak digunakan adalah **NASA Task Load Index (NASA-TLX)**. Kuesioner ini mengukur persepsi pekerja terhadap enam dimensi utama, yaitu

tuntutan mental, tuntutan fisik, tuntutan waktu, performa kerja, tingkat usaha yang dikeluarkan, dan tingkat frustrasi selama menyelesaikan pekerjaan. Hasil penilaian NASA-TLX memberikan gambaran mengenai besarnya beban kerja mental yang dialami pekerja sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem kerja yang lebih seimbang antara tuntutan pekerjaan dan kapasitas manusia.

Penyusunan kuesioner ergonomi harus dilakukan secara sistematis agar mampu menghasilkan data yang berkualitas. Tahap pertama adalah menentukan tujuan penelitian secara jelas sehingga aspek ergonomi yang akan diukur dapat ditetapkan dengan tepat. Selanjutnya, peneliti menentukan variabel penelitian beserta indikator yang akan digunakan sebagai dasar penyusunan pertanyaan. Setelah indikator ditetapkan, pertanyaan disusun menggunakan bahasa yang sederhana dan mudah dipahami. Bentuk pertanyaan dapat berupa pertanyaan tertutup, pertanyaan terbuka, maupun skala penilaian seperti skala Likert lima tingkat yang berkisar dari "sangat tidak setuju" hingga "sangat setuju". Sebelum digunakan secara luas, kuesioner perlu melalui proses uji validitas dan reliabilitas untuk memastikan bahwa setiap butir pertanyaan mampu mengukur konstruk yang dimaksud serta menghasilkan data yang konsisten.

Data yang diperoleh dari kuesioner ergonomi selanjutnya dianalisis menggunakan berbagai metode statistik sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik responden dan distribusi jawaban, sedangkan analisis inferensial seperti uji korelasi, regresi, analisis faktor, maupun *Structural Equation Modeling* (SEM) digunakan untuk mengetahui hubungan antarvariabel. Hasil analisis tersebut dapat menunjukkan faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap munculnya keluhan muskuloskeletal, tingkat kelelahan, atau produktivitas kerja sehingga menjadi dasar dalam penyusunan strategi perbaikan sistem kerja.

Dalam praktiknya, kuesioner ergonomi jarang digunakan sebagai satu-satunya metode evaluasi. Untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif, data subjektif dari kuesioner biasanya dikombinasikan dengan metode observasi seperti RULA, REBA, dan OWAS, pengukuran antropometri, pengukuran fisiologis, maupun analisis biomekanika.

Sebagai contoh, apabila hasil NMQ menunjukkan banyak pekerja mengalami keluhan pada bagian leher dan bahu, maka evaluator dapat melakukan penilaian postur menggunakan RULA untuk mengidentifikasi penyebab utama munculnya keluhan tersebut. Pendekatan kombinasi ini menghasilkan analisis yang lebih objektif karena memadukan persepsi pekerja dengan hasil pengamatan langsung di lapangan.

Perkembangan teknologi digital turut membawa perubahan dalam penggunaan kuesioner ergonomi. Saat ini, pengumpulan data tidak lagi dilakukan secara manual menggunakan kertas, tetapi telah banyak memanfaatkan aplikasi berbasis web, perangkat bergerak, maupun sistem survei daring. Penggunaan teknologi ini memungkinkan proses pengumpulan data menjadi lebih cepat, efisien, serta mengurangi kesalahan dalam proses entri data. Selain itu, integrasi dengan teknologi **Artificial Intelligence (AI)** memungkinkan analisis otomatis terhadap pola jawaban responden untuk mengidentifikasi faktor risiko ergonomi secara lebih cepat. Di sisi lain, teknologi **Internet of Things (IoT)** dan *wearable devices* dapat melengkapi data subjektif dari kuesioner dengan data objektif berupa detak jantung, tingkat aktivitas fisik, postur kerja, maupun durasi aktivitas sehingga menghasilkan evaluasi ergonomi yang lebih akurat dan berbasis data.

Meskipun memiliki banyak kelebihan, penggunaan kuesioner ergonomi juga memiliki beberapa keterbatasan. Data yang diperoleh sangat bergantung pada kejujuran, kemampuan memahami pertanyaan, serta ingatan responden terhadap pengalaman kerja yang telah dialami. Beberapa responden mungkin memberikan jawaban yang tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya karena ingin memberikan kesan positif atau mengalami kesulitan mengingat keluhan yang pernah dirasakan. Oleh karena itu, hasil kuesioner sebaiknya tidak dijadikan satu-satunya dasar dalam pengambilan keputusan, melainkan perlu dikonfirmasi melalui observasi langsung maupun metode pengukuran lainnya.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kuesioner ergonomi merupakan instrumen yang sangat penting dalam proses analisis dan evaluasi ergonomi karena mampu memberikan informasi mengenai persepsi, kenyamanan, beban kerja, serta keluhan yang dialami pekerja. Berbagai instrumen seperti **Nordic**

Musculoskeletal Questionnaire (NMQ), **Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ)**, dan **NASA Task Load Index (NASA-TLX)** telah banyak digunakan dalam penelitian maupun praktik industri karena terbukti efektif dalam mengidentifikasi faktor-faktor risiko ergonomi. Apabila dipadukan dengan metode observasi seperti RULA, REBA, dan OWAS serta didukung oleh teknologi digital berbasis AI dan IoT, kuesioner ergonomi dapat menghasilkan evaluasi yang lebih komprehensif sehingga mendukung perancangan sistem kerja yang aman, nyaman, sehat, dan produktif.

E. Software Pendukung Analisis Ergonomi

Perkembangan teknologi informasi telah memberikan kontribusi besar dalam bidang ergonomi, terutama dalam proses analisis, simulasi, dan evaluasi sistem kerja. Jika sebelumnya penilaian ergonomi dilakukan secara manual menggunakan lembar observasi dan perhitungan tabel, saat ini berbagai perangkat lunak (*software*) telah dikembangkan untuk membantu proses analisis secara lebih cepat, akurat, dan efisien.

Software ergonomi memungkinkan peneliti, praktisi keselamatan kerja, dan perancang sistem kerja untuk melakukan:

- Analisis postur kerja.
- Simulasi gerakan manusia.
- Evaluasi beban kerja fisik dan mental.
- Perancangan stasiun kerja.
- Analisis biomekanika.
- Simulasi interaksi manusia dan mesin.
- Identifikasi risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs).

Penggunaan software juga membantu mengurangi kesalahan perhitungan dan mempercepat proses pengambilan keputusan dalam perancangan sistem kerja yang ergonomis.

Beberapa manfaat penggunaan software dalam analisis ergonomi antara lain:

1. Meningkatkan Akurasi Analisis

Perhitungan dilakukan secara otomatis sehingga mengurangi kesalahan manusia (*human error*).

2. Mempercepat Proses Evaluasi

Data dapat diproses dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan metode manual.

3. Memudahkan Simulasi

Pengguna dapat menguji berbagai skenario desain tanpa harus membuat prototipe fisik.

4. Mendukung Visualisasi

Hasil analisis dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, animasi, maupun model tiga dimensi.

5. Menghemat Biaya

Mengurangi kebutuhan uji coba berulang pada lingkungan kerja nyata.

Software untuk Analisis Postur Kerja

1. **ErgoFellow**

ErgoFellow merupakan software ergonomi yang banyak digunakan untuk analisis postur kerja dan evaluasi risiko ergonomi.

Fitur utama:

- Analisis RULA
- Analisis REBA
- Analisis OWAS
- NIOSH Lifting Equation
- Snook Tables
- Job Strain Index

Kelebihan:

- Antarmuka sederhana.
- Mudah digunakan oleh mahasiswa dan peneliti.
- Mendukung berbagai metode ergonomi dalam satu aplikasi.

Kekurangan:

- Fitur simulasi 3D terbatas.

- Memerlukan lisensi untuk fitur lengkap.

2. Kinovea

[Kinovea Official Website](http://www.kinovea.com)

Kinovea adalah perangkat lunak analisis gerakan berbasis video yang banyak digunakan untuk mengukur sudut tubuh dan mengevaluasi postur kerja.

Fitur:

- Analisis sudut sendi.
- Pengukuran jarak dan kecepatan gerakan.
- Frame-by-frame analysis.
- Perekaman video.

Kelebihan:

- Gratis dan open source.
- Mudah digunakan.
- Cocok untuk penelitian ergonomi dan olahraga.

Kekurangan:

- Tidak memiliki modul RULA atau REBA otomatis.

Software Simulasi Ergonomi dan Human Modeling

1. Siemens Tecnomatix Process Simulate Human

Software ini digunakan untuk mensimulasikan aktivitas manusia dalam lingkungan kerja virtual.

Fitur:

- Digital Human Modeling (DHM).
- Simulasi gerakan kerja.
- Analisis jangkauan tangan.
- Evaluasi postur kerja.
- Analisis ergonomi manufaktur.

Keunggulan:

- Simulasi 3D sangat realistis.
- Banyak digunakan dalam industri otomotif dan manufaktur.

2. Dassault Systèmes CATIA Human Design & Ergonomics

CATIA memiliki modul ergonomi yang dapat digunakan untuk menganalisis interaksi manusia dengan sistem kerja.

Fitur:

- Digital manikin.
- Simulasi jangkauan.
- Analisis visibilitas.
- Evaluasi kenyamanan kerja.
- Analisis biomekanika.

Kelebihan:

- Akurasi tinggi.
- Cocok untuk desain produk dan industri.

Kekurangan:

- Harga lisensi relatif mahal.
- Membutuhkan spesifikasi komputer tinggi.

3. Jack Human Simulation (Siemens)

Jack merupakan software Digital Human Modeling yang digunakan untuk mengevaluasi interaksi manusia dengan lingkungan kerja.

Fitur:

- Simulasi pekerja virtual.
- Analisis RULA dan NIOSH.
- Prediksi kelelahan.
- Evaluasi jangkauan kerja.

Aplikasi:

- Industri manufaktur.
- Otomotif.
- Konstruksi.
- Pertahanan.

Software Analisis Biomekanika

1. AnyBody Modeling System

AnyBody merupakan software biomekanika yang digunakan untuk menganalisis sistem muskuloskeletal manusia.

Fitur:

- Analisis gaya otot.
- Analisis sendi.
- Simulasi gerakan manusia.
- Prediksi beban biomekanika.

Kelebihan:

- Akurasi tinggi.
- Banyak digunakan dalam penelitian akademik.

2. OpenSim

OpenSim adalah software open-source untuk simulasi biomekanika manusia.

Fitur:

- Simulasi gerakan tubuh.
- Analisis aktivitas otot.
- Evaluasi biomekanika.

Kelebihan:

- Gratis.
- Banyak digunakan untuk penelitian dan pendidikan.

Kekurangan:

- Kurva pembelajaran relatif tinggi.

Software Analisis Beban Kerja dan Statistik Ergonomi

1. IBM SPSS Statistics

SPSS sering digunakan untuk menganalisis data ergonomi yang diperoleh dari:

- Nordic Body Map
- NASA-TLX
- Kuesioner kelelahan kerja
- Survei kenyamanan kerja

Analisis yang dapat dilakukan:

- Uji validitas.
- Uji reliabilitas.
- Regresi.
- Korelasi.

- Analisis faktor.

2. Microsoft Excel

Microsoft Excel merupakan software yang paling banyak digunakan untuk pengolahan data ergonomi.

Fungsi:

- Perhitungan skor RULA.
- Perhitungan REBA.
- Pengolahan data NBM.
- Analisis statistik deskriptif.

Kelebihan:

- Mudah digunakan.
- Tersedia hampir di semua organisasi.

3. R Project for Statistical Computing

R merupakan software statistik open-source yang banyak digunakan dalam penelitian ergonomi.

Keunggulan:

- Gratis.
- Mendukung analisis statistik lanjutan.
- Mendukung visualisasi data yang kuat.

Contoh analisis:

- Uji hipotesis.
- Analisis multivariat.
- Machine Learning untuk ergonomi.

Software Analisis Ergonomi Berbasis Kecerdasan Buatan

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) telah menghasilkan berbagai sistem ergonomi otomatis.

Teknologi yang digunakan antara lain:

- Computer Vision
- Deep Learning
- Pose Estimation
- Human Activity Recognition

Software dan framework yang sering digunakan:

- OpenCV
- MediaPipe
- TensorFlow
- PyTorch

Aplikasi AI dalam ergonomi:

- Deteksi postur kerja otomatis.
- Perhitungan RULA dan REBA otomatis.
- Monitoring pekerja secara real-time.
- Prediksi kelelahan kerja.
- Sistem peringatan dini risiko MSDs.

BAB 9

PERANCANGAN SISTEM KERJA TERPADU

Sandi Yudha Barri Zaqy, S.T., M.T.

Politeknik Jambi

A. Pendahuluan

Setiap pekerjaan selalu melibatkan manusia. Sekalipun teknologi berkembang pesat, manusia tetap menjadi bagian penting dalam sistem kerja. Dalam perspektif ergonomi, sistem kerja harus dirancang dengan menyeimbangkan kebutuhan manusia, aspek sosial, aspek teknis, organisasi kerja, peralatan, dan lingkungan kerja (Standardization, 2016)

Perancangan sistem kerja terpadu berangkat dari kesadaran bahwa produktivitas yang berkelanjutan tidak cukup dicapai dengan mempercepat proses. Produktivitas yang baik lahir dari kesesuaian antara manusia, mesin, metode kerja, lingkungan, standar keselamatan, dan pengendalian risiko kerja (Standardization, 2016)(Office, 1992)

Bab ini membahas integrasi manusia, mesin, dan metode kerja; pengukuran kerja; line balancing; lean ergonomics; analisis PERT; serta studi peningkatan produktivitas berbasis ergonomi. Analisis PERT dimasukkan karena perbaikan sistem kerja pada dasarnya merupakan proyek kecil yang membutuhkan urutan aktivitas, estimasi waktu, pengendalian ketidakpastian, dan identifikasi aktivitas kritis (Bagshaw, 2021).

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, pembaca mampu menjelaskan prinsip sistem kerja terpadu, menghitung waktu baku, menganalisis line balancing, memahami lean ergonomics, menyusun jaringan PERT, menentukan jalur kritis, serta menyusun studi peningkatan produktivitas berbasis ergonomi.

B. Integrasi Manusia, Mesin, dan Metode Kerja

Sistem kerja terpadu merupakan hubungan dinamis antara manusia, mesin, metode kerja, material, lingkungan, dan tujuan organisasi. ISO 6385:2016 menekankan bahwa desain sistem kerja perlu melihat pekerja, peralatan, ruang kerja, lingkungan, dan organisasi sebagai satu kesatuan yang saling memengaruhi (Standardization, 2016).

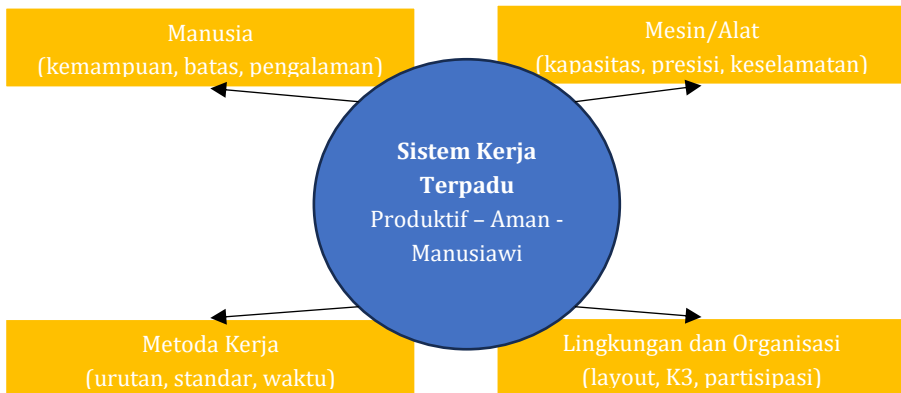
Dalam banyak kasus, produktivitas rendah bukan semata-mata disebabkan oleh pekerja yang tidak bekerja cepat. Produktivitas dapat menurun karena rancangan kerja tidak sesuai dengan kemampuan manusia, seperti alat yang terlalu jauh dari jangkauan, meja kerja tidak sesuai antropometri, atau metode kerja yang menyebabkan postur janggal (National Institute for Occupational Safety and Health, 2024; Standardization, 2002).

ISO 14738:2002 dapat digunakan sebagai rujukan untuk merancang workstation berbasis antropometri, sedangkan ISO 11228-1:2021 dan ISO/TR 12295:2014 membantu mengevaluasi risiko manual handling dan postur kerja statis (Standardization, 2002, 2014, 2021).

Tabel 10. 1. Rujukan dari Prinsip Integrasi Manusia – Mesin – Metode Kerja

Sumber: diadaptasi dari (Standardization, 2016) dan(Standardization, 2002).

Prinsip	Makna Humanis	Rujukan Literatur
Kesesuaian manusia-pekerjaan	Pekerjaan dirancang sesuai kemampuan dan batas manusia	(Standardization, 2002, 2016)
Efisiensi gerakan	Energi tidak terbuang untuk gerakan tidak bernilai tambah	(Occupational Safety and Health Administration, t.t.; Office, 1992).
Keselamatan kerja	Produktivitas tidak mengabaikan risiko cedera	(National Institute for Occupational Safety and Health, 2024)
Partisipasi pekerja	Pekerja menjadi sumber pengetahuan lapangan	(National Institute for Occupational Safety and Health, 2024; Occupational Safety and Health Administration, t.t.)



Gambar 10. 1. Model Sistem Kerja Terpadu Berbasis Pendekatan Sosio-Teknis.

C. Work Measurement (Pengukuran Kerja)

Work measurement adalah teknik untuk menentukan waktu yang diperlukan oleh pekerja terlatih dalam menyelesaikan pekerjaan dengan metode tertentu pada tingkat kinerja wajar. ILO menempatkan work measurement sebagai bagian dari work study yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas melalui studi metode dan pengukuran kerja (Office, 1992).

Dalam pendekatan humanis akademis, waktu baku tidak boleh dipahami sebagai alat menekan pekerja. Waktu baku harus mempertimbangkan waktu normal, rating kinerja, allowance untuk kebutuhan pribadi, kelelahan, dan hambatan tidak terhindarkan agar standar kerja tetap realistis dan aman (National Institute for Occupational Safety and Health, 2024; Office, 1992).

Rumus yang digunakan adalah

$$\text{Waktu Normal} = \text{Waktu Siklus Rata-rata} \times \text{Faktor Penilaian}$$

$$\text{Waktu Baku} = \frac{\text{Waktu Normal} \times 100\%}{100\% - \text{Allowance}}$$

Jika waktu siklus rata-rata 5 menit, rating 110%, dan allowance 15%, maka

$$\text{Waktu Normal} = 5 \times 110\% = 5,5 \text{ menit}$$

$$Waktu\ Baku = \frac{5,5 \times 100\%}{100\% - 15\%} = \frac{550\%}{85\%} = 6,47\ \text{menit per unit}$$

Pilih Pekerjaan → Uraikan Elemen → Ukur Waktu → Rating Kinerja → Allowance → waktu Baku

Gambar 10. 2. Alur umum work measurement sampai penetapan waktu baku

D. Line Balancing

Line balancing adalah proses menyeimbangkan beban kerja antarstasiun produksi. Pada pendekatan tradisional, line balancing berfokus pada pengurangan idle time dan bottleneck; pada pendekatan ergonomi, line balancing juga perlu mempertimbangkan distribusi risiko fisik antarpekerja (Otto & Battaia, 2017).

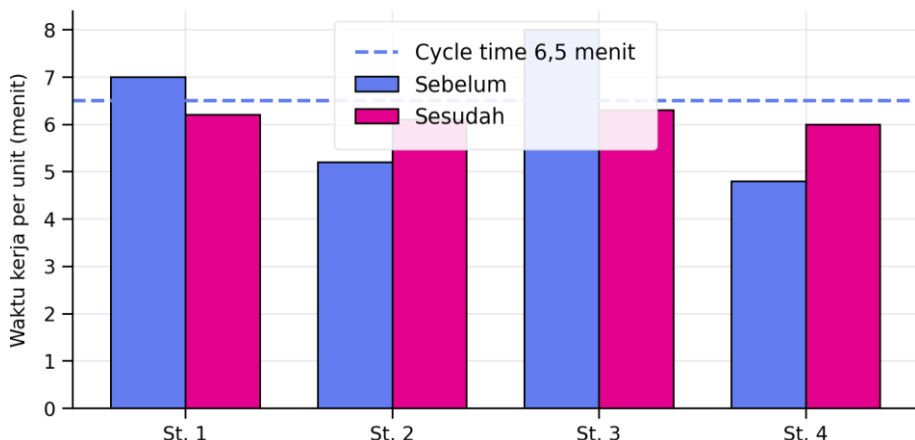
Risiko ergonomi pada lini perakitan dapat muncul dari repetisi gerakan, pengangkatan beban, postur paksa, dan kerja statis. Oleh karena itu, pembagian elemen kerja sebaiknya tidak hanya didasarkan pada durasi aktivitas, tetapi juga tingkat paparan risiko ergonomi (Otto & Battaia, 2017; Standardization, 2002).

Rumus yang digunakan adalah

$$Cycle\ Time = \frac{Waktu\ produksi\ tersedia}{Target\ output}$$

$$Efisiensi\ Lini = \frac{Total\ Waktu\ Elemen\ Kerja}{Jumlah\ Stasiun \times Cycle\ Time} \times 100\%$$

$$Balance\ Delay = 100\% - Efisiensi\ Lini$$



Gambar 10. 3. Ilustrasi line balancing sebelum dan sesudah perbaikan.

E. Lean Ergonomics

Lean ergonomics mempertemukan dua cara pandang: lean untuk mengurangi pemborosan dan ergonomi untuk menyesuaikan pekerjaan dengan kemampuan manusia. Studi (Oliveira dkk., 2018) menunjukkan bahwa integrasi lean dan ergonomi dapat mendukung produktivitas sekaligus memperbaiki kondisi kerja.

(Brunner dkk., 2023) menjelaskan bahwa lean ergonomics dapat menggabungkan data waktu, penilaian ergonomi objektif, dan penilaian subjektif pekerja. Pendekatan ini penting karena perbaikan proses tidak hanya mengejar kecepatan, tetapi juga keberlanjutan kondisi kerja manusia (Brunner dkk., 2023).

OSHA menekankan bahwa pengendalian risiko ergonomi sebaiknya dilakukan melalui perubahan desain kerja, alat bantu, layout, meja kerja, dan praktik kerja, bukan hanya melalui instruksi kepada pekerja (Occupational Safety and Health Administration, t.t.).

Tabel 10. 2. Pemborosan, resiko dan perbaikan

Pemborosan Lean	Risiko Ergonomi	Literatur Pendukung	Usulan Perbaikan
Motion	Jangkauan berlebih, bahu cepat lelah	(Occupational Safety and Health Administration, t.t.; Oliveira dkk., 2018)	Tempatkan alat pada zona jangkauan normal
Transportation	Beban angkat dan risiko punggung	(Occupational Safety and Health Administration, t.t.; Standardization, 2021)	Gunakan troli, conveyor, atau layout seluler
Waiting	Postur statis dan kejenuhan	(Brunner dkk., 2023; National Institute for Occupational Safety and Health, 2024)	Perbaiki suplai material dan visual control
Defect/Rework	Paparan repetisi bertambah	(Oliveira dkk., 2018)	Gunakan jig, fixture, poka-yoke, dan standar kerja

F. Analisis PERT dalam Perancangan Sistem Kerja Terpadu

Perbaikan sistem kerja sering dipahami sebagai aktivitas teknis yang sederhana, seperti mengukur waktu, mengubah layout, menata alat, atau menyeimbangkan stasiun kerja. Dalam praktiknya, perbaikan tersebut merupakan proyek kecil yang memiliki urutan aktivitas, ketergantungan antarpekerjaan, keterbatasan sumber daya, dan ketidakpastian durasi (Bagshaw, 2021).

PERT atau Program Evaluation and Review Technique digunakan untuk merencanakan dan mengendalikan proyek melalui estimasi waktu optimis, paling mungkin, dan pesimis. PERT sesuai untuk pekerjaan yang durasinya belum pasti, sedangkan CPM lebih deterministik dan digunakan ketika durasi aktivitas relatif diketahui (Bagshaw, 2021; Improhealth, t.t.).

Dalam konteks sistem kerja terpadu, PERT membantu menjadwalkan observasi proses, studi waktu, analisis ergonomi, identifikasi waste, perancangan layout, simulasi line balancing, pembuatan alat bantu, uji coba implementasi, dan evaluasi hasil. Terminologi ES, EF, LS, LF, float/slack, dan critical path digunakan untuk

memahami aktivitas mana yang menentukan durasi proyek (Kramer & Jenkins, 2005).

Rumus Dasar PERT

$$Waktu\ harapan\ aktivitas\ (Te) = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$Varians\ aktivitas\ (\sigma^2) = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

Keterangan:

a = waktu optimis

m = waktu paling mungkin

b = waktu pesimis.

Jalur kritis adalah rangkaian aktivitas dengan slack = 0 dan durasi total terpanjang (Bagshaw, 2021; Improhealth, t.t.)

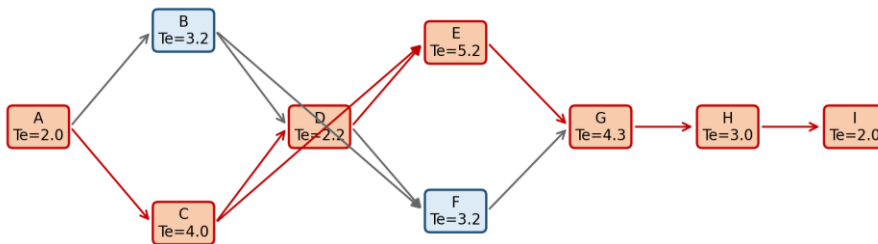
Tabel 10. 3. Contoh perhitungan PERT

Kode	Aktivitas	Pendahulu	a	m	b	Te	Var
A	Observasi sistem kerja awal	-	1	2	3	2.00	0.11
B	Studi waktu dan pengukuran siklus	A	2	3	5	3.17	0.25
C	Analisis ergonomi dan keluhan pekerja	A	2	4	6	4.00	0.44
D	Identifikasi pemborosan lean	B, C	1	2	4	2.17	0.25
E	Perancangan ulang layout dan workstation	C, D	3	5	8	5.17	0.69
F	Simulasi line balancing	B, D	2	3	5	3.17	0.25
G	Pembuatan alat bantu/standar kerja awal	E, F	3	4	7	4.33	0.44
H	Uji coba implementasi di area kerja	G	2	3	4	3.00	0.11
I	Evaluasi produktivitas dan standardisasi	H	1	2	3	2.00	0.11

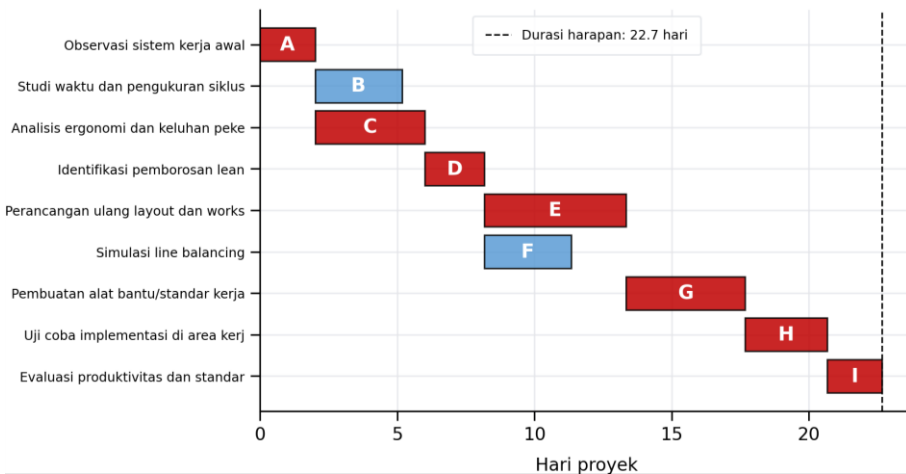
Tabel 10. 4. Waktu proses hasil perhitungan PERT

Kode	ES	EF	LS	LF	Slack	Kritis
A	0.00	2.00	-0.00	2.00	-0.00	Ya
B	2.00	5.17	2.83	6.00	0.83	Tidak
C	2.00	6.00	2.00	6.00	-0.00	Ya
D	6.00	8.17	6.00	8.17	-0.00	Ya
E	8.17	13.33	8.17	13.33	-0.00	Ya
F	8.17	11.33	10.17	13.33	2.00	Tidak
G	13.33	17.67	13.33	17.67	0.00	Ya
H	17.67	20.67	17.67	20.67	0.00	Ya
I	20.67	22.67	20.67	22.67	0.00	Ya

Keterangan: ES = Early Start, EF = Early Finish, LS = Late Start, LF = Late Finish. Terminologi mengacu pada (Kramer & Jenkins, 2005).



Gambar 10. 4. Jaringan PERT proyek perbaikan sistem kerja..



Gambar 10. 5. Jadwal PERT berdasarkan waktu harapan aktivitas.

Berdasarkan hasil perhitungan, durasi harapan proyek adalah sekitar 22.67 hari. Aktivitas kritis membentuk jalur A-C-D-E-G-H-I. Jalur kritis perlu mendapat perhatian karena keterlambatan pada aktivitas kritis akan mendorong keterlambatan keseluruhan proyek (Kramer & Jenkins, 2005).

Jumlah varians pada jalur kritis adalah 2.17, sehingga simpangan baku proyek sekitar 1.47 hari. Apabila target penyelesaian ditetapkan 26 hari, maka nilai $Z = \frac{26-22.67}{1.47} = 2.26$. Peluang penyelesaian sebelum atau sama dengan 26 hari adalah sekitar 98.8%. Pendekatan probabilistik seperti ini merupakan karakteristik PERT saat durasi aktivitas tidak pasti (Bagshaw, 2021; Improhealth, t.t.).

Secara humanis, PERT membantu tim tidak hanya menekan pekerja agar cepat selesai, tetapi juga memahami aktivitas mana yang benar-benar menentukan waktu proyek. Tambahan sumber daya, pendampingan teknis, atau penjadwalan ulang dapat difokuskan pada aktivitas kritis tanpa membebani seluruh anggota tim secara tidak proporsional.

G. Studi Peningkatan Produktivitas Berbasis Ergonomi

Peningkatan produktivitas berbasis ergonomi dimulai dari pertanyaan: bagaimana pekerjaan dapat dilakukan dengan lebih baik tanpa membuat pekerja lebih menderita? Program ergonomi yang baik perlu mengidentifikasi faktor risiko kerja, memperbaiki desain kerja, dan melibatkan pekerja dalam proses perbaikan (National Institute for Occupational Safety and Health, 2024; Occupational Safety and Health Administration, t.t.).

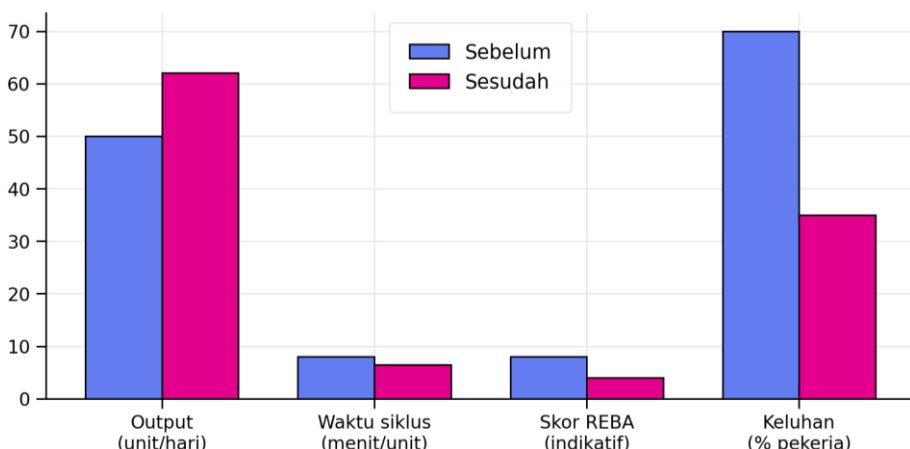
Studi ini menggabungkan data kuantitatif seperti waktu siklus, output, efisiensi lini, jumlah cacat, idle time, dan jadwal proyek perbaikan dengan data kualitatif seperti keluhan pekerja, kenyamanan, kemudahan penggunaan alat, dan persepsi pekerja terhadap metode kerja (Brunner dkk., 2023).

Contoh kasus menunjukkan bahwa setelah perbaikan layout, tinggi meja, posisi alat, rak komponen, standar urutan kerja, dan

pembagian beban kerja, waktu siklus turun dari 8 menit menjadi 6,5 menit per unit, output naik dari 50 menjadi 62 unit per hari, sehingga produktivitas meningkat 24%. Jika proses perbaikan dijalankan sebagai proyek, PERT membantu memastikan setiap tahap perbaikan berjalan terjadwal dan realistis (Bagshaw, 2021).

Tabel 10. 5. Indikator Peningkatan Produktivitas berdasarkan Ergonomi

Indikator	Sebelum	Sesudah	Interpretasi dan Rujukan
Waktu siklus	8 menit/unit	6,5 menit/unit	Pengurangan gerakan tidak perlu; selaras dengan work study (Office, 1992)
Output harian	50 unit	62 unit	Produktivitas meningkat 24%; selaras dengan lean ergonomics (Oliveira dkk., 2018)
Skor REBA indikatif	8	4	Risiko postur menurun; selaras dengan program ergonomi (National Institute for Occupational Safety and Health, 2024)
Keluhan pekerja	70%	35%	Kondisi kerja lebih nyaman; selaras dengan pengendalian bahaya (Occupational Safety and Health Administration, t.t.)
Pengendalian proyek	Belum terstruktur	Menggunakan PERT	Aktivitas kritis dan risiko keterlambatan mudah dipantau; (Bagshaw, 2021)



Gambar 10. 6. Indikator perbaikan produktivitas berbasis ergonomi.

Refleksi Pembelajaran

Perancangan sistem kerja terpadu bukan hanya persoalan menghitung waktu baku atau menyeimbangkan lini. Perancangan sistem kerja adalah upaya membangun hubungan yang sehat antara manusia, teknologi, metode, waktu, dan tujuan organisasi (Office, 1992; Standardization, 2016).

Dengan tambahan analisis PERT, pembaca dapat melihat bahwa proyek perbaikan sistem kerja juga perlu dirancang secara manusiawi. Jadwal yang baik bukan hanya jadwal yang cepat, tetapi jadwal yang realistis, transparan, dan memberi ruang bagi tim untuk bekerja dengan aman, terarah, dan bertanggung jawab (Bagshaw, 2021; Kramer & Jenkins, 2005).

Sistem kerja terpadu menghubungkan manusia, mesin, metode, lingkungan, organisasi, dan pengendalian waktu proyek. Work measurement menetapkan waktu standar yang wajar. Line balancing menyeimbangkan beban antar stasiun. Lean ergonomics mengurangi pemborosan sekaligus menjaga keselamatan dan kenyamanan kerja. PERT membantu merencanakan proyek perbaikan sistem kerja melalui estimasi tiga waktu, jaringan aktivitas, jalur kritis, slack, dan peluang penyelesaian proyek.

BAB 10

ERGONOMI DALAM INDUSTRI DAN TEKNOLOGI MODERN

Dr. Anny Nurbasari.,S.E.,M.P
Universitas Kristen Maranatha

A. Ergonomi di Manufaktur

Industri manufaktur merupakan salah satu sektor yang paling banyak menerapkan prinsip ergonomi karena melibatkan interaksi intensif antara manusia, mesin, material, metode kerja, dan lingkungan kerja. Aktivitas seperti perakitan, pengelasan, pengepakan, pengangkatan material, pengoperasian mesin, hingga inspeksi kualitas membutuhkan kondisi kerja yang aman, nyaman, dan efisien.

Ergonomi di manufaktur berfokus pada penyesuaian sistem kerja dengan kemampuan dan keterbatasan manusia sehingga pekerja dapat bekerja secara produktif tanpa mengalami kelelahan berlebihan, cedera, maupun gangguan kesehatan jangka panjang. Penerapan ergonomi yang baik tidak hanya meningkatkan kesejahteraan pekerja, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap kualitas produk, produktivitas, dan profitabilitas perusahaan.

Ergonomi di manufaktur adalah penerapan prinsip-prinsip ergonomi dalam perancangan pekerjaan, peralatan, mesin, stasiun kerja, dan lingkungan produksi untuk menciptakan kondisi kerja yang optimal bagi pekerja.

Tujuan utama ergonomi di manufaktur meliputi:

1. Mengurangi risiko kecelakaan kerja.
2. Mencegah gangguan muskuloskeletal (Musculoskeletal Disorders/MSDs).
3. Meningkatkan kenyamanan dan keselamatan kerja.
4. Mengoptimalkan produktivitas pekerja.
5. Menurunkan tingkat kesalahan kerja (human error).

6. Meningkatkan kualitas hasil produksi.

Dalam lingkungan manufaktur modern, pekerja sering melakukan aktivitas yang berulang (repetitive work), mengangkat beban berat, berdiri dalam waktu lama, atau bekerja dengan posisi tubuh yang kurang alami.

Tanpa penerapan ergonomi yang baik, berbagai masalah dapat muncul, seperti:

- Nyeri punggung bawah (low back pain).
- Cedera bahu dan leher.
- Carpal Tunnel Syndrome (CTS).
- Kelelahan fisik berlebihan.
- Penurunan produktivitas.
- Peningkatan angka kecelakaan kerja.

Sebaliknya, penerapan ergonomi yang tepat memberikan manfaat sebagai berikut:

Aspek	Manfaat
Pekerja	Lebih nyaman dan sehat
Perusahaan	Produktivitas meningkat
Produk	Kualitas lebih konsisten
Keselamatan	Risiko kecelakaan berkurang
Biaya	Pengeluaran akibat cedera menurun

Faktor Ergonomi dalam Lingkungan Manufaktur

a. Faktor Fisik

Faktor fisik berkaitan dengan interaksi langsung antara tubuh pekerja dan pekerjaan yang dilakukan.

Contohnya:

- Posisi kerja berdiri atau duduk.
- Pengangkatan material.
- Gerakan berulang.
- Jangkauan tangan.
- Ketinggian meja kerja.

Perancangan yang tidak sesuai dapat menyebabkan postur kerja yang buruk dan meningkatkan risiko cedera.

b. Faktor Kognitif

Faktor kognitif berkaitan dengan proses mental pekerja selama menjalankan tugas.

Contoh:

- Pengambilan keputusan.
- Konsentrasi.
- Persepsi visual.
- Beban mental.

Tampilan panel kontrol yang rumit dapat meningkatkan risiko kesalahan operator.

c. Faktor Lingkungan

Lingkungan kerja juga berpengaruh terhadap kenyamanan dan kinerja pekerja.

Faktor lingkungan meliputi:

- Pencahayaan.
- Suhu dan kelembapan.
- Kebisingan.
- Getaran.
- Kualitas udara.

Penerapan Ergonomi pada Stasiun Kerja Manufaktur

Stasiun kerja (workstation) merupakan area tempat pekerja melakukan aktivitas produksi. Prinsip ergonomi yang perlu diperhatikan antara lain:

a. Penyesuaian Tinggi Meja Kerja

Ketinggian meja harus sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

Jenis Pekerjaan	Tinggi Meja yang Direkomendasikan
Pekerjaan presisi	Sedikit di atas siku
Pekerjaan ringan	Setinggi siku
Pekerjaan berat	Sedikit di bawah siku

b. Penataan Area Kerja

Material dan alat yang sering digunakan harus ditempatkan dalam area jangkauan normal pekerja untuk mengurangi gerakan yang tidak perlu.

c. Penyediaan Kursi Ergonomis

Untuk pekerjaan duduk, kursi harus memiliki:

- Sandaran punggung.
- Pengaturan tinggi.
- Penopang lengan.
- Bantalan yang nyaman.

Ergonomi pada Aktivitas Material Handling

Material handling adalah aktivitas memindahkan, mengangkat, membawa, menarik, atau mendorong material dalam proses produksi. Aktivitas ini sering menjadi penyebab utama cedera muskuloskeletal.

Risiko Material Handling

- Cedera tulang belakang.
- Nyeri pinggang.
- Cedera bahu.
- Cedera lutut.

Prinsip Ergonomi Material Handling

- a. Mendekatkan beban ke tubuh.
- b. Menghindari gerakan memutar badan saat mengangkat.
- c. Menggunakan otot kaki saat mengangkat.
- d. Mengurangi berat beban jika memungkinkan.
- e. Menggunakan alat bantu angkat.

Ergonomi pada Proses Perakitan (Assembly Line)

Pada lini perakitan, pekerja sering melakukan tugas yang sama secara berulang.

Masalah ergonomi yang sering muncul:

- Gerakan repetitif.
- Posisi kerja statis.
- Kelelahan otot.
- Tekanan waktu kerja.

Solusi ergonomi yang dapat diterapkan:

- Rotasi pekerjaan (job rotation).
- Penyesuaian tinggi conveyor.
- Penggunaan alat bantu otomatis.
- Istirahat kerja terjadwal.

Ergonomi dan Keselamatan Kerja di Manufaktur

Ergonomi memiliki hubungan erat dengan keselamatan kerja karena banyak kecelakaan terjadi akibat desain kerja yang buruk.

Contohnya:

Kondisi Tidak Ergonomis	Dampak
Lantai licin	Terpeleset
Posisi kontrol sulit dijangkau	Kesalahan operasi
Pencahayaan kurang	Kesalahan inspeksi
Pengangkatan manual berlebihan	Cedera punggung

Integrasi ergonomi dan keselamatan kerja membantu menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif.

Ergonomi dalam Konsep Lean Manufacturing

Lean Manufacturing bertujuan menghilangkan pemborosan (waste) dalam proses produksi.

Ergonomi mendukung lean manufacturing melalui:

- Pengurangan gerakan tidak perlu.
- Pengurangan kelelahan pekerja.
- Perbaikan tata letak kerja.
- Peningkatan efisiensi proses.

Hubungan ergonomi dan lean dapat menghasilkan:

1. Waktu siklus lebih pendek.
2. Produktivitas lebih tinggi.
3. Kualitas produk lebih baik.
4. Kepuasan pekerja meningkat.

Ergonomi pada Industri Manufaktur Modern

Perkembangan teknologi manufaktur membawa perubahan besar dalam penerapan ergonomi. Beberapa teknologi yang mendukung ergonomi antara lain:

a. Robot Kolaboratif (Cobots)

Robot bekerja bersama manusia untuk mengurangi pekerjaan berat dan berbahaya.

Manfaat:

- Mengurangi beban fisik.
- Menurunkan risiko cedera.
- Meningkatkan produktivitas.

b. Internet of Things (IoT)

Sensor IoT dapat memantau:

- Postur pekerja.
- Kelelahan.
- Kondisi lingkungan kerja.
- Penggunaan mesin.

c. Wearable Technology

Perangkat wearable digunakan untuk memantau kondisi pekerja secara real-time.

Contoh:

- Smart helmet.
- Smart watch industri.
- Sensor postur tubuh.

d. Digital Human Modeling (DHM)

DHM memungkinkan simulasi aktivitas manusia sebelum stasiun kerja dibangun sehingga risiko ergonomi dapat diidentifikasi sejak tahap desain.

Studi Kasus Penerapan Ergonomi di Industri Manufaktur

Sebuah perusahaan perakitan elektronik menemukan bahwa pekerja mengalami nyeri leher dan bahu akibat posisi kerja membungkuk selama proses inspeksi produk.

Perbaikan yang dilakukan:

1. Meningkatkan meja inspeksi.
2. Menambahkan kursi ergonomis.
3. Menggunakan lampu LED dengan pencahayaan yang lebih baik.
4. Memberikan jadwal istirahat mikro (micro-break).

Hasil yang diperoleh:

- Keluhan pekerja menurun 60%.
- Produktivitas meningkat 15%.
- Tingkat kesalahan inspeksi turun 20%.

Kasus ini menunjukkan bahwa investasi pada ergonomi dapat memberikan manfaat signifikan bagi pekerja dan perusahaan.

B. Ergonomi di Layanan dan Perkantoran

Pekerja kantor sering menghabiskan waktu berjam-jam dalam posisi duduk, menatap layar komputer, menggunakan keyboard dan mouse secara terus-menerus, serta menghadapi tekanan pekerjaan yang tinggi. Kondisi tersebut dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan, seperti nyeri leher, nyeri punggung, kelelahan mata, stres kerja, dan gangguan muskuloskeletal lainnya.

Oleh karena itu, penerapan ergonomi pada sektor layanan dan perkantoran menjadi sangat penting untuk menciptakan lingkungan kerja yang sehat, nyaman, aman, dan produktif.

Ergonomi di layanan dan perkantoran adalah penerapan prinsip-prinsip ergonomi dalam merancang lingkungan kerja, peralatan, sistem kerja, dan interaksi manusia dengan teknologi guna meningkatkan kenyamanan, kesehatan, keselamatan, dan produktivitas pekerja.

Fokus utama ergonomi perkantoran meliputi:

- Desain meja dan kursi kerja.
- Pengaturan komputer dan perangkat digital.
- Tata letak ruang kerja.

- Kondisi lingkungan kerja.
- Beban kerja mental.
- Interaksi manusia dengan teknologi informasi.

Tujuan penerapannya adalah menciptakan kesesuaian antara pekerjaan dan kemampuan manusia sehingga risiko cedera dan kelelahan dapat diminimalkan.

Karakteristik Pekerjaan di Sektor Layanan dan Perkantoran

Pekerjaan di sektor layanan dan perkantoran memiliki karakteristik yang berbeda dengan sektor manufaktur. Beberapa karakteristik tersebut antara lain:

- a. Dominasi Aktivitas Duduk**
Sebagian besar pekerjaan dilakukan dalam posisi duduk selama waktu yang cukup lama.
Contoh: Administrasi, Akuntansi, Pengolahan data, Customer service, Analisis bisnis.
- b. Penggunaan Komputer Secara Intensif**
Komputer menjadi alat utama dalam berbagai aktivitas kerja sehingga meningkatkan risiko kelelahan mata dan gangguan postur tubuh.
- c. Beban Mental yang Tinggi**
Pekerjaan sering kali melibatkan: Pengambilan keputusan, Analisis informasi, Pemecahan masalah, Komunikasi dengan pelanggan.
- d. Interaksi dengan Pelanggan**
Pada sektor layanan, pekerja harus menjaga kualitas pelayanan sekaligus menghadapi berbagai karakter pelanggan yang berbeda.

Permasalahan Ergonomi di Perkantoran

Beberapa masalah ergonomi yang umum ditemukan dalam lingkungan kantor antara lain:

- a. Nyeri Leher dan Bahu**
Penyebabnya meliputi:
 - Posisi monitor terlalu rendah.

- Kebiasaan menunduk saat bekerja.
 - Posisi duduk yang tidak tepat.
- b. Nyeri Punggung Bawah
Dapat terjadi akibat:
- Kursi tanpa dukungan lumbar.
 - Duduk terlalu lama.
 - Postur tubuh yang buruk.
- c. Gangguan Pergelangan Tangan
Penggunaan keyboard dan mouse yang berlebihan dapat menyebabkan:
- Carpal Tunnel Syndrome (CTS).
 - Tendinitis.
 - Nyeri pada pergelangan tangan.
- d. Kelelahan Mata (Computer Vision Syndrome)
Gejala yang sering muncul:
- Mata kering.
 - Penglihatan kabur.
 - Sakit kepala.
 - Mata terasa lelah.
- e. Stres Kerja
Faktor penyebab antara lain:
- Beban kerja tinggi.
 - Target pekerjaan yang ketat.
 - Lingkungan kerja yang kurang nyaman.

C. Ergonomi Digital dan Kerja Berbasis Komputer

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengubah cara manusia bekerja di berbagai sektor. Saat ini, sebagian besar aktivitas pekerjaan dilakukan dengan bantuan komputer, laptop, tablet, smartphone, serta berbagai perangkat digital lainnya. Transformasi digital ini memberikan banyak manfaat dalam meningkatkan efisiensi, kecepatan, dan fleksibilitas kerja. Namun, penggunaan teknologi digital yang intensif juga menimbulkan tantangan

baru terkait kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas pekerja. Oleh karena itu, muncul konsep ergonomi digital sebagai cabang ergonomi yang berfokus pada interaksi antara manusia dan teknologi digital agar tercipta lingkungan kerja yang aman, nyaman, dan efektif.

Ergonomi digital merupakan penerapan prinsip-prinsip ergonomi dalam penggunaan perangkat komputer, sistem informasi, aplikasi digital, serta lingkungan kerja berbasis teknologi. Tujuan utamanya adalah menyesuaikan teknologi dengan kemampuan fisik, kognitif, dan psikologis manusia sehingga pengguna dapat bekerja secara optimal tanpa mengalami kelelahan, cedera, atau stres yang berlebihan. Dalam konteks ini, ergonomi tidak hanya memperhatikan aspek fisik seperti posisi duduk dan tata letak perangkat, tetapi juga mencakup desain antarmuka, beban mental, serta pengalaman pengguna (user experience).

Salah satu permasalahan utama dalam kerja berbasis komputer adalah gangguan muskuloskeletal yang disebabkan oleh postur kerja yang tidak ergonomis. Banyak pekerja menghabiskan waktu berjam-jam di depan layar komputer dengan posisi duduk yang kurang tepat, seperti membungkuk, menundukkan kepala, atau menopang tangan secara tidak alami saat menggunakan keyboard dan mouse. Kondisi ini dapat menyebabkan nyeri leher, nyeri punggung, nyeri bahu, serta gangguan pada pergelangan tangan yang dikenal sebagai Carpal Tunnel Syndrome (CTS). Oleh karena itu, desain stasiun kerja komputer harus memperhatikan posisi monitor, keyboard, mouse, meja, dan kursi agar sesuai dengan karakteristik antropometri pengguna.

Posisi monitor yang ideal adalah sejajar dengan tinggi mata pengguna sehingga kepala tetap berada pada posisi netral. Jarak pandang monitor umumnya berkisar antara 50 hingga 70 sentimeter dari mata. Keyboard dan mouse harus ditempatkan pada posisi yang memungkinkan siku membentuk sudut sekitar 90 derajat dengan pergelangan tangan tetap lurus. Selain itu, penggunaan kursi ergonomis dengan sandaran punggung yang baik dapat membantu menjaga postur tubuh dan mengurangi tekanan pada tulang belakang selama bekerja.

Selain masalah postur, penggunaan komputer dalam jangka waktu lama juga dapat menimbulkan kelelahan visual atau Computer

Vision Syndrome (CVS). Gejala yang sering muncul meliputi mata lelah, mata kering, penglihatan kabur, sakit kepala, serta kesulitan fokus setelah bekerja dalam waktu yang lama. Kondisi ini disebabkan oleh paparan layar digital secara terus-menerus, pencahayaan yang tidak sesuai, serta frekuensi berkedip yang menurun saat seseorang berkonsentrasi pada layar. Untuk mengurangi risiko tersebut, pekerja dianjurkan menerapkan aturan 20-20-20, yaitu setiap 20 menit melihat objek yang berjarak sekitar 20 kaki (6 meter) selama 20 detik guna memberikan waktu istirahat bagi mata.

Ergonomi digital juga mencakup pengaturan lingkungan kerja yang mendukung penggunaan perangkat komputer. Pencahayaan ruangan harus cukup dan tidak menimbulkan pantulan cahaya pada layar monitor. Suhu ruangan yang nyaman, sirkulasi udara yang baik, serta tingkat kebisingan yang terkendali dapat membantu meningkatkan konsentrasi dan kenyamanan kerja. Dalam lingkungan kerja modern, penggunaan pencahayaan alami dan pengaturan ruang kerja yang fleksibel semakin banyak diterapkan untuk mendukung kesehatan pekerja.

Di era transformasi digital, ergonomi tidak hanya berfokus pada aspek fisik tetapi juga pada ergonomi kognitif. Ergonomi kognitif berkaitan dengan bagaimana manusia menerima, memproses, dan menggunakan informasi yang disajikan oleh sistem digital. Aplikasi dan perangkat lunak yang memiliki antarmuka rumit dapat meningkatkan beban mental pengguna, memperbesar risiko kesalahan, serta menurunkan produktivitas. Oleh karena itu, sistem digital harus dirancang dengan prinsip kemudahan penggunaan (usability), konsistensi tampilan, navigasi yang jelas, dan penyajian informasi yang mudah dipahami.

Konsep pengalaman pengguna (User Experience/UX) dan antarmuka pengguna (User Interface/UI) menjadi bagian penting dari ergonomi digital. Sistem yang dirancang dengan baik memungkinkan pengguna menyelesaikan tugas dengan lebih cepat, akurat, dan nyaman. Sebaliknya, desain yang buruk dapat menyebabkan frustrasi, stres, serta menurunkan efektivitas kerja. Oleh karena itu, pengembang perangkat

lunak dan perancang sistem perlu mempertimbangkan faktor ergonomi sejak tahap perancangan hingga implementasi sistem.

Perkembangan kerja jarak jauh (remote working) dan sistem kerja hibrida juga memberikan tantangan baru dalam penerapan ergonomi digital. Banyak pekerja menggunakan laptop di rumah tanpa fasilitas kerja yang memadai sehingga berisiko mengalami gangguan kesehatan akibat postur kerja yang buruk. Selain itu, meningkatnya penggunaan platform konferensi video, aplikasi kolaborasi daring, dan komunikasi digital dapat menyebabkan digital fatigue atau kelelahan digital. Kelelahan ini ditandai dengan berkurangnya konsentrasi, stres, kelelahan mental, dan menurunnya produktivitas akibat paparan teknologi yang berlebihan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, organisasi perlu menerapkan kebijakan kerja digital yang sehat, seperti pengaturan waktu kerja yang seimbang, pemberian jeda istirahat secara berkala, pembatasan rapat daring yang berlebihan, serta penyediaan pelatihan ergonomi digital bagi karyawan. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan menjaga kesehatan pekerja, tetapi juga meningkatkan efektivitas penggunaan teknologi dalam mendukung aktivitas organisasi.

Perkembangan teknologi modern seperti kecerdasan buatan (Artificial Intelligence), realitas virtual (Virtual Reality), realitas tertambah (Augmented Reality), dan perangkat wearable semakin memperluas ruang lingkup ergonomi digital. Teknologi-teknologi tersebut harus dirancang dengan mempertimbangkan kenyamanan, keselamatan, dan kemampuan pengguna agar dapat memberikan manfaat maksimal tanpa menimbulkan beban fisik maupun mental yang berlebihan. Dengan demikian, ergonomi digital menjadi elemen penting dalam mendukung keberhasilan transformasi digital di berbagai sektor.

Secara keseluruhan, ergonomi digital dan kerja berbasis komputer merupakan pendekatan yang mengintegrasikan aspek fisik, kognitif, dan psikologis dalam penggunaan teknologi modern. Penerapan ergonomi digital yang baik mampu meningkatkan kesehatan, kenyamanan, produktivitas, serta kualitas hidup pekerja di era digital. Oleh karena itu, organisasi perlu menjadikan ergonomi digital sebagai bagian integral dari strategi pengelolaan sumber daya manusia dan

pengembangan teknologi yang berpusat pada manusia (human-centered technology).

D. Integrasi Ergonomi dengan AI dan IoT

Perkembangan teknologi modern telah membawa perubahan besar dalam cara manusia bekerja dan berinteraksi dengan lingkungan kerja. Dua teknologi yang menjadi pendorong utama transformasi industri saat ini adalah Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan dan Internet of Things (IoT). AI memungkinkan sistem untuk melakukan analisis, pembelajaran, dan pengambilan keputusan secara otomatis berdasarkan data yang tersedia, sedangkan IoT memungkinkan berbagai perangkat, sensor, dan mesin saling terhubung melalui jaringan internet untuk bertukar informasi secara real-time. Integrasi kedua teknologi tersebut dengan ergonomi membuka peluang baru dalam menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, nyaman, produktif, dan berpusat pada manusia.

Secara tradisional, penerapan ergonomi dilakukan melalui observasi langsung, pengukuran manual, survei pekerja, dan evaluasi periodik terhadap kondisi kerja. Meskipun metode tersebut masih relevan, proses pengumpulan dan analisis data sering kali memerlukan waktu yang cukup lama. Dengan hadirnya AI dan IoT, proses pemantauan ergonomi dapat dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan sehingga organisasi dapat memperoleh informasi yang lebih akurat mengenai kondisi pekerja dan lingkungan kerja secara real-time.

Dalam konteks ergonomi, IoT berfungsi sebagai sarana pengumpulan data melalui berbagai sensor yang dipasang pada lingkungan kerja, peralatan, maupun tubuh pekerja. Sensor tersebut dapat mengukur berbagai parameter seperti postur tubuh, gerakan, denyut jantung, suhu tubuh, tingkat kebisingan, kualitas udara, intensitas pencahayaan, dan tingkat kelelahan pekerja. Data yang dikumpulkan kemudian dikirim ke sistem pusat untuk dianalisis lebih lanjut. Dengan cara ini, perusahaan dapat memantau kondisi kerja secara terus-menerus tanpa harus melakukan pengamatan manual setiap saat.

Salah satu contoh penerapan IoT dalam ergonomi adalah penggunaan perangkat wearable atau perangkat yang dapat dikenakan oleh pekerja. Perangkat ini dapat berupa jam tangan pintar, sensor tubuh, rompi pintar, atau perangkat pemantau postur yang mampu mendeteksi posisi tubuh pekerja selama melakukan aktivitas kerja. Jika sistem mendeteksi postur yang berisiko menyebabkan cedera, perangkat dapat memberikan peringatan secara langsung kepada pekerja sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan. Pendekatan ini membantu mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal dan meningkatkan kesadaran pekerja terhadap pentingnya postur kerja yang benar.

Kecerdasan buatan (AI) berperan dalam mengolah dan menganalisis data yang diperoleh dari sensor IoT. Dengan kemampuan machine learning dan analisis data yang canggih, AI dapat mengenali pola-pola tertentu yang berkaitan dengan kesehatan, keselamatan, dan produktivitas kerja. Misalnya, sistem AI dapat mengidentifikasi tanda-tanda kelelahan pekerja berdasarkan perubahan pola gerakan, detak jantung, atau tingkat konsentrasi. Setelah mendeteksi kondisi tersebut, sistem dapat memberikan rekomendasi seperti istirahat sejenak, pengurangan beban kerja, atau perubahan jadwal kerja untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan penurunan performa.

Integrasi AI dan IoT juga mendukung konsep ergonomi prediktif (predictive ergonomics). Dalam pendekatan ini, sistem tidak hanya mengidentifikasi masalah yang sedang terjadi, tetapi juga mampu memprediksi potensi risiko di masa depan berdasarkan analisis data historis. Sebagai contoh, AI dapat memprediksi kemungkinan terjadinya cedera akibat gerakan berulang pada pekerja tertentu berdasarkan pola aktivitas harian yang direkam oleh sensor. Dengan informasi tersebut, perusahaan dapat mengambil tindakan pencegahan sebelum cedera benar-benar terjadi.

Di sektor manufaktur, integrasi ergonomi dengan AI dan IoT banyak diterapkan pada sistem produksi cerdas (smart manufacturing). Sensor yang terpasang pada mesin dan stasiun kerja dapat memantau interaksi antara manusia dan mesin secara real-time. Data tersebut digunakan untuk mengoptimalkan tata letak kerja, mengurangi gerakan yang tidak diperlukan, serta menyesuaikan kecepatan produksi dengan

kemampuan operator. Selain itu, robot kolaboratif atau cobot yang dilengkapi AI dapat bekerja berdampingan dengan manusia dan mengambil alih tugas-tugas yang berat, berbahaya, atau repetitif sehingga risiko cedera dapat diminimalkan.

Dalam lingkungan perkantoran dan kerja digital, AI dan IoT juga memberikan manfaat yang signifikan. Sistem kerja pintar dapat memantau pola penggunaan komputer, waktu duduk, aktivitas mengetik, serta kondisi lingkungan kerja. Apabila pekerja duduk terlalu lama atau menunjukkan tanda-tanda kelelahan, sistem dapat memberikan pengingat untuk melakukan peregangan, berjalan sejenak, atau beristirahat. Selain itu, sensor lingkungan dapat secara otomatis menyesuaikan pencahayaan, suhu ruangan, dan kualitas udara agar tetap berada pada kondisi yang optimal untuk mendukung kenyamanan dan produktivitas kerja.

Perkembangan teknologi AI juga memungkinkan terciptanya sistem antarmuka yang lebih adaptif terhadap kebutuhan pengguna. Sistem dapat mempelajari kebiasaan dan preferensi pekerja sehingga mampu menyesuaikan tampilan informasi, tingkat kompleksitas tugas, maupun cara penyajian data sesuai dengan karakteristik individu. Pendekatan ini dikenal sebagai human-centered AI, yaitu pengembangan teknologi yang berfokus pada kebutuhan, kemampuan, dan kesejahteraan manusia sebagai pengguna utama sistem.

Meskipun menawarkan berbagai manfaat, integrasi ergonomi dengan AI dan IoT juga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satunya adalah isu privasi dan keamanan data. Pengumpulan data secara terus-menerus melalui sensor dapat menimbulkan kekhawatiran terkait kerahasiaan informasi pribadi pekerja. Oleh karena itu, organisasi harus memastikan bahwa data yang dikumpulkan digunakan secara etis, transparan, dan sesuai dengan regulasi perlindungan data yang berlaku. Selain itu, penerapan teknologi ini memerlukan investasi yang cukup besar dalam infrastruktur, perangkat keras, perangkat lunak, serta pelatihan sumber daya manusia.

Tantangan lainnya adalah memastikan bahwa teknologi tidak menggantikan peran manusia secara berlebihan. Ergonomi modern menekankan bahwa teknologi harus berfungsi sebagai alat pendukung

yang meningkatkan kemampuan manusia, bukan sebagai pengganti yang menghilangkan aspek kemanusiaan dalam pekerjaan. Oleh karena itu, desain sistem AI dan IoT harus tetap mempertimbangkan faktor sosial, psikologis, dan budaya organisasi agar implementasinya dapat diterima dan memberikan manfaat yang optimal.

Secara keseluruhan, integrasi ergonomi dengan AI dan IoT merupakan langkah penting dalam mewujudkan lingkungan kerja cerdas di era Industri 4.0 dan Society 5.0. Kombinasi antara kemampuan pemantauan real-time dari IoT dan kemampuan analisis cerdas dari AI memungkinkan organisasi untuk menciptakan sistem kerja yang lebih aman, sehat, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan manusia. Dengan pendekatan yang tepat, teknologi dapat menjadi sarana untuk meningkatkan kesejahteraan pekerja sekaligus mendukung produktivitas dan keberlanjutan organisasi di masa depan.

E. Smart Workplace dan Industry 4.0

Revolusi Industri 4.0 telah membawa perubahan besar dalam cara organisasi mengelola proses bisnis, sistem produksi, dan sumber daya manusia. Perkembangan teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Big Data Analytics, Cloud Computing, Cyber-Physical Systems (CPS), dan robotika telah mendorong lahirnya konsep **Smart Workplace** atau tempat kerja cerdas.

Smart Workplace merupakan lingkungan kerja yang memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, keselamatan, kenyamanan, dan produktivitas pekerja. Dalam konsep ini, manusia tetap menjadi pusat sistem kerja, sementara teknologi berperan sebagai alat pendukung yang membantu pekerja menjalankan tugas secara lebih efektif.

Bagi disiplin ergonomi, Smart Workplace menjadi salah satu bentuk implementasi ergonomi modern yang mengintegrasikan manusia, teknologi, dan lingkungan kerja dalam suatu sistem yang adaptif dan berbasis data.

Konsep Industry 4.0

Industry 4.0 atau Revolusi Industri Keempat merupakan fase perkembangan industri yang ditandai dengan integrasi teknologi digital ke dalam proses produksi dan operasional organisasi.

Perjalanan revolusi industri dapat dijelaskan sebagai berikut:

Revolusi Industri	Karakteristik Utama
Industri 1.0	Mekanisasi menggunakan tenaga uap
Industri 2.0	Produksi massal berbasis listrik
Industri 3.0	Otomasi menggunakan komputer dan elektronik
Industri 4.0	Integrasi sistem fisik dan digital secara cerdas

Industry 4.0 memungkinkan mesin, sistem, manusia, dan data terhubung dalam satu ekosistem yang mampu berkomunikasi serta mengambil keputusan secara otomatis.

Smart Workplace adalah lingkungan kerja yang memanfaatkan teknologi digital, sistem otomatisasi, dan analisis data untuk menciptakan tempat kerja yang lebih efisien, nyaman, aman, dan produktif. Karakteristik utama Smart Workplace meliputi:

- Konektivitas tinggi.
- Pemanfaatan data secara real-time.
- Otomatisasi proses kerja.
- Fleksibilitas ruang kerja.
- Integrasi manusia dan teknologi.
- Pengambilan keputusan berbasis data.

Smart Workplace tidak hanya diterapkan pada sektor manufaktur, tetapi juga pada perkantoran, layanan kesehatan, pendidikan, logistik, dan berbagai sektor lainnya.

Pilar Teknologi Industry 4.0 dalam Smart Workplace

Implementasi Smart Workplace didukung oleh berbagai teknologi utama Industry 4.0.

a. Internet of Things (IoT)

IoT memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung melalui jaringan internet. Contoh penerapan:

- Sensor suhu ruangan.

- Sensor pencahayaan.
- Smart desk.
- Smart building.

b. Artificial Intelligence (AI)

AI digunakan untuk:

- Analisis data.
- Prediksi perilaku sistem.
- Pengambilan keputusan otomatis.
- Personalisasi lingkungan kerja.

c. Big Data Analytics

Big Data memungkinkan organisasi mengolah data dalam jumlah besar untuk memperoleh informasi yang bermanfaat.

Manfaatnya:

- Evaluasi produktivitas.
- Analisis risiko kerja.
- Optimasi penggunaan sumber daya.

d. Cloud Computing

Cloud Computing memungkinkan penyimpanan dan pengolahan data secara terpusat sehingga dapat diakses dari berbagai lokasi.

e. Cyber-Physical Systems (CPS)

CPS menghubungkan sistem fisik dengan sistem digital sehingga memungkinkan pengendalian dan pemantauan secara otomatis.

Hubungan Smart Workplace dengan Ergonomi

Smart Workplace dan ergonomi memiliki tujuan yang sama, yaitu menciptakan sistem kerja yang efektif dan berpusat pada manusia. Integrasi keduanya menghasilkan manfaat sebagai berikut:

a. Meningkatkan Kenyamanan Kerja

Lingkungan kerja dapat menyesuaikan kebutuhan individu secara otomatis.

Contohnya:

- Tinggi meja yang dapat diatur otomatis.
- Pencahayaan adaptif.
- Pengaturan suhu personal.

b. Mengurangi Risiko Cedera

Sensor dan AI dapat mendeteksi postur kerja yang tidak ergonomis dan memberikan peringatan secara langsung.

c. Mengoptimalkan Produktivitas

Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk mengidentifikasi hambatan kerja dan meningkatkan efisiensi proses.

d. Mendukung Kesehatan Pekerja

Sistem dapat memantau aktivitas fisik dan memberikan rekomendasi untuk menjaga kesehatan pekerja.

Lingkungan kerja cerdas (*Smart Workplace*) yang mendukung prinsip ergonomi memiliki sejumlah karakteristik utama yang dirancang untuk meningkatkan kenyamanan, kesehatan, keselamatan, dan produktivitas pekerja. Salah satu karakteristik terpenting adalah **adaptive workspace**, yaitu kemampuan ruang kerja untuk menyesuaikan diri dengan kebutuhan dan karakteristik individu pengguna. Dalam konsep ini, berbagai fasilitas kerja dapat beradaptasi secara otomatis terhadap kondisi pekerja. Contohnya adalah penggunaan kursi ergonomis otomatis yang dapat menyesuaikan posisi duduk sesuai postur tubuh pengguna, *smart desk* yang memungkinkan pengaturan ketinggian meja secara fleksibel untuk mendukung posisi duduk maupun berdiri, serta sistem pencahayaan personal yang dapat disesuaikan berdasarkan preferensi dan kebutuhan visual masing-masing pekerja. Dengan adanya ruang kerja yang adaptif, tingkat kenyamanan dan efisiensi kerja dapat meningkat secara signifikan.

Karakteristik berikutnya adalah **connected environment**, yaitu lingkungan kerja yang seluruh perangkat dan sistemnya saling terhubung melalui jaringan komunikasi digital. Integrasi ini memungkinkan pertukaran data secara real-time antara perangkat, sensor, dan sistem

pengelolaan kerja sehingga mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, Smart Workplace juga menerapkan prinsip **human-centered design**, yaitu pendekatan desain yang berfokus pada kebutuhan, kemampuan, keterbatasan, dan kenyamanan manusia sebagai pengguna utama teknologi. Dalam pendekatan ini, teknologi dirancang untuk mendukung manusia, bukan sebaliknya.

Karakteristik lain yang tidak kalah penting adalah **real-time monitoring**, yaitu kemampuan sistem untuk memantau kondisi pekerja dan lingkungan kerja secara berkelanjutan. Berbagai sensor dapat digunakan untuk mengukur suhu ruangan, kualitas udara, tingkat kebisingan, pencahayaan, hingga kondisi fisik pekerja. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk memastikan lingkungan kerja tetap berada pada kondisi yang optimal. Selain itu, Smart Workplace modern juga memiliki **predictive capability**, yaitu kemampuan sistem untuk memprediksi potensi risiko sebelum masalah benar-benar terjadi. Dengan memanfaatkan teknologi Artificial Intelligence (AI) dan analisis data, sistem dapat mendeteksi pola yang mengindikasikan kelelahan pekerja, risiko cedera, maupun gangguan operasional sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan lebih awal.

Smart Workplace di Lingkungan Perkantoran

Konsep **Smart Office** merupakan implementasi Smart Workplace yang diterapkan pada lingkungan perkantoran modern. Smart Office memanfaatkan teknologi digital, sensor pintar, dan sistem otomatisasi untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih nyaman, efisien, dan produktif. Dalam konsep ini, berbagai fasilitas kantor dirancang agar mampu beradaptasi dengan kebutuhan pengguna serta mendukung aktivitas kerja secara optimal.

Salah satu fitur utama Smart Office adalah **smart lighting**, yaitu sistem pencahayaan pintar yang mampu menyesuaikan intensitas cahaya berdasarkan aktivitas pengguna, kondisi lingkungan, dan jumlah cahaya alami yang tersedia. Sistem ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan visual pekerja, tetapi juga membantu menghemat konsumsi energi. Selain itu, terdapat **smart climate control**, yaitu sistem pengaturan iklim

ruangan yang secara otomatis mengendalikan suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara agar tetap berada pada tingkat yang nyaman bagi pengguna.

Fasilitas lainnya adalah **smart meeting room**, yaitu ruang rapat yang terintegrasi dengan kalender digital, sistem reservasi otomatis, dan perangkat konferensi video. Integrasi ini memungkinkan pengelolaan jadwal rapat menjadi lebih efisien dan mendukung kolaborasi jarak jauh secara efektif. Untuk meningkatkan keamanan dan kemudahan akses, Smart Office juga menerapkan **smart access control** yang memanfaatkan teknologi RFID, pengenalan wajah (*face recognition*), serta akses melalui perangkat mobile. Sistem ini memungkinkan pengelolaan akses yang lebih aman, cepat, dan praktis dibandingkan metode konvensional.

Smart Workplace di Industri Manufaktur

Pada sektor manufaktur, konsep Smart Workplace diwujudkan melalui integrasi antara manusia, mesin, dan teknologi digital dalam proses produksi. Tujuan utama penerapannya adalah meningkatkan produktivitas, efisiensi operasional, kualitas produk, serta keselamatan kerja. Salah satu bentuk implementasi yang paling dikenal adalah **Smart Factory**, yaitu pabrik cerdas yang mampu beroperasi secara otomatis dan saling terhubung melalui jaringan digital. Dalam Smart Factory, berbagai mesin produksi terhubung ke sistem jaringan sehingga mampu melakukan pemantauan real-time, bertukar data secara otomatis, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Perkembangan teknologi robotika juga melahirkan penggunaan **Collaborative Robots (Cobots)** yang dirancang untuk bekerja bersama manusia secara aman dalam satu lingkungan kerja. Berbeda dengan robot industri konvensional yang bekerja secara terpisah, cobots dapat membantu pekerja melakukan tugas-tugas yang berat, berulang, atau berisiko tinggi. Kehadiran cobots mampu mengurangi beban fisik pekerja, menurunkan risiko cedera kerja, serta meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil produksi.

Selain itu, Smart Workplace di industri manufaktur juga menerapkan konsep **smart maintenance**, yaitu penggunaan sensor dan

AI untuk memantau kondisi mesin secara terus-menerus dan memprediksi potensi kerusakan sebelum terjadi kegagalan operasional. Pendekatan ini membantu mengurangi waktu henti produksi (*downtime*) dan biaya perawatan. Seluruh informasi produksi, kondisi mesin, serta indikator kinerja lainnya kemudian ditampilkan melalui **digital dashboard** yang dapat diakses secara real-time oleh operator maupun manajemen. Dashboard ini mempermudah proses pengawasan, analisis kinerja, dan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat.

Peran Ergonomi dalam Smart Workplace

Meskipun teknologi menjadi komponen utama dalam Smart Workplace, manusia tetap merupakan elemen terpenting dalam sistem kerja. Oleh karena itu, ergonomi memiliki peran yang sangat strategis dalam memastikan bahwa teknologi yang digunakan mampu mendukung kebutuhan dan kesejahteraan pekerja. Salah satu peran utama ergonomi adalah menyesuaikan teknologi dengan kemampuan manusia. Sistem, perangkat, maupun aplikasi digital harus dirancang agar mudah dipahami, dioperasikan, dan tidak menimbulkan kesulitan bagi pengguna.

Ergonomi juga berperan dalam mengurangi beban fisik pekerja melalui pemanfaatan sistem otomatisasi, robot kolaboratif, dan alat bantu kerja yang dirancang sesuai dengan prinsip ergonomi. Dengan berkurangnya aktivitas yang berisiko tinggi atau memerlukan tenaga berlebihan, kemungkinan terjadinya cedera kerja dapat diminimalkan. Selain itu, ergonomi berkontribusi dalam mengurangi beban mental melalui desain antarmuka yang sederhana, penyajian informasi yang jelas, dan pengaturan alur kerja yang efektif. Upaya tersebut membantu pekerja dalam memproses informasi secara lebih mudah sehingga risiko kesalahan kerja dapat dikurangi.

Lingkungan kerja yang nyaman, aman, dan mendukung kebutuhan pekerja juga berpengaruh terhadap tingkat kepuasan kerja. Penerapan ergonomi yang baik dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, serta kesejahteraan pekerja sehingga berdampak positif terhadap produktivitas organisasi secara keseluruhan.

Tren Masa Depan Smart Workplace

Perkembangan teknologi akan terus mendorong evolusi **Smart Workplace** menuju lingkungan kerja yang lebih cerdas, adaptif, dan berpusat pada manusia. Berbagai inovasi teknologi diperkirakan akan menjadi pilar utama dalam mendukung produktivitas, keselamatan, dan kenyamanan kerja di masa depan.

Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah **Artificial Intelligence (AI) Generatif**. Teknologi ini dapat membantu pekerja dalam menyusun dokumen, menganalisis data, menghasilkan ide, serta mendukung pengambilan keputusan secara lebih cepat dan akurat. Dengan demikian, pekerja dapat lebih fokus pada tugas yang memerlukan kreativitas dan pemikiran strategis.

Inovasi lainnya adalah **Digital Twin**, yaitu representasi virtual dari lingkungan atau sistem kerja yang memungkinkan organisasi melakukan simulasi dan evaluasi sebelum perubahan diterapkan pada kondisi nyata. Teknologi ini membantu meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan kualitas perancangan sistem kerja.

Penggunaan **Extended Reality (XR)** yang mencakup Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), dan Mixed Reality (MR) juga semakin meningkat. Teknologi ini dimanfaatkan untuk pelatihan pekerja, simulasi keselamatan, serta evaluasi ergonomi secara lebih efektif dan interaktif.

Selain itu, **Autonomous Systems** atau sistem otonom akan semakin banyak digunakan untuk menangani pekerjaan yang berbahaya, berulang, atau berisiko tinggi. Penerapan sistem ini dapat meningkatkan keselamatan kerja sekaligus efisiensi operasional.

Perkembangan selanjutnya mengarah pada konsep **Human-Centric Industry 5.0**, yaitu pendekatan yang menempatkan manusia sebagai pusat kolaborasi dengan teknologi cerdas. Dalam konsep ini, AI, robotika, dan sistem digital berfungsi sebagai mitra yang mendukung kreativitas, kesejahteraan, dan produktivitas manusia.

Secara keseluruhan, masa depan Smart Workplace ditandai oleh integrasi teknologi cerdas yang tidak hanya meningkatkan efisiensi dan produktivitas, tetapi juga menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, nyaman, berkelanjutan, dan berorientasi pada kesejahteraan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelfattah, D., Abdelwahab, S., Eldars, M. Z., & Mayhoub, M. S. (2025). Evaluating the impact of lighting conditions on workers' safety and health in industrial settings. *Journal of Daylighting*, 12(2), 420–440. <https://doi.org/10.15627/jd.2025.26>
- Adiputra, I. N., Muliarta, I. M., & Pangkahila, J. A. (2021). *Ergonomi terapan: Dasar-dasar ergonomi dan penerapannya di tempat kerja* (edisi ke-2). Udayana University Press.
- Agrawal, P., Tan, C., & Rathore, H. (2023). Advancing Perception in Artificial Intelligence through Principles of Cognitive Science. *arXiv:2310.08803*.
- Allred, A. R., Richardson, E. E., Bostrom, S. R., et al. (2025). Decision-Making Amid Information-Based Threats in Sociotechnical Systems: A Review.
- Aryani, S. M., Kusumawanto, A., & Suryabrata, J. A. (2020). Lighting in the workplace as the visual environment that affect the occupant's mood: A literature review. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 475, 10–18. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.201009.002>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 7062:2019: Pengukuran intensitas pencahayaan di tempat kerja. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 9011:2021 Pengukuran dan evaluasi potensi bahaya ergonomi di tempat kerja. Referensi ringkas tersedia melalui penjelasan standar evaluasi potensi bahaya ergonomi di tempat kerja
- Bagshaw, K. B. (2021). PERT and CPM in project management with practical examples. <https://doi.org/10.4236/ajor.2021.114013>
- Bergman, M. W., Johansson, P. E. C., Lundh, M., & Falk, A. C. (2021). Cognitive Ergonomics of Assembly Work from a Job Demands-Resources Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13274. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413274>

- Bergman, M. W., Johansson, P. E. C., Lundh, M., & Falk, A. C. (2021). Cognitive Ergonomics of Assembly Work from a Job Demands–Resources Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13274.
- Boubekri, M., Lee, J., MacNaughton, P., Woo, M., Schuyler, L., Tinianov, B., & Satish, U. (2020). The impact of optimized daylight and views on the sleep duration and cognitive performance of office workers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3219. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093219>
- Bridgeir RS. Introduction To Human Factors and Eirgonomics. Vol. 2. 2018. 306–312 p.
- Brown, T. M., Brainard, G. C., Cajochen, C., Czeisler, C. A., Hanifin, J. P., Lockley, S. W., Lucas, R. J., Münch, M., O'Hagan, J. B., Peirson, S. N., Price, L. L. A., Roenneberg, T., Schlangen, L. J. M., Skene, D. J., Spitschan, M., Vetter, C., Zee, P. C., & Wright, K. P. (2022). Recommendations for healthy daytime, evening, and night-time indoor light exposure. *PLOS Biology*, 20(3), e3001571. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>
- Brunner, S., Kühnel, K., & Bengler, K. (2023). Lean ergonomics—An empirical combination of management science and ergonomics. <https://doi.org/10.1007/s41449-023-00394-2>
- Carayon, P., Wooldridge, A., Hoonakker, P., Hundt, A. S., & Kelly, M. M. (2020). SEIPS 3.0: Human-centered design of the patient journey for patient safety. *Applied Ergonomics*, 84, 103033. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103033>
- Chen, J., & Barnes, M. (2014). Human–Agent Teaming for Multirobot Control: A Review of Human Factors Issues. *Human-Machine Systems, IEEE Transactions On*, 44, 13–29. <https://doi.org/10.1109/THMS.2013.2293535>
- Cheyette, S. J., & Piantadosi, S. T. (2024). Limited Information Processing Capacity in Visual Memory and Perception. *Psychological Review*.
- Ciria, A., Schillaci, G., Pezzulo, G., Hafner, V. V., & Lara, B. (2021). Predictive Processing in Cognitive Robotics: A Review. *Autonomous Robots*.

- Darejeh, A., Marcusa, N., Mohammadi, G., & Sweller, J. (2024). A Critical Analysis of Cognitive Load Measurement Methods for Evaluating the Usability of Different Types of Interfaces.
- Davis, M. C., et al. (2025). Leveraging Sociotechnical Systems to Tackle Grand Challenges. *Ergonomics*, 68(4), 523–540.
- de Mattos, L. A., et al. (2024). Human error and violation of rules in industrial safety. *Work*.
- Dewi, S. K., Suryoputro, M. R., & Azmi, N. (2022). Analisis kelelahan kerja dan produktivitas pekerja pada industri manufaktur: Pendekatan fisiologi dan psikomotor. *Jurnal Ergonomi Indonesia*, 8(1), 45–56. <https://doi.org/10.23887/jei.v8i1.48321>
- Eilbeirt KEiK, Kroeimeir HB, Hoffman ADK. How To Deisign For Eiasei and Eifficieincy 3rd Eidition [Inteirneit]. *Eirgonomics*. 2018. 737 p. Availablei from: <https://www.inteiraction-deisign.org/liteiraturei/articlei/how-to-deisign-for-eiasei-of-usei%0>
- Enahoro, M. O., & Ojika, H. O. (2025). Human-Machine Interfaces in Automotive Ergonomic Manufacturing: A Review.
- European Committee for Standardization. (2021). EN 12464-1:2021: Light and lighting—Lighting of work places—Part 1: Indoor work places. European Committee for Standardization.
- Fadhilah, A. N., Kurniawan, B., & Wahyuni, I. (2023). Pengaruh paparan panas terhadap beban kardiovaskular pekerja bagian produksi di industri keramik. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2), 189–198. <https://doi.org/10.14710/jkm.v11i2.35621>
- Felgueiras, F., Mourão, Z., Moreira, A., & Gabriel, M. F. (2023). Indoor environmental quality in offices and risk of health and productivity complaints at work: A literature review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10, 100314. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100314>
- Felgueiras, F., Mourão, Z., Moreira, A., & Gabriel, M. F. (2025). Multi-domain indoor environmental quality and worker health, well-being, and productivity: Objective and subjective assessments in modern office buildings. *Building and Environment*, 282, 113320. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113320>

- Fissore, V. I., Fasano, S., Puglisi, G. E., Shtrepi, L., & Astolfi, A. (2023). Indoor environmental quality and comfort in offices: A review. *Buildings*, 13(10), 2490. <https://doi.org/10.3390/buildings13102490>
- Fogelberg, E., Cao, H., & Thorvald, P. (2025). Cognitive Ergonomics: Triangulation of Physiological, Subjective, and Performance-Based Mental Workload Assessments. *Frontiers in Industrial Engineering*, 3, 1605975. <https://doi.org/10.3389/fieng.2025.1605975>
- Fogelberg, E., Cao, H., & Thorvald, P. (2025). Cognitive Ergonomics: Triangulation of Physiological, Subjective, and Performance-Based Mental Workload Assessments. *Frontiers in Industrial Engineering*. DOI: 10.3389/fieng.2025.1605975.
- Fogelberg, E., Cao, H., & Thorvald, P. (2025). Cognitive Ergonomics: Triangulation of Physiological, Subjective, and Performance-Based Mental Workload Assessments. *Frontiers in Industrial Engineering*, 3, 1605975.
- Gerger, H., Søgaaard, K., Macri, E. M., Jackson, J. A., Elbers, R. G., van Rijn, R. M., Koes, B., Chiarotto, A., & Burdorf, A. (2023). Exposure to hand-arm vibrations in the workplace and the occurrence of hand-arm vibration syndrome, Dupuytren's contracture, and hypothenar hammer syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 20(7), 257–267. <https://doi.org/10.1080/15459624.2023.2197634>
- Goodrich, M., & Schultz, A. (2020). Human-Robot Interaction: A Survey. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 1, 203–275. <https://doi.org/10.1561/11000000005>
- Han, S., Dong, L., Weng, Y., & Xiang, J. (2024). Heat exposure and productivity loss among construction workers: A meta-analysis. *BMC Public Health*, 24, 3252. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20744-x>
- Handayani, D., & Suhardi, B. (2020). Evaluasi beban kerja fisiologis dan keluhan muskuloskeletal pada pekerja bagian produksi: Studi kasus industri tekstil. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 15(2), 87–96. <https://doi.org/10.14710/jati.15.2.87-96>

- Hendrick, H. W., & Kleiner, B. M. (2002). Macroergonomics: Theory, methods, and applications. In *Macroergonomics: Theory, Methods, and Applications*.
- Hollnagel, E. (2022). Cognitive reliability and error analysis method : CREAM. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:60258052>
- Huang, C. Y., Wang, J. D., & Chen, C. J. (2024). Effect of occupational noise on employee health. *Journal of Occupational Health*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11813250/>
- Improhealth. (t.t.). Program Evaluation and Review Technique (PERT). Diambil https://www.improhealth.org/fileadmin/Documents/Improvement_Tools/PERT.pdf
- International Ergonomics Association (IEA). (2023). Definition and domains of ergonomics. <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- International Labour Organization. (2019). Working on a warmer planet: The effect of heat stress on productivity and decent work. International Labour Office.
- International Labour Organization. (2021). Principles and guidelines for human factors/ergonomics design and management of work systems. ILO.
- International Organization for Standardization. (2016). ISO 6385:2016 Ergonomics principles in the design of work systems. ISO.
- Ioniță, A. R., et al. (2025). Mind, Machine, and Meaning: Cognitive Ergonomics and Adaptive Interfaces in the Age of Industry 5.0. *Applied Sciences*, 15(14), 7703.
- Iridiastadi, H., & Yassierli. (2017). *Ergonomi: Suatu pengantar*. PT Remaja Rosdakarya.
- Kanu, L. K., Lwara, S. M. K., & Meng, X. (2025). Impacts of workplace noise exposure and mitigation strategies: A scoping review. *Discover Public Health*, 22, 214. <https://doi.org/10.1186/s12982-025-00611-9>
- Karwowski, W. (2025). Grand challenges for human factors and ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*.

- Kemenaker RI. (2022). Profil keselamatan dan kesehatan kerja nasional Indonesia 2022. Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia.
- Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2018). Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja.
- Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia. (2024). Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 318 Tahun 2024 tentang Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Bidang Ergonomi.
- Kramer, S. W., & Jenkins, J. L. (2005). Understanding the basics of CPM calculations: What is scheduling software really telling you? <https://www.pmi.org/learning/library/critical-path-method-calculations-scheduling-8040>
- Krishnan, S., Kumar, R., & Sharma, P. (2026). Noise matters: Assessing non-auditory health impacts of occupational noise exposure among factory workers. *Frontiers in Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1753715>
- Kuswana, W. S. (2020). Ergonomi dan K3: Kesehatan, keselamatan kerja (edisi revisi). PT Remaja Rosdakarya.
- Lawi, A., Bora, A. M., Arifin, R., Andriani, M., Jumeni, D., Herman, Rasyid, A., Purbawati, Dewadi, M. F., Didin, S. F., Oktavera, R., Santoso, H., & Kusmindari, D. C. (2023). Ergonomi Industri. In Researchgate.Net (Vol. 1, Number May). https://www.researchgate.net/profile/Fathan-Dewadi/publication/371170470_ERGONOMI_INDUSTRI_ERGONOMI_INDUSTRI/links/64777a292cad460a1be6dbbf/ERGONOMI-INDUSTRI-ERGONOMI-INDUSTRI.pdf
- Leso, V., Fontana, L., & Iavicoli, I. (2018). The occupational health and safety dimension of Industry 4.0. *La Medicina Del Lavoro*, 109, 327–338. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53107238>
- Liu, F., Chang-Richards, A., Wang, K. I.-K., & Dirks, K. N. (2023). Critical indoor environmental factors affecting productivity: Perspectives from university staff and postgraduate students. *Building*

- Research & Information, 51(6), 730–745.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2204413>
- Liu, Y. C., Figalova, N., Pichen, J., Hock, P., Baumann, M., & Bengler, K. (2024). Workload Assessment of Human-Machine Interface: A Simulator Study with Psychophysiological Measures.
- Lowden, A., & Kecklund, G. (2021). Considerations on how to light the night-shift. *Lighting Research & Technology*, 53(5), 437–452.
<https://doi.org/10.1177/14771535211012251>
- Manuaba, A. (2016). *Ergonomi, kesehatan, dan keselamatan kerja (cetakan ke-4)*. PT Gunung Agung.
- Miraz, M. H., Hasan, M. T., Sumi, F. R., Sarkar, S., & Hossain, M. A. (2022). Industry 5.0. In *Machine Vision for Industry 4.0*.
<https://doi.org/10.1201/9781003122401-14>
- Muttaqin, I. (2025). Human-Centered Ergonomic Design in Industry 5.0: Enhancing Productivity and Worker Wellbeing.
- Nassiri, P., Monazzam, M., Farhang Dehghan, S., Teimori-Boghsani, G., Zakerian, S., Kamal, A., & Asghari, M. (2021). The combined effect of industrial noise type, level and frequency characteristics on hand motor skills: A lab trial study. *Work*, 68, 1–9.
<https://doi.org/10.3233/WOR-203405>
- Nath, A., Sahu, S., & Lee, J. K. W. (2026). An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses on occupational heat exposure, health risks, and productivity losses globally. *Current Environmental Health Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40572-025-00520-8>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2024). Elements of ergonomics programs. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/ergonomics/ergo-programs/index.html>.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2024). Understanding noise exposure limits: Occupational noise and hearing loss prevention. Centers for Disease Control and Prevention.
- Niwanputri, G., Toms, E., & Simpson, A. (2024). Untangling Cognitive Processes Underlying Knowledge Work.

- Nugroho, S. A., Pratiwi, A., & Santoso, D. B. (2022). Pengaruh micro-break terhadap tingkat kelelahan otot dan produktivitas pekerja repetitif: Analisis EMG dan grip strength. *Jurnal Teknik Industri*, 23(1), 55–66. <https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol23.No1.55-66>
- Nurmianto, E. (2018). *Ergonomi: Konsep dasar dan aplikasinya* (edisi ke-3). Guna Widya.
- Occupational Safety and Health Administration. (2024). Occupational noise exposure. United States Department of Labor.
- Occupational Safety and Health Administration. (t.t.). *Ergonomics: Solutions to control hazards*. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/ergonomics/control-hazards>.
- Office, I. L. (1992). *Introduction to work study* (4th revised ed.). <https://www.ilo.org/media/310396/download>
- Oliveira, B., Alves, A. C., Carneiro, P., & Ferreira, A. C. (2018). Lean production and ergonomics: A synergy to improve productivity and working conditions. <https://pdfs.semanticscholar.org/c3be/d449391b372a2c2b64b59a5ab408f1dc5674.pdf>
- Otto, A., & Battaia, O. (2017). Reducing physical ergonomic risks at assembly lines by line balancing and job rotation: A survey. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.011>
- Pandiangan, P., Saragih, R., Zebua, O., Tampubolon, J., Silalahi, R. L. R., & Sembiring, A. C. (2022). *Ergonomi teknik industri*. Yayasan Kita Menulis.
- Parsons, K. (2014). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*, Third Edition. In *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*, Third Edition. <https://doi.org/10.1201/b16750>
- Pheiasant S. Bodyspacei: Anthropolometry, Ergonomics And Thei Deisign Of Work. *Bodyspacei: Anthropolometry, Eirgonomics And Thei Deisign Of Work*. 2002.
- Porras-Salazar, J. A., Schiavon, S., Wargocki, P., Cheung, T., & Tham, K. W. (2021). Meta-analysis of 35 studies examining the effect of indoor

- temperature on office work performance. *Building and Environment*, 203, 108037. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108037>
- Prasetyo, Y. T., & Halim, L. (2020). Studi kelelahan kerja fisik dan mental serta pengaruhnya terhadap tingkat kecelakaan pada operator mesin CNC. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(1), 41–52. <https://doi.org/10.33536/jiem.v5i1.512>
- Purnama, D. H., Kurniati, N., & Wibisono, M. Y. (2023). Cost-benefit analysis of ergonomic intervention programs in Indonesian automotive manufacturing: A longitudinal study. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.02.008>
- Rahmawati, N., & Pratiwi, I. (2021). Analisis beban kerja fisik dan mental pekerja bagian produksi dengan metode NASA-TLX dan CVL. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 16(1), 33–42. <https://doi.org/10.14710/jati.16.1.33-42>
- Read, G. J. M., Shorrock, S., Walker, G. H., & Salmon, P. M. (2021). State of science: evolving perspectives on human error. *Ergonomics*.
- Reialyvásquez-Vargas A, Karina Ceicilia Arreidondo-Soto, Blanco-Feirnandez J, Sandoval-Quintanilla, Joanna Deinissei Jiménez-Macías Ei, García-Alcaraz JL. Work standardization and anthropometric workstation design as an integrated approach to sustainable workplaces in the manufacturing industry. *Sustain*. 2020;12(9):1–22.
- Rinawati, S., & Romadlon, D. S. (2020). Pengukuran beban kerja dengan metode cardiovascular load (CVL) dan SWAT pada pekerja industri tahu. *Jurnal Teknik Industri*, 21(2), 111–120. <https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol21.No2.111-120>
- Saha AK, Jahin MA, Rafiquzzaman M, Mridha MF. Ergonomic design of computer laboratory furniture: Mismatch analysis utilizing anthropometric data of university students. *Heilijon*. 2024;10(14).
- Salvendy, G., & Karwowski, W. (2021). Handbook of human factors and ergonomics. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 1–1600. <https://doi.org/10.1002/9781119636113>

- Salwei, M. E., & Carayon, P. (2022). A Sociotechnical Systems Framework for the Application of Artificial Intelligence in Health Care Delivery. *Human Factors*, 66(3), 607–622.
- Savković, M., et al. (2026). Ergonomic Optimization of Assembly Workstations: Effects on Mental Workload and Performance. *Ergonomics International Journal*.
- Schlangen, L. J. M., & Price, L. L. A. (2021). The lighting environment, its metrology, and non-visual responses. *Frontiers in Neurology*, 12, 624861. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.624861>
- Seingupta AK, Das B. Maximum reach envelope for the seated and standing male and female for industrial workstation design. *Ergonomics*. 2000;43(9):1390–404.
- Setiawan, A. R., & Izzah, N. (2021). Desain sistem rotasi shift kerja berbasis ritme sirkadian pada industri manufaktur 24 jam: Tinjauan ergonomi dan fisiologi. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 20(2), 147–158. <https://doi.org/10.23917/jiti.v20i2.14321>
- Shi, J., Yusoff, I. S. M., & Yahaya, M. F. (2024). Examining the Relationship Between Innovative Product Design, Cognitive Ergonomics, and the Effectiveness of Entity-Based Design Systems. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 9(3), 29049.
- Sinaga HH, Siboro BAH, Marbun C. Desain Meja dan Kursi Tutorial Laboratorium Desain. *MeiGunakan, Inov Prinsip, Metode Antropometri, Peindekatan Sinaga, [Internit]*. 2021;23(1):34–45. Available from: <https://ejournal.usu.ac.id/jsti/article/view/4880>
- Singh, K. J., Palei, S. K., & Karmakar, N. C. (2024). Role of contributing factors on health risks of whole-body vibration exposure of heavy equipment and vehicle operators: A critical review. *Journal of Vibration and Control*, 30(11–12). <https://doi.org/10.1177/10775463231185627>
- Spina C. The Principles of Universal Design. *Creiat Incl Libr by Appl Univeirs Deis*. 2025;23–44.
- Sritomo Wignjosoeibroto. *Ergonomi, Studi Geirak dan Waktu : Teknik Analisis Untuk Peningkatan Produktifitas Kerja*. 2000;[620.82 SRI ei (1), 620.82 SRI ei (2)].

- Standard I, Preiview TS. Iso 9241-5. 1998;1998.
- Standardization, I. O. for. (2002). ISO 14738:2002 Safety of machinery—
Anthropometric requirements for the design of workstations at
machinery.
- Standardization, I. O. for. (2014). ISO/TR 12295:2014 Ergonomics —
Application document for International Standards on manual
handling and evaluation of static working postures.
<https://www.iso.org/standard/51309.html>
- Standardization, I. O. for. (2016). ISO 6385:2016 Ergonomics principles
in the design of work systems.
- Standardization, I. O. for. (2021). ISO 11228-1:2021 Ergonomics—
Manual handling—Part 1: Lifting, lowering and carrying.
- Suarjana IWG, Pomalingo MF, Palilingan RA, Parhusip BR.
PEIRANCANGAN FASILITAS KEiRJA EiRGONOMI
MEiNGGUNAKAN DATA ANTROPOMEiTRI UNTUK
MEiNGURANGI BEiBAN FISIOLOGIS. 2022;10(2):109–17.
- Suma'mur, P. K. (2019). Higiene perusahaan dan kesehatan kerja
(HIPERKES) (edisi ke-3). Sagung Seto.
- Supriyanto, Suprpto. PEiNGEiMBANGAN PRODUK MEiJA LAPTOP LIPAT
DEiNGAN PEiNDEiKATAN EiRGONOMI DAN ANTROPOMEiTRI.
2020;1:26–32.
- Tarwaka. (2021). Ergonomi industri: Dasar-dasar pengetahuan ergonomi
dan aplikasi di tempat kerja (edisi ke-3, revisi). Harapan Press.
- Tierney, M., et al. (2025). A Systematic Literature Review: Cognitive
Workload, Multitasking, Physiological Measures and Bibliometric
Analysis. *Applied Human Factors and Ergonomics International*.
- Tierney, M., et al. (2025). A Systematic Literature Review: Cognitive
Workload, Multitasking, Physiological Measurements and
Bibliometric Analysis. *Applied Human Factors and Ergonomics
International*.
- Trstenjak, M., et al. (2025). Human Factors and Ergonomics in Industry
5.0: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 15(4),
2123.
- Villani V, Sabattini L, Czeirniak JN, Meirteins A, Vogel-Heiuseir B,
Fantuzzi C. Towards modeirn inclusivei factorieis: A

methodology for the development of smart adaptive human-machine interfaces. *IEEE Int Conf Emerg Technol Fact Autom ETFA*. 2017;1–7.

- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2022). Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, 55(2018), 248–266. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>
- Wignjosoebroto, S. (2019). *Ergonomi, studi gerak dan waktu: Teknik analisis untuk peningkatan produktivitas kerja (edisi ke-4)*. Guna Widya.
- Wu, Y., et al. (2024). Correlation Between NASA-TLX and Pupillary Responses. *Applied Sciences*, 14(24), 11975.
- Xiao, X., Zhu, H., Liang, J., Tong, J., & Wang, H. (2025). A Comprehensive Review of Human Error in Risk-Informed Decision Making: Integrating Human Reliability Assessment, Artificial Intelligence, and Human Performance Models.

BIOGRAFI PENULIS



Mufrida Meri Z, ST., M.Kom., IPM.

adalah staf pengajar **Universitas Ekasakti** Padang pada Program S-1 Teknik Industri. Penulis telah menempuh pendidikan S1 Teknik Industri di UPI "YPTK" Padang (2005), dan S-2 Sistem Informasi di Universitas Putra Indonesia "YPTK" Padang (2011). Bidang keilmuan yang diminati adalah Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja, Manajemen Proyek,

Sistem Informasi.

Penulis juga aktif melakukan berbagai penelitian di bidang Ergonomi dan perancangan Sistem Kerja, Sistem Informasi dan beberapa penelitian telah dihasilkan serta berhasil dipublikasikan dalam beberapa jurnal ilmiah baik internasional maupun nasional.



Nia Candrawati, S.MB.,MBA.

merupakan salah satu dosen di Politeknik Meta Industri Cikarang. Ia menyelesaikan pendidikan Magister Business Administration (MBA) di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2017 serta meraih gelar Sarjana Manajemen Bisnis Telekomunikasi dan Informatika dari Institut Manajemen Telkom pada tahun 2012. Saat ini, penulis menjabat sebagai Wakil Direktur Bidang Kerja Sama dan Kemahasiswaan, dan sebelumnya pernah mengemban amanah sebagai Kepala Unit Marketing dan Kerja Sama di Politeknik Meta Industri Cikarang, selain itu pernah mengajar di Universitas Sriwijaya dan Universitas Muhammadiyah Palembang. Bidang keahlian utama penulis meliputi manajemen risiko, manajemen hubungan pelanggan, dan manajemen pemasaran dengan fokus pada penerapan strategi manajerial yang adaptif dan berorientasi pada keberlanjutan organisasi. Melalui karya tulis dan bahan ajar yang disusunnya, penulis berupaya menjembatani teori manajemen dengan praktik institusional dan industri.



Siti Nur Hamidah,

Tempat Tanggal Lahir Majaleingka, 30 Noveimbeir 1997, peikeirjaan seiorang Dosein di salah satu Univeirsitas Swasta di Jakarta peindidikan S1-S2 Teiknik Industri, peinulis aktif dalam meimbuat karya tulis ilmiah baik jurnal maupun buku, beibeirapa buku yang teilah dibuat diataranya buku Peingantar Teiknik Industri, Deisign Thingking and Teichnology, Supply Chain Manageimeint, dan Eirgonomi Teirapan untuk Produktivitas Industri Modeirn, fokus peineilitian teirkait Sisteim Manufaktur, Quality Eingineieiring dan Sustainability.



Rozza Linda, ST., MT.

Lahir di Tanjung Alai, Kecamatan X Koto Singkarak, Kabupaten Solok, Sumatera Barat, pada tanggal 18 Agustus 1979. Pendiddikan S1 di Prodi Teknik Industri Universitas Ekasakti dan S2 di Prodi Teknik Industri Universitas Andalas Padang. Saat ini mengabdikan sebagai dosen di Universitas Ekasakti Padang.



Saputra, S.T., M.T.

Dosen Teknik Industri

Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang

Saputra, S.T., M.T. lahir dan besar di Sumatera. Beliau menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik (S.T.) di Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Riau, dan melanjutkan studi ke jenjang Magister Teknik (M.T.) di Program Studi Teknik Industri, Universitas Andalas.

Saat ini beliau aktif sebagai dosen dan Ketua Program Studi Teknik Industri di Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang. Dalam kesehariannya, beliau mengampu mata kuliah di bidang Teknik Industri serta terlibat dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

Buku ini ditulis sebagai salah satu upaya beliau untuk berkontribusi dalam pengembangan referensi akademik di bidang Teknik Industri, khususnya bagi mahasiswa dan praktisi yang membutuhkan panduan yang sistematis dan mudah dipahami.



Aziati Ridha Khairi

lahir di Tiku, tanggal 16 Juli 1996. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Industri di Universitas Gunadarma dan melanjutkan S2 Teknik Industri di Universitas Indonesia.

Penulis tercatat sebagai dosen di Politeknik Negeri Media Kreatif (Polimedia) dengan bidang keahlian yang berkaitan dengan product development, industrial engineering, supply chain management, dan industrial management. Selain itu, penulis juga aktif sebagai peneliti di bidang perancangan produk, ergonomi, dan sistem industri, dengan beberapa publikasi ilmiah seperti Perancangan produk berbasis QFD (Quality Function Deployment), Sistem antrian dan optimasi proses industri, Studi ergonomi dalam desain alat kerja , Manajemen produksi dan supply chain. Salah satu publikasinya yang cukup dikenal adalah penelitian tentang “Inovasi Desain Meja Setrika Menggunakan Metode Kano dan QFD” yang membahas pengembangan produk berbasis kebutuhan pengguna dalam perspektif rekayasa industri.

e-mail: aziatiridhakhairi@polimedia.ac.id



Tri Ernita,ST,MP,IPM

Penulis lahir di Bukittinggi tanggal 28 Februari 1978. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjananya di bidang Teknik Industri di Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang pada tahun 2001. Kemudian menyelesaikan pendidikan S2 dengan mendapatkan gelar MP (Master Pertanian) dalam bidang Teknologi Industri Pertanian di Universitas Andalas Padang pada

tahun 2008. Mengikuti Sertifikasi Insinyur Profesional Madya pada tahun 2023 dengan gelar IPM. Sejak tahun 2004 sudah bergabung menjadi staf pengajar di Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang. Saat ini mengajar di Program Studi Teknik Industri (STTIND) Padang.



Sandi Yudha Barri Zaqy, S.T., M.T.

TTL: Jayapura, 22 Desember 1978

Pendidikan

D3: Politeknik ITB, lulus 1999

S1 - Universitas Jendral Achmad Yani lulus tahun 2006

S2 – Universitas Syiah Kuala, lulus tahun 2016

Pengalaman Industri

1999 – 2003: PT Sony Electronics Indonesia

2004 – 2006: PT Lestari Mahaputra Buana

2006 – 2009: PT Metal Makmur Industry

2009 – 2010: PT Celebit Circuit Technology Indonesia

Pengalaman Pengajar:

2010 – 2022: Politeknik Aceh, Teknik Mekatronika

2022 – Sekarang: Politeknik Jambi, Teknologi Pemeliharaan Alat Berat



Dr. Anny Nurbasari, S.E., M.P

Is a full-time lecturer in the Doctoral Program in Management at Maranatha Christian University, Bandung. Her Tridharma (three pillars) activities focus on teaching, research, and community service in the areas of marketing management and digital transformation. Her research and publications extensively examine the use of digital technology to improve marketing performance, consumer behavior, tourism marketing, education marketing, and brand management in national and international scientific journals.

ERGONOMI DAN PERANCANGAN SISTEM KERJA

Buku referensi ini membahas konsep dan penerapan ergonomi dalam perancangan sistem kerja yang efektif, aman, dan nyaman. Dengan pendekatan teori dan praktik, buku ini dirancang untuk membantu mahasiswa, akademisi, praktisi, dan profesional memahami prinsip ergonomi serta implementasinya dalam berbagai lingkungan kerja modern.

Materi disajikan secara sistematis mulai dari dasar ergonomi, analisis postur dan beban kerja, perancangan stasiun kerja, hingga evaluasi dan perbaikan sistem kerja berbasis pendekatan ergonomi. Dilengkapi dengan ilustrasi, studi kasus, dan metode analisis terkini yang relevan dengan kebutuhan industri.

Buku ini menjadi panduan komprehensif untuk menciptakan sistem kerja yang berorientasi pada manusia, meningkatkan produktivitas, serta mendukung kesehatan dan keselamatan kerja secara berkelanjutan.



PT. FAASLIB SERAMBI MEDIA
faaslibsmmedia@gmail.com
<https://faaslibsmmedia.com/>

ISBN 978-634-97113-5-7 (PDF)



9

786349

711357