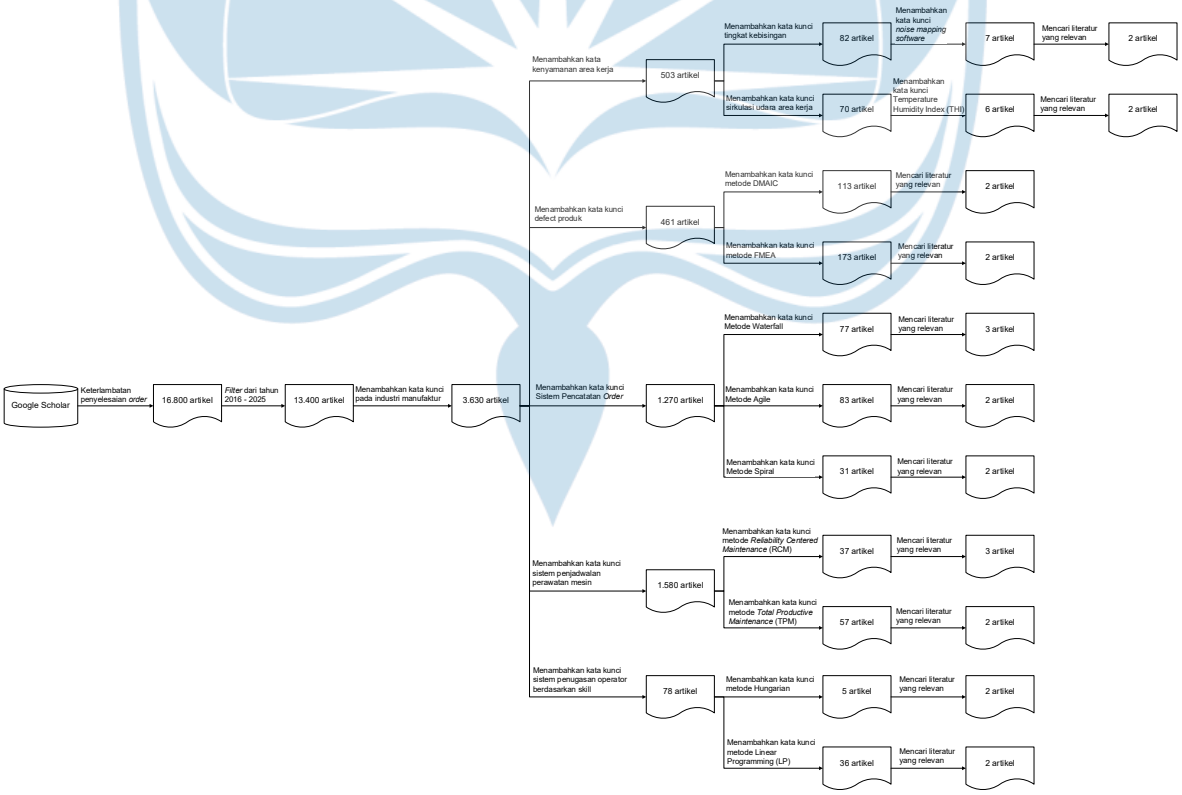
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka Permasalahan

Tinjauan pustaka merupakan kegiatan untuk meninjau ataupun mengkaji kembali literatur yang telah dipublikasikan oleh akademisi atau penulis sebelumnya yang relevan dengan topik perancangan tugas akhir. Tinjauan pustaka difokuskan pada identifikasi literatur berdasarkan kata kunci seperti keterlambatan penyelesaian *order*, pecatatan *order*, penugasan operator, perawatan mesin, *defect* produk, dan kenyamanan area kerja. Berdasarkan penelusuran tersebut, penulis dapat memahami hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan permasalahan keterlambatan penyelesaian *order*, serta memperoleh referensi mengenai solusi, metode, dan *tools* yang sesuai untuk diterapkan dalam penyelesaian permasalahan tersebut. Penelusuran literatur dilakukan menggunakan *search engine* yaitu *Google Scholar*. Alur penelusuran tinjauan pustaka dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Alur penelusuran tinjauan pustaka

Berdasarkan Gambar 2.1, dapat diketahui bahwa penelusuran tinjauan pustaka terkait dengan keterlambatan dalam penyelesaian *order* masih terbatas. Jumlah artikel yang tersisa setelah setiap tahap penyaringan ialah sebanyak 24 artikel. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan keterlambatan penyelesaian *order* pada industri manufaktur memiliki banyak pembahasan umum, namun hanya sedikit yang secara spesifik membahas pendekatan atau metode tertentu yang dapat diterapkan dalam perancangan sistem. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan yang akan dibuat memiliki dasar yang kuat karena mengangkat permasalahan yang jarang dieksplorasi namun penting dalam meningkatkan efisiensi produksi.

2.1.1 Sistem pengendalian tingkat kebisingan

Dalam lingkungan industri, mesin dan peralatan, produksi merupakan sumber utama kebisingan yang berasal dari suara mesin, getaran, kondisi mesin yang menua, serta sistem pembuangan udara. Berdasarkan standar Nilai Ambang Batas (NAB) di Indonesia, tingkat kebisingan yang diperbolehkan adalah 85 dB untuk paparan selama 8 jam per hari. Berdasarkan penelitian Silviana et al. (2021), kebisingan yang melebihi batas tersebut dapat menurunkan kenyamanan, konsentrasi, dan produktivitas pekerja serta meningkatkan risiko gangguan pendengaran dan kecelakaan kerja. Salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis tingkat kebisingan adalah *noise mapping*, yaitu pemetaan kebisingan pada area produksi menggunakan perangkat lunak khusus.

Pada penelitian yang dilakukan juga oleh Chis et al. (2025), pemetaan kebisingan digunakan untuk mengamati pola tingkat kebisingan pada jangka waktu tertentu. Titik-titik pengukuran yang dipilih meliputi area dengan aktivitas tinggi dan dekat dengan mesin pembangkit kebisingan untuk memastikan representasi tingkat kebisingan yang komprehensif. Pengukuran dilakukan mengikuti jam kerja standar perusahaan untuk menangkap variasi kebisingan harian. Upaya pengendalian kebisingan melibatkan 3 aspek antara lain sumber kebisingan, lintasan rambatan kebisingan dan penerima kebisingan.

2.1.2 Perancangan sistem sirkulasi udara area kerja

Kenyamanan lingkungan kerja dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya suhu dan sirkulasi udara. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Republik Indonesia No. 13 Tahun 2012, suhu ruang kerja yang direkomendasikan berada pada rentang 24–27°C. Berdasarkan penelitian Triansyah et al. (2025), nilai *Temperature Humidity Index* (THI) pada industri pabrik tahu RR di Cikampek termasuk kategori bahaya tinggi sehingga berpotensi

menyebabkan stress, panas, kelelahan kerja, dan penurunan produktivitas. Penelitian tersebut menggunakan metode analisis ergonomi lingkungan kerja dengan pengukuran langsung suhu dan kelembapan serta perhitungan THI untuk menilai kenyamanan termal. Solusi yang diusulkan meliputi peningkatan ventilasi, pemasangan *exhaust fan*, serta penyediaan fasilitas istirahat dan air minum bagi pekerja.

Penelitian lain oleh Wirani et al. (2026) mengevaluasi kenyamanan termal pada ruang kerja laboratorium yang masih melakukan pemantauan suhu dan kelembapan secara manual. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan lingkungan termal tidak dapat dipantau secara menyeluruh dan *real-time*. Untuk mengatasi masalah tersebut, dikembangkan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terhubung dengan sensor, mikrokontroler, dan sistem *monitoring* digital. Tingkat kenyamanan termal dievaluasi menggunakan metode THI berdasarkan suhu dan kelembapan udara yang terukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu cenderung meningkat pada siang hari sehingga diperlukan pengendalian sirkulasi udara yang baik, sementara sistem yang dirancang mampu menampilkan data suhu dan kelembapan secara *real-time*.

2.1.3 *Defect* produk

Defect produk merupakan kondisi ketika hasil produksi tidak memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan perusahaan sehingga dapat menurunkan kepuasan konsumen dan meningkatkan biaya produksi akibat kegiatan *rework.* Dewi dan Yovanda (2022) menggunakan metode DMAIC untuk menganalisis *defect* pada proses *filling cup* di PT XYZ yang meliputi cacat seal, volume air tidak sesuai, dan cup ganda, dengan hasil menunjukkan bahwa faktor mesin dan operator menjadi penyebab utama kecacatan. Cacat *seal* merupakan *defect* tertinggi sebesar 31% atau 1.021 cup, sedangkan cacat cup ganda merupakan terendah yaitu 17% atau 555 cup. Metode DMAIC juga diterapkan oleh Setiawan dan Setiawan (2020) pada proses pengemasan *roof panel* di PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia yang masih memiliki tingkat *defect* sebesar 1%–3%. Hasil perbaikan berupa penyusunan standar kerja dan peningkatan pengawasan operator berhasil menurunkan nilai DPMO dari 33.500 menjadi 2.050 serta meningkatkan level sigma dari 3,33 menjadi 4,37.

Selain metode DMAIC, terdapat metode *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan *defect* produk. Nurdewanti (2022) menerapkan FMEA dan konsep PDCA pada perusahaan manufaktur makanan yang mengalami tingkat *defect* produk cokelat *white compound* sebesar 12,1%, yang

menyebabkan peningkatan biaya *rework* dan kesulitan mencapai target produksi. Hasil penerapan perbaikan berhasil menurunkan tingkat *defect* menjadi 2,7%. Metode FMEA juga digunakan oleh Arif dan Windyatri (2024) pada perusahaan manufaktur komponen elektronik yang mengalami rata-rata *defect* sebesar 19% pada proses *injection molding*, dengan cacat *gas mark* sebagai prioritas utama berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Perbaikan melalui penambahan saluran pembuangan gas dan pembersihan *mold* secara berkala berhasil menurunkan tingkat *defect* menjadi 1,6% sehingga standar kualitas perusahaan dapat tercapai.

2.1.4 Sistem pencatatan *order*

Sistem pencatatan *order* merupakan proses pengelolaan, pemantauan, dan pencatatan pesanan yang diterima perusahaan. Pencatatan secara manual sering menimbulkan kendala berupa keterlambatan pembaruan data, ketidaksesuaian stok, serta laporan yang kurang akurat (Asih et al., 2025). Agustian et al. (2023) menemukan bahwa pengelolaan *order* pada perusahaan manufaktur lampu masih dilakukan secara manual dan belum didukung *monitoring* stok secara *real-time* sehingga proses perencanaan produksi menjadi kurang efisien. Permasalahan tersebut diatasi melalui perancangan sistem pencatatan *order* terintegrasi menggunakan metode Waterfall, UML, PHP, dan MySQL. Hasil implementasi menunjukkan nilai *User Acceptance Test* (UAT) sebesar 89,66% serta mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan *order*, *monitoring* stok, dan penyusunan laporan.

Metode *Waterfall* merupakan metode pengembangan sistem yang dilakukan secara berurutan (Fachri dan Surbakti, 2021). Syarifaldi et al. (2023) menerapkan metode ini pada workshop Dalmet Sofa yang masih menggunakan pencatatan pesanan manual sehingga proses pengolahan data menjadi lambat. Pengembangan sistem data *order* berbasis web menggunakan UML berhasil meningkatkan akurasi pencatatan dan mempercepat pendataan. Kondisi serupa juga ditemukan pada penelitian Putri dan Ginoga (2022) melalui sistem akuntansi penjualan dan persediaan berbasis Excel Macro yang mampu mengurangi kesalahan pencatatan dan meningkatkan akurasi data pada UMKM ritel.

Selain Waterfall, metode *Agile* juga banyak digunakan dalam pengembangan sistem pencatatan *order*. Sepriano dan Ichwani (2026) menerapkan metode *Agile* pada UD Berkah Jaya Abadi yang masih melakukan pencatatan penjualan dan inventori secara manual menggunakan kertas. Sistem yang dikembangkan menggunakan HTML, CSS, PHP, dan Laravel sehingga mampu mengurangi risiko kehilangan data, mempercepat penyusunan laporan, serta meningkatkan akurasi informasi. Metode *Agile* juga digunakan oleh Anggraini

dan Susanto (2026) pada CV Surya Sarana Dinamika yang mengalami masalah kesalahan pencatatan dan keterlambatan informasi akibat sistem manual berbasis kertas. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem berbasis Laravel dan arsitektur MVC mampu mempercepat proses pengajuan *order*, mengurangi *human error*, serta meningkatkan transparansi pengelolaan data.

Metode *Spiral* juga digunakan untuk mengatasi permasalahan pencatatan *order* dan transaksi yang masih dilakukan secara manual. Chandra et al. (2025) menerapkan metode ini pada Toko Kue Waffelicious melalui pengembangan sistem penjualan berbasis web yang mampu mempercepat transaksi dan memantau data penjualan secara *real-time*. Metode *Spiral* juga digunakan oleh Ridho dan Hidayat (2024) pada outlet KAF Chicken yang mengalami kesalahan *input* dan lambatnya pelayanan akibat pencatatan manual. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil meningkatkan kecepatan pemesanan dan akurasi data transaksi.

2.1.5 Sistem penjadwalan perawatan mesin

Pada umumnya, kerusakan mesin disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah tidak adanya perencanaan perawatan yang baik. Untuk menjaga kondisi mesin produksi selalu dalam keadaan baik, *maintenance* berperan dalam memberikan dampak pada jumlah *downtime* mesin, (Gustiawan & Affandi, 2021). Menurut Margana *et al.* (2024), setiap mesin maupun komponennya memiliki karakteristik permasalahan yang berbeda, sehingga perlu diketahui komponen-komponen yang memiliki dampak paling besar terhadap kinerja mesin apabila mengalami kerusakan. Salah satu perencanaan perawatan yang dapat dilakukan adalah jadwal *preventive maintenance* karena dapat mengurangi *downtime* sehingga permasalahan yang akan terjadi pada mesin sudah dapat diketahui terlebih dahulu.

Sari *et al.* (2025) menemukan sistem perawatan mesin di PT. SYH yang masih didominasi oleh *corrective maintenance* dan jumlah *downtime* yang tercatat telah melebihi batas toleransi perusahaan. Permasalahan ini diatasi melalui perancangan strategi perawatan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengidentifikasi komponen kritis serta menyusun jadwal perawatan yang mencakup interval, jenis tindakan serta penanggung jawab perawatan. Penelitian lain yang dilakukan Priyatna *et al.* (2021) di PT. Beta Pharmacon digunakan perancangan *preventive maintenance* berbasis *web* menggunakan *algoritma priority scheduling*, kemudian *web* dibangun menggunakan *framework codelgniter* dan *database* menggunakan MySQL. Penelitian ini menghasilkan

jadwal yang lebih informatif dan mudah diakses oleh karyawan, serta dapat dijadwalkan ulang sesuai kondisi operasional mesin.

Selain RCM, permasalahan perawatan mesin juga dapat diselesaikan menggunakan metode *Total Productive Maintenance* (TPM). Ahmad dan Herdianzah (2023) menerapkan TPM untuk meningkatkan efektivitas peralatan dengan melibatkan seluruh tenaga kerja serta menggunakan analisis *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai alat evaluasi. Metode TPM juga digunakan oleh Mestanza et al. (2023) untuk memperbaiki sistem perawatan mesin dan mengurangi *downtime*. Hasilnya menunjukkan penurunan waktu produksi dan *downtime* secara signifikan.

2.1.6 Penugasan operator

Penugasan operator merupakan bagian penting dalam sistem produksi karena memengaruhi efisiensi kerja dan keseimbangan beban kerja. Salah satu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah penugasan adalah metode Hungarian. Aulia et al. (2025) menerapkan metode ini pada PT Pelindo Multi Terminal yang mengalami ketidakseimbangan tenaga kerja dan beban kerja tinggi, sehingga diperoleh alokasi jam kerja yang lebih optimal dan distribusi beban kerja yang lebih proporsional. Hasil lainnya juga ditemukan oleh Nabila et al. (2022) di CV Bintang Jaya dengan bantuan POM-QM for Windows untuk mengoptimalkan alokasi waktu kerja operator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode tersebut mampu meningkatkan efisiensi penugasan sesuai kemampuan masing-masing operator sehingga proses produksi menjadi lebih optimal.

Selain metode Hungarian, terdapat metode *Linear Programming*. Pratama et al. (2024) menerapkan metode Simplex dengan bantuan POM-QM pada usaha Takoyabox untuk menentukan jumlah produksi optimal sehingga keuntungan meningkat dari Rp750.000 menjadi Rp1.012.500. Metode *Linear Programming* juga digunakan oleh Sitorus et al. (2019) pada PT. TASS Engineering pada PT TASS Engineering untuk mengoptimalkan alokasi pekerjaan dan target produksi. Penelitian tersebut mengombinasikan metode Hungarian, Transportasi, dan Program Linier untuk memperoleh biaya produksi minimum dan keuntungan yang lebih tinggi. Hasilnya menunjukkan peningkatan keuntungan perusahaan sebesar 0,9% melalui penentuan kombinasi produksi yang optimal.

Setiap literatur tersebut memiliki permasalahan yang serupa, hanya saja tujuan serta metode yang digunakan berbeda. Berikut ini merupakan ringkasan dari artikel yang telah didapatkan dari penelusuran setiap masalah yang ada.

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
1	Silviana *et al.* (2021)	Industri produksi Fatty Alcohol	Paparan kebisingan yang tinggi menimbulkan gangguan kesehatan pada pekerja.	Membuat pemetaan distribusi kebisingan menggunakan *sound level meter.*	Melakukan pengukuran dan pemetaan tingkat kebisingan menggunakan *noise mapping software.*	Pemetaan distribusi kebisingan dan identifikasi titik rawan membantu perusahaan dalam penerapan cara pengendalian kebisingannya.
2	Chis *et al.* (2025)	Industri Manufaktur Karet	Tingginya kebisingan melebihi ambang batas yang berdampak terhadap kesehatan dan performa pekerja.	Melakukan pemantauan kebisingan secara *real-time* menggunakan sensor IoT, melakukan pemetaan zona berisiko tinggi kebisingan.	Pemetaan zona penyebaran tingkat tekanan kebisingan menggunakan *noise mapping software.*	Penemuan area dengan tingkat tekanan kebisingan yang tinggi mempermudah perbaikan *monitoring* kebisingan.
3	Triansyah *et al.* (2025)	Industri pabrik tahu	suhu dan kelembapan tinggi yang berisiko membuat pekerja mengalami stres panas, kelelahan kerja dan penurunan produktivitas.	Perancangan sistem sirkulasi udara dengan meningkatkan ventilasi area kerja dan pemasangan exhaust fan.	Pengukuran termal menggunakan *Temperature Humidity Index* (THI).	Penemuan kondisi lingkungan kerja yang belum memenuhi standar ergonomi mempermudah perusahaan dalam menentukan langkah perbaikan lingkungan kerja.

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
4	Wirani *et al.* (2026)	Ruang kerja laboratorium	Pemantauan suhu dan kelembapan yang masih dilakukan secara manual sehingga perubahan kondisi termal ruangan tidak dapat terpantau secara menyeluruh dan real-time.	Perancangan sistem *monitoring* suhu dan kelembapan berbasis *Internet of Things* (IoT).	Pengukuran termal menggunakan *Temperature Humidity Index* (THI).	Perubahan kondisi termal ruang kerja dan perancangan sistem *monitoring* mampu menampilkan suhu serta kelembapan secara real-time.
5	Dewi dan Yovanda (2022)	Perusahaan air minum dalam kemasan	Cacat produk pada proses filling cup seperti seal kemasan tidak presisi, volume air tidak sesuai, serta cup ganda pada proses produksi.	Mengidentifikasi penyebab utama kecacatan produk dan merancang usulan perbaikan kualitas.	Identifikasi dengan metode *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control* (DMAIC).	Hasil penelitian menunjukkan bahwa *defect* tertinggi terjadi pada cacat seal dan analisis DMAIC membantu mengidentifikasi faktor mesin serta operator sebagai penyebab utama kecacatan produk.
6	Setiawan dan Setiawan (2020)	PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia	Produk cacat pada tahapan pengemasan roof panel untuk kebutuhan ekspor.	Menyusun standar kerja penyemprotan anti karat serta memperketat pengawasan terhadap aktivitas operator	Identifikasi dengan metode *Define, Measure, Analyze, Improve, and Control* (DMAIC).	Penurunan nilai DPMO dari 33.500 menjadi 2.050 dan peningkatan level sigma dari 3,33 menjadi 4,37.

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
7	Nurdewanti (2022)	Perusahaan manufaktur bidang makanan	Cacat produk menyebabkan peningkatan biaya rework proses produksi 27 dan sulitnya mencapai target produksi.	Identifikasi potensi penyebab kegagalan serta konsep plan, do, check, action (PDCA) untuk tindakan perbaikan.	Identifikasi dengan metode *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA)	Penerapan perbaikan menurunkan tingkat *defect* produk cokelat white compound dari 12,1% menjadi 2,7%.
8	Arif dan Windyatri (2024)	Perusahaan industri manufaktur bidang komponen elektronik	Cacat produk pada line injection molding dengan rata-rata 19% selama bulan Januari hingga Maret tahun 2024.	Penambahan saluran pembuangan gas serta pembersihan mold secara berkala untuk mengurangi potensi kecacatan produk	Identifikasi dengan metode *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA)	Persentase *defect* pada produk housing panel mengalami penurunan yang signifikan dari 19% menjadi 1,6%.
9	Agustian *et al.* (2023)	Perusahaan manufaktur lampu kendaraan	Pengelolaan manufacturing *order* masih manual dan tidak ada *monitoring* stok secara realtime	Sistem pengelolaan manufacturing *order* berbasis web terintegrasi *database*	Metode Waterfall, PHP, MySQL, UML	Sistem berjalan baik dengan hasil *User Acceptance Test* (UAT) 89,66%, mempermudah pengelolaan planning, stok, dan laporan secara cepat dan akurat
10	Syarifaldi *et al.* (2023)	Workshop pembuatan sofa (Dalmet Sofa)	Pencatatan data *order* masih manual dan memakan waktu lama	Membangun sistem data *order* berbasis web	Metode Waterfall, UML	Sistem web terbukti meningkatkan akurasi dan efisiensi proses *order* serta menggantikan sistem manual

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
11	Sepriano dan Ichwani (2026)	UD Berkah Jaya Abadi	Pengelolaan penjualan dan inventori masih manual menggunakan kertas sehingga rawan salah, data mudah hilang, dan proses lambat	Merancang aplikasi web untuk pencatatan penjualan dan inventori yang lebih efisien dan terintegrasi	Metode Agile, HTML, CSS, PHP, Laravel	Sistem meningkatkan efisiensi pencatatan, mempermudah pelacakan transaksi, mempercepat pembuatan laporan, serta menyediakan data yang lebih akurat dan transparan untuk keputusan manajemen
12	Anggraini dan Susanto (2026)	CV Surya Sarana Dinamika	Pengelolaan *order* secara manual menyebabkan kesalahan pencatatan, keterlambatan informasi, dan sulitnya pemantauan status pesanan secara langsung.	Perancangan sistem pengelolaan *order* berbasis web.	Metode Agile, *tools framework* Laravel dan arsitektur *Model-View-Controller* (MVC).	Proses pengajuan *order* lebih cepat, *human error* berkurang, dan meningkatkan transparasi serta efisiensi pengelolaan data perusahaan.
13	Putri dan Ginoga (2024)	Toko Surya (UMKM ritel)	Pencatatan penjualan dan persediaan masih manual dan rawan kesalahan	Merancang sistem akuntansi bisnis penjualan dan persediaan berbasis Excel Macro	Metode *Waterfall* dan Excel	Sistem Excel Macro mengotomatisasi pencatatan, meningkatkan akurasi, dan mengurangi kesalahan dalam penjualan serta persediaan

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
14	Chandra *et al.* (2025)	Toko Kue Waffelicious	Pencatatan penjualan masih konvensional sehingga tidak efisien	Mengembangkan sistem penjualan berbasis web denan fitur katalog, pemesanan, pembayaran, dan laporan	Metode Spiral, PHP, HTML, UAT	Sistem meningkatkan efisiensi transaksi, mempermudah pemesanan online, mendukung pengelolaan data penjualan *real-time*, dan memperluas jangkauan pasar
15	Ridho dan Hidayat (2024)	Outlet KAF Chicken	Sistem pemesanan, pencatatan, dan laporan masih manual sehingga rawan salah, lambat, dan tidak akurat	Merancang aplikasi pemesanan makanan berbasis web–mobile dengan fitur menu, pemesanan, dan pencatatan transaksi	Metode Spiral, *Framework* Express Js, dan Mongodb	Sistem mampu mempercepat pemesanan, meningkatkan akurasi data, serta meningkatkan efisiensi operasional usaha kuliner
16	Gustiawan dan Affandi (2021)	PT Staedter Indonesia	Mesin sering mengalami *breakdown* dan upaya perbaikan mesin yang ada masih tidak teratur sehingga proses produksi tidak berjalan dengan lancar	Perancangan sistem perawatan mesin menggunakan diagram pareto, FMEA, MTBF dan RCM	Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), Microsoft Excel	Peningkatan efektivitas penjadwalan perawatan mesin serta laporan lengkap mengenai komponen krisis pada tiap mesin dan interval *preventive maintenance*

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
17	Margana *et al.* (2024)	*Air Handling Unit* (AHU) G4 pada sistem HVAC	Masih sering terjadi kerusakan dan *downtime* pada sistem	Menentukan komponen kritis dan prioritas perawatan untuk meningkatkan keandalan sistem	Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Worksheet* FMEA	Penentuan interval waktu perawatan dari komponen kritis membantu dalam mengantisipasi sebelum terjadinya kerusakan dan *downtime*
18	Sari *et al.* (2025)	PT SYH	Tingginya *downtime* yang melebihi batas toleransi perusahaan yang disebabkan oleh perawatan yang masih didominasi *corrective maintenance*	Perancangan strategi perawatan mesin untuk mengurangi *downtime* dan meningkatkan keandalan mesin	Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), RCM *Decision Worksheet*, Minitab	Penentuan komponen kritis dan strategi perawatan yang efektif yang berdampak pada *downtime* yang lebih terkendali dan penghematan biaya perawatan
19	Priyatna *et al* (2021)	PT Beta Pharmacon	Penjadwalan masih dilakukan secara manual, laporan perawatan belum terdokumentasi dengan baik dan koordinasi aktivitas *maintenance* yang kurang efektif	Perancangan sistem *preventive maintenance* berbasis *web* untuk mempermudah penjadwalan, *monitoring*, dokumentasi dan koordinasi perawatan	PHP, MySQL, UML, *Black Box* dan *White Box Testing*	Pengelolaan penjadwalan, penyimpanan data mesin, dokumentasi hasil *maintenance* serta mendukung *reschedule* jadwal secara otomatis sehingga proses *maintenance* lebih terorganisir

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
20	Ahmad dan Herdianzah (2023)	PT Tempat Senang Laboratories	Sistem pemeliharaan mesin belum optimal dan sering terjadi breakdown yang menurunkan efisiensi produksi.	Optimalisasi pemeliharaan melalui pelatihan operator agar mampu memprediksi kerusakan dan segera melapor ke bagian *maintenance*	Metode *Total Productive Maintenance* (TPM) dan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)	Optimalisasi pemeliharaan membantu mengidentifikasi penyebab rendahnya efisiensi mesin dengan nilai OEE sebesar 46,98%–59,04% yang masih di bawah standar ideal.
21	Mestanza *et al.* (2023)	Industri tekstil	*Downtime* mesin yang tinggi dan aliran material yang tidak optimal	Perbaikan sistem perawatan dan peningkatan keandalan mesin dan pembuatan simulasi untuk memvalidasi peningkatan produktivitas	Metode *Total Productive Maintenance* (TPM)	Waktu produksi menurun dan *downtime* mesin bekurang secara signifikan
22	Aulia *et al.* (2025)	Divisi Pengadaan PT Pelindo Multi Terminal	Ketidakseimbangan jumlah tenaga kerja tetap dengan beban kerja tinggi menimbulkan ketidakefisienan operasional	Optimalisasi penugasan jam kerja menggunakan metode Hungarian	Metode Hungarian dengan teknik pemodelan program linear	Pengalokasian jam kerja secara optimal, menurunkan total waktu kerja bulanan hingga 10.120 menit, distribusi beban kerja proporsional, dan meningkatkan efektivitas operasional.

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *tools*	Hasil
23	Nabila *et al.* (2022)	CV Bintang Jaya	Perusahaan belum mampu mengoptimalkan jam kerja sesuai dengan jenis pekerjaan karyawan atau operator.	Menggunakan metode Hungarian dalam penentuan alokasi waktu kerja terbaik setiap karyawan.	Metode Hungarian dan aplikasi POM-QM for Windows	Pembagian waktu setiap karyawan atau operator sehingga proses produksi lebih efisien, meningkatkan pemanfaatan sumber daya, dan mengurangi waktu menganggur.
24	Pratama *et al.* (2024)	Perusahaan yang memproduksi Takoyabox	Perusahaan ingin meningkatkan efisiensi proses produksi agar keuntungan usaha lebih maksimal.	Penentuan jumlah produksi optimal	Metode simplex *Linear Programming* dan software POM-QM	Penerapan metode tersebut meningkatkan keuntungan usaha dari Rp750.000 menjadi Rp1.012.500 serta membantu efisiensi pengambilan keputusan produksi.
25	Sitorus *et al.* (2019)	PT TASS Engineering	kendala pembagian pekerjaan karena perbedaan biaya pengerjaan memengaruhi keuntungan perusahaan.	Penentuan alokasi pekerjaan dan target produksi optimal dilakukan untuk meminimalkan biaya produksi.	Penelitian menggunakan metode Hungarian, metode Transportasi, dan Program Linier.	Kombinasi produksi optimal berhasil meningkatkan keuntungan perusahaan sebesar 0,9%.

Penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan pada Seksi Layanan Kemasan BPTTG dikaji untuk mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang masih terdapat pada studi sebelumnya. Identifikasi kesenjangan penelitian dilakukan dengan membandingkan fokus permasalahan dan pendekatan yang digunakan pada masing-masing penelitian. Hasil identifikasi kesenjangan penelitian tersebut menjadi dasar dalam menentukan fokus penelitian yang dilakukan. Ringkasan penelitian terdahulu dan gap penelitian yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Gap penelitian

Permasalahan	Metode Penelitian Terdahulu	*Gap* Penelitian
Sistem pencatatan *order* manual	*Agile* (Sepriano & Ichwani, 2026; Anggraini & Susanto, 2026)	Belum terintegrasi dengan *monitoring* produksi
Penugasan operator belum optimal	Hungarian & *Linear Programming* (Aulia *et al.*, 2025; Nabila *et al.*, 2022)	Belum mempertimbangkan *skill* operator
Belum ada sistem *preventive maintenance*	RCM (Margana *et al.* 2024; Sari *et al.* 2025)	Belum ada perencanaan kebutuhan *sparepart* mesin kritis
Defect produk	DMAIC & FMEA (Dewi & Yovanda, 2022; Nurdewanti, 2022)	Fokus pada kualitas, belum pada pengelolaan sumber daya produksi
Lingkungan kerja	THI & Noise Mapping (Silviana *et al.*, 2021; Triansyah *et al.*, 2025)	Fokus pada kebisingan dan suhu area kerja saja, belum pada sistem produksinya

Kontribusi ilmiah utama dari tugas akhir ini adalah perancangan sistem yang mengintegrasikan pengelolaan *order*, penugasan operator berdasarkan kemampuan yang dimiliki, serta pengelolaan perawatan mesin untuk mendukung peningkatan ketepatan penyelesaian *order*. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada satu aspek tertentu, seperti pencatatan *order*, penugasan operator, atau perawatan mesin, sistem yang dirancang menggabungkan ketiga aspek tersebut dalam satu sistem sehingga pengelolaan sumber daya produksi dapat dilakukan secara lebih terintegrasi.

2.2 Dasar Teori

Dasar teori ini ditujukkan untuk menjelaskan konsep dan cara kerja yang menjadi dasar dalam merancang sistem, supaya setiap langkah perancangan jelas dan terarah. Tujuannya adalah agar kita memahami prinsip dan metode yang digunakan sehingga

sistem yang dibuat bisa berjalan dengan baik. Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, dasar teori dibagi menjadi tiga bagian sesuai jenis sistem yang dirancang, yaitu sistem pengelolaan *order* dan *dashboard monitoring* produksi, sistem penugasan operator berdasarkan *skill monitoring*, dan sistem penjadwalan perawatan mesin (*preventive maintenance*). Setiap bagian akan menjelaskan teori dan cara kerja yang mendukung pembuatan sistem agar lebih efektif dan mudah diterapkan.

2.2.1 Perancangan sistem pengelolaan *order* dan *dashboard monitoring* produksi

Perancangan sistem pengelolaan *order* dan *dashboard monitoring* produksi didasarkan sejumlah teori dari berbagai mata kuliah seperti manajemen produksi dan penerimaan *order* yang merujuk pada mata kuliah Sistem Rantai Pasok (STIN49602), teori mengenai Sistem informasi, *Database*, *Data Flow Diagram*, *Entity Relation Diagram,* dan *Agile Method* yang merujuk pada mata kuliah Proses Bisnis dan Sistem Informasi (STIN40502), teori mengenai *display* merujuk pada mata kuliah Ergonomika (STIN17302).

2.2.1.1 Sistem rantai pasok

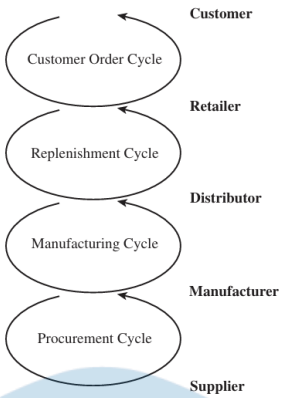
Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah Sistem rantai pasok.

a Rantai pasok

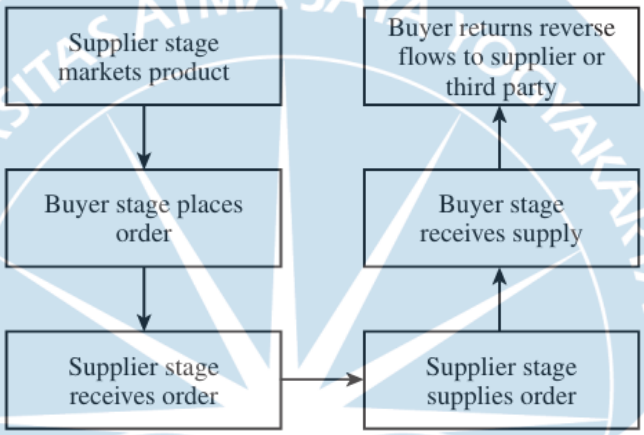
Rantai pasok merupakan rangkaian proses dan aliran yang berlangsung di dalam maupun antar berbagai tahap untuk memenuhi kebutuhan konsumen terhadap suatu produk (Chopra, 2019). Manajemen rantai pasok dikembangkan dari konsep dasar logistik yang bertujuan untuk menghubungkan serta mengoordinasikan aktivitas yang terjadi antara pemasok, konsumen, dan organisasi. Pengelolaan rantai pasok ini mencakup hubungan pada sisi hulu dan hilir untuk memastikan bahwa nilai yang diterima konsumen dapat dimaksimalkan sambil menekan biaya di seluruh jaringan rantai pasok (Christopher, 2011). Menurut Chopra (2019), proses rantai pasok dapat dilihat melalui dua cara yaitu sebagai berikut.

i Pandangan siklus

Pandangan siklus merupakan proses rantai pasok yang dilihat melalui pendekatan yang membagi aktivitas rantai pasok ke dalam beberapa siklus yang berlangsung di titik pertemuan antara dua tahap berurutan. Pandangan siklus membagi proses rantai pasok menjadi empat siklus yaitu *customer order*, *replenishment*, *manufacturing*, dan *procurement*. Setiap siklus memiliki subproses yaitu pemesanan, pemenuhan, penerimaan, dan aliran balik. Gambar siklus proses rantai pasok dan subproses dapat dilihat pada Gambar 2.2. dan 2.3.



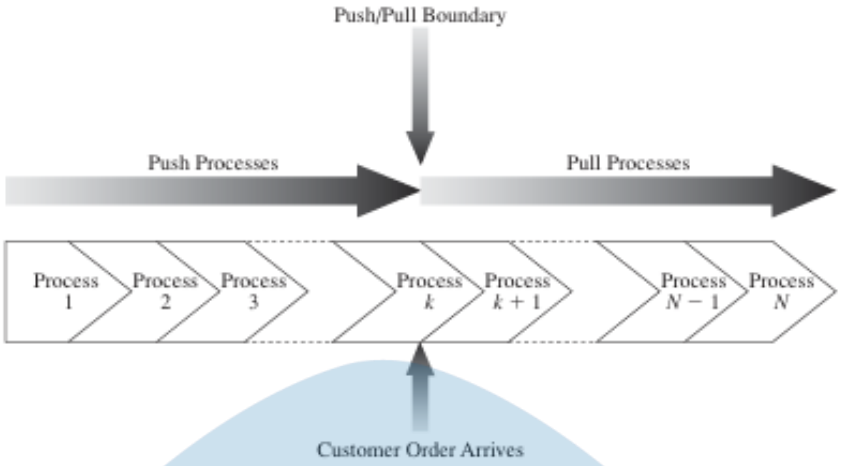
Gambar 2.2 Siklus proses rantai pasokan (Chopra, 2019)



Gambar 2.3 Subproses dalam setiap siklus proses rantai pasokan (Chopra, 2019)

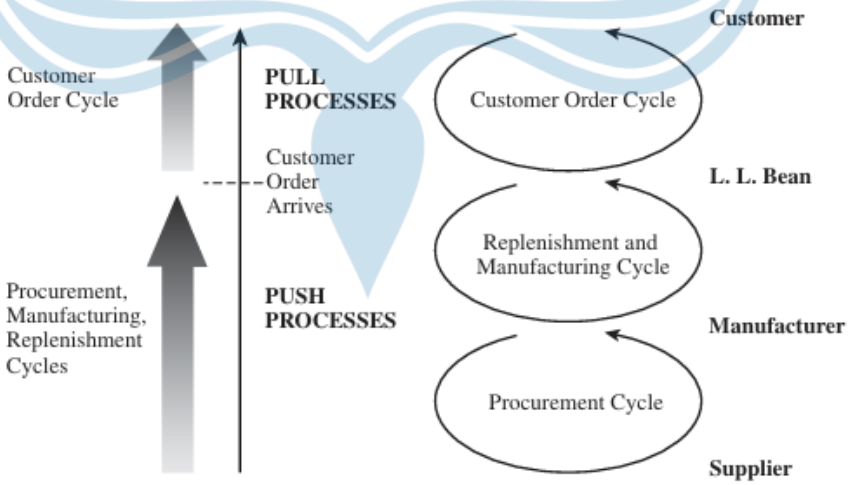
ii Pandangan *push/pull*

Pandangan *push/pull* merupakan proses rantai pasok yang dilihat melalui pendekatan ang mengelompokkan proses berdasarkan pemicu pelaksanaannya. *Pull processes* dimulai sebagai respons langsung terhadap pesanan aktual, sehingga berlangsung dalam lingkungan dengan permintaan yang sudah diketahui. Sebaliknya, push processes dilakukan sebelum pesanan muncul dan didasarkan pada perkiraan permintaan, sehingga beroperasi dalam kondisi ketidakpastian. Batas antara keduanya disebut *push/pull boundary*, yaitu titik pemisah yang menentukan bagian rantai pasok mana yang berbasis ramalan dan mana yang berbasis pesanan. Berikut merupakan gambaran proses *pull/push*, dapat dilihat pada Gambar 2.4.

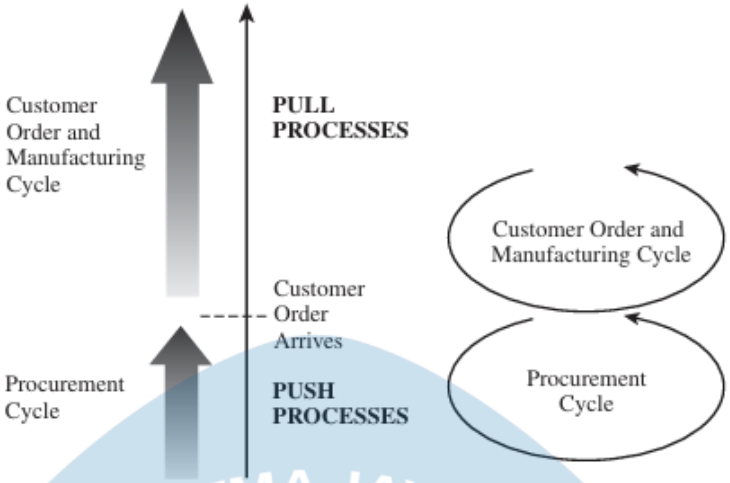


Gambar 2.4 Pandangan *push*/*pull* (Chopra, 2019)

Pandangan *push/pull* dibagi menjadi dua yaitu pada sistem *Make to Stock* (MTS) dan *Make to Order* (MTO). L.L. Bean, sebagai perusahaan ritel pakaian dan perlengkapan *outdoor*, menerapkan MTS dengan memproduksi barang berdasarkan perkiraan sehingga prosesnya dominan *push*. Sementara itu, Ethan Allen, produsen furnitur kustom, menggunakan pendekatan MTO di mana produksi baru dimulai setelah pesanan diterima, sehingga alurnya lebih bersifat *pull* dan mengikuti kebutuhan konsumen. Berikut merupakan proses *push/pull* untuk rantai pasok *make to stock* dan proses *push/pull* untuk rantai pasokan *make to order*, yang dapat dilihat pada gambar 2.5. dan 2.6.

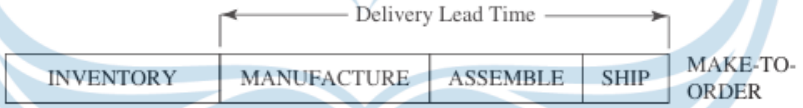


Gambar 2.5 Proses *push/pull* MTS (Chopra, 2019)

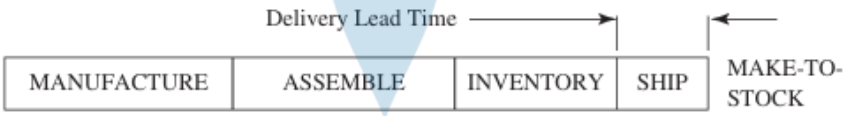


Gambar 2.6 Proses *push/pull* MTO (Chopra, 2019)

Make to Stock (MTS) merupakan sistem produksi yang membuat barang terlebih dahulu lalu menyimpan sebagai persediaan untuk memenuhi permintaan yang sudah diprediksi, sehingga cocok untuk produk dengan permintaan stabil dan volume besar. Sebaliknya, *Make to Order* (MTO) merupakan sistem produksi yang hanya memulai pembuatan barang setelah ada pesanan dari konsumen, sehingga lebih sesuai untuk produk yang bersifat khusus atau permintaan yang tidak menentu. Berikut merupakan gambar urutan proses MTO dan MTS.



Gambar 2.7 *Make to Order* (MTO) (Chapman et al., 2017)



Gambar 2.8 *Make to Stock* (MTS) (Chapman et al., 2017)

b Proses makro rantai pasokan

Pada proses rantai pasok makro menjelaskan bagaimana perusahaan mengambil keputusan dalam mempertimbangkan keseluruhan proses yang terlibat dalam merencanakan operasi rantai pasok. Chopra (2019) mengelompokkan proses rantai pasok ke dalam tiga kategori yang dikenal sebagai *Customer Relationship Management* (CRM), *Internal Supply Chain Management* (ISCM), dan *Supplier Relationship Management* (SRM). Ketiga kategori tersebut didukung oleh *transaction management*

foundation dan perangkat lunak integrasi yang memastikan proses dapat berjalan dengan lancar. Berikut merupakan gambaran proses makro dalam rantai pasok.



Gambar 2.9 Proses makro rantai pasok (Chopra, 2019)



Gambar 2.10 Cakupan rantai pasok makro (Chopra, 2019)

CRM mencakup aktivitas yang menghubungkan perusahaan dengan konsumen pada sisi hilir rantai pasok. Tujuan utamanya yaitu membentuk permintaan, memfasilitasi pemesanan, serta memastikan pesanan dapat ditelusuri dengan baik. Proses dalam CRM meliputi kegiatan pemasaran, aktivitas penjualan, pengelolaan *order* konsumen, dan layanan pusat bantuan. Sistem informasi yang kuat membantu perusahaan meningkatkan akurasi perencanaan pemasaran, mempermudah proses penjualan, serta memberi visibilitas pengiriman kepada konsumen.

ISCM berfokus pada operasi internal perusahaan, mulai dari perencanaan kapasitas, peramalan permintaan, perencanaan persediaan, produksi, hingga pemenuhan *order*. Pada tahap strategis, perusahaan menentukan lokasi fasilitas dan kapasitas produksi. Selanjutnya, proses perencanaan permintaan dan perencanaan suplai menyusun rencana optimal untuk memenuhi kebutuhan pasar. Eksekusi rencana dilakukan melalui aktivitas pemenuhan *order*, manajemen transportasi, pergudangan, hingga layanan purna jual. Sistem perencanaan dan eksekusi yang terintegrasi membantu perusahaan menjaga aliran barang dan informasi tetap efisien.

SRM berisi proses yang mengatur hubungan perusahaan dengan pemasok di sisi hulu rantai pasok. Aktivitas dalam SRM meliputi kolaborasi desain produk dengan pemasok, pemilihan dan evaluasi pemasok, negosiasi kontrak, pembelian bahan baku, hingga

kolaborasi dalam perencanaan produksi dan persediaan. Integrasi yang baik antara proses internal perusahaan dengan pemasok memungkinkan rencana suplai menjadi lebih akurat dan mengurangi risiko gangguan pasokan. Perangkat lunak SRM mendukung analisis kinerja pemasok, pengelolaan kontrak, otomatisasi pembelian, serta kolaborasi perencanaan.

c Manajemen *order*

Manajemen *order* merupakan bagian dari *Customer Relationship Management* (CRM) yang mencakup serangkaian proses bisnis untuk menangani pesanan konsumen dari awal hingga akhir meliputi aktivitas penerimaan pesanan, validasi, pemrosesan, pemenuhan, dan pelacakan status pengiriman. Pada manajemen rantai pasok, manajemen *order* berperan sebagai penghubung antar kebutuhan konsumen dan kapasitas operasional perusahaan, sekaligus sebagai alat yang membantu dalam koordinasi aliran informasi dan aktivitas penjualan dan proses produksi (Chopra, 2019).

2.2.1.2 Proses bisnis dan sistem informasi

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah Proses bisnis dan sistem informasi.

a Proses Bisnis

Proses bisnis merupakan rangkaian aktivitas yang saling terkait untuk menghasilkan produk atau layanan yang memberikan nilai bagi organisasi atau konsumen. Proses bisnis terdiri dari *input*, *resource*, dan *output*. Konsumen dalam proses bisnis dapat berasal dari dalam maupun luar organisasi, sedangkan kinerjanya dinilai berdasarkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya dan efektivitas dalam memenuhi kebutuhan konsumen, dengan karakter proses yang bisa melibatkan banyak fungsi atau hanya berada dalam satu fungsi tertentu (Rainer et al., 2023). Berdasarkan proses *order fulfillment* atau *order to cash* merupakan kebalikan dari proses pengadaan, karena perusahaan menjual barang kepada konsumen. Proses ini dimulai saat perusahaan menerima pesanan konsumen dan berakhir ketika pembayaran diterima. Secara umum terdapat dua strategi yaitu sebagai berikut.

i *Sell from stock*

sell from stock yaitu memenuhi pesanan dengan stok standar yang sudah tersedia di gudang.

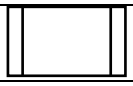
ii *Configure to order*

configure to order yaitu menyesuaikan produk sesuai permintaan konsumen. Dalam praktiknya, proses ini melibatkan tiga departemen yaitu sales, warehouse, dan accounting yang bekerja melalui alur utama. Sales menerima permintaan informasi,

memberikan penawaran harga, lalu membuat sales *order* setelah konsumen menyetujui penawaran. Dokumen tersebut diteruskan ke Warehouse untuk menyiapkan dan mengemas barang menggunakan picking document dan *packing* list. Secara bersamaan, *Accounting* menerbitkan *invoice*, dan proses dinyatakan selesai ketika pembayaran dari konsumen telah diterima sesuai tagihan.

Keterkaitan proses bisnis setiap departemen dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir proses bisnis. Pada pembuatan diagram alir, terdapat beberapa komponen yang digunakan berdasarkan American National Standard (ANSI) sebagai berikut.

Tabel 2.3 Komponen diagram alir proses bisnis

Notasi	Komponen	Fungsi
	*Terminal, Interrupt Symbol*	Menunjukkan titik mulai atau titik selesai dari suatu proses
	*Input/Output Symbol*	Menandai informasi atau material yang menjadi *input* serta *output* dari proses
	*Manual Operation Symbol*	Menunjukkan aktivitas yang dilakukan secara manual tanpa bantuan komputer
	*Process Symbol*	Menunjukkan aktivitas yang dilaksanakan dengan bantuan komputer
	*Decision Symbol*	Menunjukkan proses yang dipilih berdasarkan kondisi atau keputusan tertentu
	*Connector Symbol*	menunjukkan titik keluar atau masuk menuju bagian lain dari *flowchart*, berfungsi sebagai penghubung dalam alur proses
	*Document Symbol*	Menunjukkan masukan atau keluaran proses yang berbentuk dokumen
	*Predefined Process Symbol*	Menunjukkan awal dari suatu subproses atau subprogram

c Sistem informasi manajemen

Sistem informasi Manajemen (SIM) merupakan rangkaian solusi berbasis komputer yang berfungsi menyediakan informasi bagi proses pengambilan keputusan di organisasi (O'brien dan Marakas, 2019). Pada Sistem informasi manajemen terdapat beberapa jenis sistem sebagai berikut.

i *Transaction Processing System* (TPS)

Jenis sistem informasi TPS berfungsi dalam mencatat, memposes, dan menyimpan transaksi operasional harian, seperti penjualan, pembelian, pembayaran, atau pencatatan stok.

ii *Management Information System* (MIS)

Jenis sistem informasi MIS berfungsi dalam membuat laporan terstruktur berdasarkan data yang dikumpulkan dari TPS. MIS berguna dalam memantau kegiatan rutin, mengevaluasi kinerja, serta pembuatan keputusan.

iii *Decision Support System* (DSS)

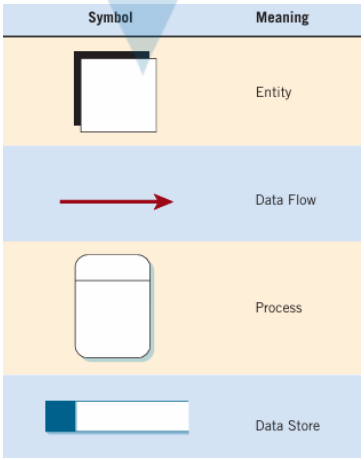
Jenis sistem informasi DSS berguna untuk pengambilan keputusan yang tidak terstruktur atau semi-terstruktur. DSS mengombinasikan data, model analitis, dan simulasi untuk membantu manajer mengevaluasi berbagai alternatif keputusan.

iv *Executive Information System* (EIS)

Jenis sistem informasi EIS berguna dalam menyediakan informasi ringkas dan strategis, biasanya digunakan untuk menampilkan data dalam bentuk *dashboard*, grafik, atau ringkasan yang mempermudah pembacaan data.

d *Data Flow Diagram* (DFD)

Data flow diagram (DFD) merupakan gambaran visual yang digunakan untuk memetakan aliran suatu data dan proses pengolahan informasi dalam sistem. Seluruh sistem direpresentasikan sebagai satu proses tunggal yang terhubung dengan entitas melalui aliran data. Pada penyusunan DFD terdapat beberapa simbol yang digunakan untuk memvisualisasikan aliran data dan interaksi sistem dengan entitas eksternal. Simbol-simbol meliputi proses, *entity*, dan *data flow* (Kendall dan Kendall, 2020). Berikut merupakan gambar simbol-simbol dasar yang digunakan dalam DFD.



Gambar 2.11 Simbol-simbol DFD (Kendall dan Kendall, 2020)

Pembuatan *Data Flow Diagram* (DFD) mengikuti beberapa aturan dasar diagram. Setiap DFD memiliki minimal satu proses, dan tidak boleh ada objek yang berdiri sendiri atau terhubung dengan dirinya sendiri. Setiap proses wajib menerima minimal satu aliran data masuk dan menghasilkan minimal satu data keluar. Penyimpanan data atau *data store* harus terhubung dengan proses minimal berjumlah 1 dan entitas eksternal tidak boleh saling terhubung langsung.

e *Entity Relationship Diagram* (ERD)

Entity Relationship Diagram (ERD) merupakan model data berbentuk diagram yang merepresentasikan struktur sebuah basis data melalui entitas, atribut, hubungan antar entitas, dan kardinalitas (Elmasri dan Navathe, 2016). ERD memiliki beberapa peran penting dalam perancangan basis data yaitu mempermudah proses analisis *database*, untuk menunjukan hubungan atau keterkaitan data melalui relasi antar entitas, membantu mendokumentasikan informasi yang terdapat pada *database* melalui identifikasi entitas dan hubungannya, serta membantu dalam menguji model *database* sesuai kebutuhan (Gunawan et al., 2023).

Menurut Gunawan et al. (2023), komponen-komponen penyusun ERD terdiri dari entitas, atribut, relasi, dan garis.

i Entitas

Entitas merupakan objek atau konsep yang dikenali dan memiliki informasi yang perlu disimpan di dalam basis data.

ii Atribut

Atribut merupakan karakteristik yang dimiliki oleh suatu entitas dan memberikan informasi entitas tersebut. Atribut terbagi menjadi beberapa jenis yaitu kunci, simpel, multinilai, gabungan, derivatif. Atribut kunci untuk menentukan data unik. Atribut simpel merupakan atribut yang tidak bisa dipecah. Atribut multinilai merupakan atribut yang memiliki beberapa nilai. Atribut gabungan merupakan atribut yang terdiri dari beberapa atribut kecil. Atribut derivatif merupakan atribut yang berasal dari atribut lain.

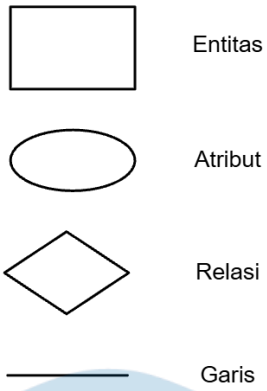
iii Relasi

Relasi yang merupakan koneksi atau hubungan antar entitas dalam basis data yang terbagi menjadi tiga jenis yaitu *One to One, One to many*, dan *many to many*.

iv Garis

Garis merupakan komponen penghubung relasi, entitas, dan atribut.

Berikut merupakan simbol-simbol komponen ERD menurut Gunawan et al. (2023).



Gambar 2.12 Simbol komponen ERD

f *Database*

Database atau basis data merupakan kumpulan data yang saling terhubung secara logis dan memiliki makna tersirat dan bukan sekedar kumpulan data acak (Elmasri dan Navathe, 2016). Sistem basis data membantu meminimalisir masalah pengelolaan data, seperti penyimpanan data ganda, kesulitan akses data antar sistem, dan ketidaksesuaian salinan data (Rainer et al., 2023). Bahasa basis data merupakan sekumpulan bahasa yang dipakai untuk mengelola, mengatur, dan mengambil data dalam sebuah basis data. Secara umum, bahasa ini terdiri dari empat jenis utama yaitu DDL, DML, DCL, DQL. DDL yang berfungsi mengatur struktur *database* seperti membuat atau mengubah tabel. DML yang dipakai untuk mengolah isi data seperti menambah, memperbarui, atau menghapus data. DCL yang bertugas mengatur hak akses pengguna melalui pemberian maupun pencabutan izin. DQL yang digunakan untuk melakukan pencarian dan penarikan informasi dari *database* (Gunawan et al., 2023).

Database Management System (DBMS) adalah *software* yang mengelola *database* dan menyediakan *interface* untuk *users* dan *applications* untuk melakukan operasi CRUD (*Create, Read, Update, Delete*) pada data, sambil memastikan data *integrity, security*, dan *concurrency control* (Coronel & Morris, 2023). DBMS menyediakan berbagai fungsi penting yang mendukung pengelolaan basis data, termasuk pembuatan, perubahan, hingga penghapusan *database*. Salah satu sistem *database* yang banyak digunakan adalah MySQL. MySQL merupakan salah satu sistem manajemen basis data yang banyak digunakan karena bersifat *open source* dan mudah diintegrasikan dengan aplikasi web. Pada alur kerjanya, data yang di*input* melalui formulir HTML akan diproses terlebih dahulu oleh skrip PHP sebelum diteruskan untuk disimpan dalam *database* MySQL.

g Metode Agile

Pendekatan *Agile* menggambarkan sebuah cara kerja dalam manajemen proyek yang berorientasi pada pemberian manfaat bagi bisnis sejak tahap awal. Metode *Agile* menekankan penyempurnaan terus-menerus, baik pada produk yang dikembangkan maupun proses yang digunakan. *Agile* juga mengutamakan fleksibilitas dalam menyesuaikan ruang lingkup, mendorong kontribusi tim secara aktif, dan memastikan hasil akhir telah diuji sehingga sesuai dengan kebutuhan konsumen (Layton et al., 2020). Menurut Kendall dan Kendall (2020), metode *Agile* merupakan pendekatan pengembangan perangkat lunak yang fokus dalam nilai komunikasi, kesederhanaan, umpan balik, dan keberanian. Metode *Agile* bersifat interaktif dan inkremental melalui lima tahapan yaitu *exploration, planning, iterations to first release, productionizing, dan maintenance*. Berikut merupakan penjelasan setiap tahap metode agile.

Pendekatan *Agile* menggambarkan sebuah cara kerja dalam manajemen proyek yang berorientasi pada pemberian manfaat bagi bisnis sejak tahap awal. Metode *Agile* menekankan penyempurnaan terus-menerus, baik pada produk yang dikembangkan maupun proses yang digunakan. *Agile* juga mengutamakan fleksibilitas dalam menyesuaikan ruang lingkup, mendorong kontribusi tim secara aktif, dan memastikan hasil akhir telah diuji sehingga sesuai dengan kebutuhan konsumen (Layton et al., 2020). Menurut Kendall dan Kendall (2020), metode *Agile* merupakan pendekatan pengembangan perangkat lunak yang fokus dalam nilai komunikasi, kesederhanaan, umpan balik, dan keberanian. Metode *Agile* bersifat interaktif dan inkremental melalui lima tahapan yaitu *exploration, planning, iterations to first release, productionizing, dan maintenance*. Berikut merupakan penjelasan setiap tahap metode agile.

i *Exploration*

Tahap *exploration* merupakan tahap pertama dalam metode *Agile* untuk mengenali kebutuhan sehingga dapat memahami masalah dan mampu mengestimasi waktu sebelum mulai perancangan sistem.

ii *Planning*

Tahap *planning* merupakan tahap untuk menentukan prioritas fitur. Proses yang dilakukan cepat karena hanya memilih user stories yang paling penting untuk dikerjakan terlebih dahulu.

iii *Iteration to the first release*

Tahap iterasi merupakan tahap siklus pendek untuk membangun, mengetes, dan memperbaiki fitur secara bertahap.

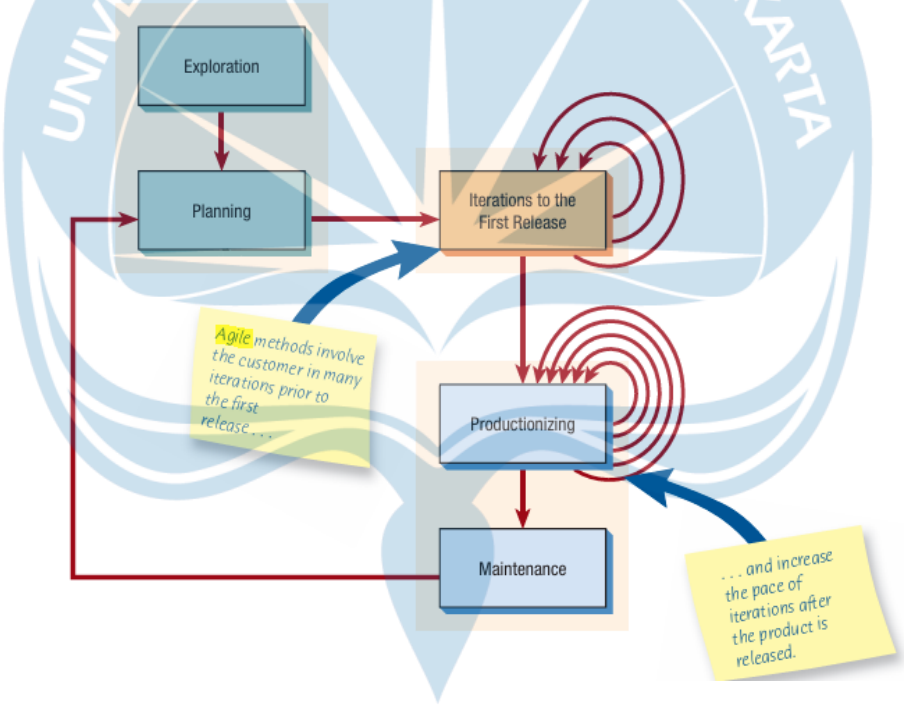
iv *Productionizing*

Tahap *productionizing* merupakan fase saat sistem mulai dirilis, lalu diperbaiki dan disempurnakan melalui tambahan fitur dengan siklus *feedback* yang lebih cepat.

v *Maintenance*

Tahap *maintenance* atau pemeliharaan merupakan tahap untuk menjaga sistem tetap berjalan stabil setelah dirilis. Pada fase ini bisa ditambah fitur baru, memperbaiki masalah, dan melakukan perubahan kecil, tetapi pendekatannya lebih hati-hati dibanding tahap sebelumnya.

Tahap-tahap metode *Agile* tersebut selalu melibatkan *loop* umpan balik dan pengujian berulang, sehingga sistem terus berkembang secara bertahap. Gambar 2.13. merupakan tahapan metode agile.



Gambar 2.13 Tahap pemodelan *Agile* (Kendall dan Kendall, 2020)

2.2.1.3 Ergonomika

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah Ergonomika.

a *Display User Interface* (UI)

Tampilan antarmuka pengguna atau *user interface* (UI) berperan sebagai titik sentral interaksi antara pengguna dan sistem informasi, yang sangat menentukan seberapa efektif informasi disampaikan serta kemudahan pengguna dalam mencapai tujuannya.

Perancangan UI yang baik harus memperhatikan prinsip-prinsip interaksi manusia-komputer (*Human-Computer Interaction*/HCI) agar antarmuka menjadi intuitif dan efisien untuk digunakan (Shneiderman et al., 2017). Tampilan antarmuka yang mampu *menampilkan* informasi secara jelas dan mudah dipahami pengguna memerlukan perhatian pada beberapa aspek utama yaitu ukuran huruf dan komposisi warna.

i Ukuran font

Kroemer dan Grandjean (1997) menjelaskan bahwa mengetahui jarak pandang antara mata dan teks memungkinkan penentuan ukuran huruf yang sesuai agar mudah dibaca dan nyaman bagi pengguna.



Gambar 2.14 Rekomendasi proporsi huruf (Kroemer dan Grandjean, 1997)

Berdasarkan Gambar 2.14. ukuran tinggi serta ketebalan huruf, baik untuk huruf kapital maupun huruf kecil, dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.1 hingga Persamaan 2.4 berikut.

$$Tinggi\ huruf\ besar\ (H) = \frac{Jarak\ Visual\ (mm)}{200} \quad (2.1)$$

$$Tebal\ huruf\ besar = \frac{H}{6} \quad (2.2)$$

$$Tinggi\ huruf\ kecil\ (h) = \frac{2H}{3} \quad (2.3)$$

$$Tebal\ huruf\ kecil = \frac{h}{6} \quad (2.4)$$

Keterangan:

H = Tinggi huruf besar (mm)

h = Tinggi huruf kecil (mm)

ii Komposisi warna

Menurut Woodson dan Conover (1973), terdapat legibilitas warna dengan kriteria sangat bagus, bagus, sedang, buruk, dan sangat buruk berdasarkan kombinasi karakter huruf dan *background*. Klasifikasi legibilitas warna dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut.

Tabel 2.4 Legibilitas kombinasi warna

Legibilitas	Kombinasi warna	
	Karakter	Latar Belakang
Sangat Bagus	Hitam	Putih
	Hitam	Kuning
Bagus	Kuning	Hitam
	Putih	Hitam
	Biru Gelap	Putih
	Hijau	Putih
Sedang	Merah	Putih
	Merah	Kuning
Buruk	Hijau	Merah
	Merah	Hijau
	Oranye	Hitam
	Oranye	Putih
Sangat buruk	Hitam	Biru
	Kuning	Putih

2.2.2 Perancangan sistem penugasan operator dan *skill monitoring*

Perancangan sistem penugasan operator dan *skill monitoring* didasarkan sejumlah teori dari berbagai mata kuliah seperti teori penilaian kemampuan kinerja operator yang merujuk pada mata kuliah Perancangan dan Manajemen Organisasi Industri (STIN42502), teori penugasan operator menggunakan metode Hungarian dan *Linear Programming* yang merujuk pada mata kuliah Riset Operasi 2 (STIN35503), teori mengenai Sistem informasi, *Database*, *Data Flow Diagram*, *Entity Relation Diagram,* dan metode *prototype* yang merujuk pada mata kuliah Proses Bisnis dan Sistem Informasi (STIN40502), teori mengenai proses mendapatkan, mengolah, dan memvisualisasikan data pada mata kuliah Statistika Deskriptif (STIN21302), teori mengenai uji statistik menggunakan standar deviasi data yang merujuk pada mata kuliah Statistika Inferensial (STIN31403), serta teori mengenai *display* merujuk pada mata kuliah Ergonomika (STIN17302).

2.2.2.1 Perancangan dan Manajemen Organisasi Industri

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah ini.

a Pengukuran *skill*

Pengukuran *skill* merupakan proses untuk menilai kemampuan seseorang dalam menjalankan tugas atau pekerjaan tertentu secara efektif dan efisien. Pengukuran *skill*

penting dilakukan karena menjadi dasar untuk penugasan pekerjaan, perencanaan pelatihan, dan *monitoring* kinerja operator.

i *Monitoring*

Monitoring adalah proses mengamati, memeriksa, dan menilai suatu aktivitas atau proses secara sistematis untuk memastikan bahwa kegiatan tersebut berjalan sesuai rencana, standar, atau tujuan yang telah ditetapkan. Proses ini sangat penting dalam manajemen sumber daya manusia maupun operasional karena memungkinkan organisasi untuk mengidentifikasi penyimpangan, mengambil tindakan korektif, dan meningkatkan efisiensi kerja (Armstrong dan Taylor, 2020).

Selain itu, Armstrong dan Taylor (2020) menekankan bahwa *monitoring* berperan sebagai alat pengendalian dan perbaikan berkelanjutan. *Monitoring* dalam konteks organisasi dapat diterapkan pada berbagai aspek, mulai dari kinerja individu, proses produksi, hingga kualitas layanan. Penggunaan sistem *monitoring* yang efektif membuat manajer dapat mengidentifikasi kesalahan, keterlambatan, atau ketidaksesuaian lebih cepat, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan sebelum masalah menjadi besar. Proses *monitoring* biasanya melibatkan beberapa tahap, yaitu perencanaan indikator yang akan dipantau, pengumpulan data secara sistematis, analisis data untuk mengetahui penyimpangan atau tren, dan pengambilan tindakan berdasarkan hasil analisis.

Monitoring yang akan diterapkan dalam sistem termasuk ke dalam jenis *continuous monitoring*. *Continuous monitoring* merupakan bentuk pemantauan berkelanjutan yang dilakukan secara rutin dan terintegrasi dalam proses kerja sehari-hari. Armstrong dan Taylor (2020) menjelaskan bahwa pendekatan ini penting untuk memastikan bahwa perubahan kondisi di lapangan dapat terdeteksi sejak dini, sehingga organisasi mampu merespons dengan cepat. Dalam konteks operasional, *continuous monitoring* tidak hanya mengamati hasil akhir, tetapi juga memperhatikan proses yang terjadi di setiap tahapan aktivitas sehingga memungkinkan identifikasi pola masalah, penurunan performa, atau perubahan kemampuan pekerja.

Pemantauan berkelanjutan juga membantu organisasi menjaga konsistensi kinerja dari waktu ke waktu. Valentine et al. (2020) menyatakan bahwa *monitoring* yang dilakukan secara periodik dan terstruktur dapat meningkatkan akurasi evaluasi karyawan, sekaligus memberikan dasar yang lebih kuat untuk pengambilan keputusan. Pada praktiknya, *continuous monitoring* biasanya melibatkan mekanisme rutin seperti observasi langsung, review catatan performa, atau pengukuran indikator kerja tertentu

pada interval waktu yang tetap. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap perubahan signifikan dalam kemampuan atau hasil kerja dapat segera tercatat dan dianalisis.

ii *Skill*

Skill adalah kemampuan seseorang untuk melakukan suatu pekerjaan melalui latihan, pengalaman, dan pemahaman terhadap tugas yang dijalankan. *Skill* dapat berbentuk kemampuan teknis seperti mengoperasikan mesin, menggunakan alat ukur, atau memproses bahan, dan juga kemampuan non teknis seperti komunikasi, ketelitian, atau kedisiplinan. Kuruba (2019) menekankan bahwa *skill* merupakan unsur utama dalam kompetensi karena menunjukkan kemampuan nyata yang bisa diamati di lapangan, bukan hanya teori. Untuk itu, *skill* harus memiliki indikator terukur seperti kecepatan kerja, ketepatan hasil, atau tingkat kemandirian saat menjalankan tugas (Kuruba, 2019).

Skill juga dianggap sebagai fondasi dalam penempatan kerja dan pengembangan karyawan. Armstrong dan Taylor (2020) menjelaskan bahwa *skill* menjadi dasar dalam menilai kinerja serta menentukan kebutuhan pelatihan, karena *skill* menunjukkan sejauh mana seseorang mampu memenuhi standar pekerjaan. Hal serupa juga disebutkan oleh Dessler (2020) bahwa *skill* merupakan bagian penting dari *job requirements* sehingga perusahaan dapat memastikan bahwa pekerja ditempatkan pada tugas yang sesuai dengan kemampuan mereka. Pemahaman *skill* yang jelas dan terukur membuat organisasi dapat melakukan manajemen tenaga kerja secara lebih objektif, termasuk dalam penugasan, evaluasi, maupun peningkatan kompetensi.

Skill juga memiliki sifat dinamis, artinya tingkat kemampuan seseorang dapat meningkat atau menurun seiring frekuensi penggunaan, perubahan teknologi, atau adanya pelatihan. Menurut Noe (2010), *skill* akan berkembang optimal apabila individu mendapatkan kesempatan belajar yang konsisten, umpan balik yang jelas, dan lingkungan kerja yang mendukung. Di sisi lain, *skill* yang jarang digunakan dapat mengalami *skill decay* atau penurunan kemampuan, sehingga organisasi perlu menerapkan evaluasi berkala untuk memastikan bahwa kompetensi operator tetap sesuai kebutuhan proses. Pemantauan *skill* secara berkelanjutan menjadi penting terutama pada industri yang memiliki standar kualitas dan keselamatan tinggi. *Skill* dibedakan menjadi dua kategori, yaitu *soft skill* dan *technical skill*.

a) *Soft skill*

Soft *skill* adalah kemampuan seseorang yang berhubungan dengan cara bekerja sama dengan orang lain dan menyelesaikan masalah. Contohnya termasuk komunikasi, kerja sama tim, kepemimpinan, dan pengambilan keputusan (Noe, 2010). Walaupun *soft skill* tidak mudah diukur dengan angka, kemampuan ini sangat penting karena memengaruhi

bagaimana seseorang menyesuaikan diri dengan tugas, berinteraksi dengan rekan kerja, dan menghadapi situasi sulit di tempat kerja. *Soft skill* yang baik membuat produktivitas dan kualitas kerja bisa meningkat, karena orang bisa bekerja lebih efektif dalam tim dan mengurangi kesalahan.

b) *Technical skill*

Technical skill adalah kemampuan khusus yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan tertentu dengan benar dan efisien. Contohnya termasuk mengoperasikan mesin, menggunakan alat, membaca dokumen teknis, atau mengikuti prosedur kerja (Noe, 2010). Keterampilan ini biasanya dapat diukur dengan jelas melalui pengamatan, tes, atau evaluasi kinerja. *Technical skill* penting karena menentukan seberapa efektif seorang operator dapat melakukan tugasnya, sehingga menjadi dasar dalam penugasan yang sesuai dengan kemampuan masing-masing orang.

iii *Skill matrix*

Skill matrix merupakan alat yang digunakan untuk memetakan keterampilan dan kemampuan individu dalam suatu organisasi secara terstruktur. Matriks ini *menampilkan* daftar keterampilan yang dibutuhkan untuk menjalankan suatu pekerjaan, kemudian mencocokkannya dengan tingkat kompetensi yang dimiliki oleh masing-masing operator. Melalui pemetaan ini, perusahaan dapat melihat seberapa jauh kesesuaian antara kebutuhan kompetensi dan kemampuan aktual di lapangan. *Skill matrix* umum digunakan dalam manajemen sumber daya manusia, terutama untuk pengambilan keputusan terkait penugasan, pelatihan, dan pengembangan kompetensi. Berikut ini merupakan contoh dari pemetaan *skill*.

Level 6	6	6	6	6	6
Level 5	5	5	5	5	5
Level 4	4	4	4	4	4
Level 3	3	3	3	3	3
Level 2	2	2	2	2	2
Level 1	1	1	1	1	1
	Technical Expertise/Skills	Decision-Making and Problem Solving Skills	Interpersonal Skills	Leadership Skills	Commercial Awareness Skills

Gambar 2.15 Pemetaan *skill matrix* (Dessler, 2020)

Skill matrix biasanya dilengkapi dengan *proficiency level* atau tingkat kemahiran yang menggambarkan kemampuan operator untuk setiap keterampilan yang dinilai. *Level* tersebut dapat berupa skala 1 hingga 5 atau 1 hingga 6, di mana angka terkecil menunjukkan tingkat dasar dan angka terbesar menunjukkan penguasaan atau keahlian

tingkat tinggi. Pembagian level ini membantu organisasi menentukan apakah seorang operator mampu bekerja secara mandiri, memerlukan supervisi, atau dapat dipercaya menangani pekerjaan yang kompleks. Semakin tinggi level yang dicapai operator, semakin besar tanggung jawab dan jenis pekerjaan yang dapat diberikan. Oleh karena itu, *proficiency level* menjadi indikator objektif dalam menilai kecocokan operator terhadap suatu tugas.

b *Job analysis*

Job analysis menurut Dessler (2020) adalah prosedur untuk mengetahui secara jelas apa saja pekerjaan yang dilakukan seseorang dan keterampilan apa yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan tersebut. Proses ini membantu perusahaan memahami tugas secara mendalam sehingga tidak terjadi kebingungan mengenai tanggung jawab setiap posisi. Dalam kegiatan *job analysis*, perusahaan mengidentifikasi tugas utama, langkah kerja, alat yang digunakan, serta standar yang harus dipenuhi oleh pekerja. Informasi tersebut juga menjadi dasar untuk menentukan kemampuan minimal yang harus dimiliki seseorang agar dapat menjalankan pekerjaannya dengan baik. *Job analysis* memastikan bahwa perusahaan memahami pekerjaan dan kebutuhan kompetensinya secara menyeluruh (Dessler, 2020).

Selain menjelaskan isi pekerjaan, job analysis menghasilkan dua dokumen penting, yaitu *job description* dan *job specification* (Dessler, 2020). *Job description* berisi rangkuman mengenai tugas, tanggung jawab, dan ruang lingkup pekerjaan, sedangkan *job specification* berisi persyaratan yang harus dipenuhi oleh orang yang akan menduduki posisi tersebut. Kedua dokumen ini memudahkan perusahaan memilih operator yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan teknis maupun non-teknis. Dokumen ini membuat proses rekrutmen, penempatan, serta evaluasi kinerja dapat dilakukan lebih objektif. Hal ini membantu perusahaan menghindari kesalahan penugasan yang dapat menurunkan produktivitas.

2.2.2.2 Riset Operasi 2

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah ini.

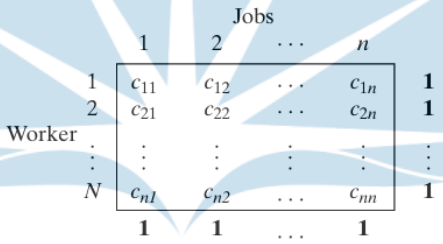
a Penugasan operator

Penugasan operator merupakan kegiatan mengalokasikan tenaga kerja ke mesin atau stasiun kerja tertentu berdasarkan kemampuan, kebutuhan proses, dan batasan operasional yang berlaku. Dalam literatur, Taha (2017) membedakan dua metode utama dalam menyelesaikan masalah penugasan, yaitu metode heuristik dan metode optimasi. Metode heuristik adalah pendekatan berbasis aturan praktis (*rules of thumb*) yang digunakan untuk memperoleh solusi secara cepat tanpa menjamin bahwa hasilnya

merupakan solusi optimal. Pendekatan ini biasa diterapkan pada situasi operasional yang berubah-ubah, ketika waktu perhitungan terbatas, atau ketika struktur masalah cukup kompleks sehingga penyelesaian matematis sulit dilakukan secara langsung. Penugasan operator pada perancangan sistem ini menggunakan dua metode, yaitu Metode Hungarian dan Metode *Linear Programming*.

i Metode Hungarian

Salah satu metode optimasi yang banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah penugasan adalah metode Hungarian. Metode Hungarian merupakan metode yang digunakan untuk menentukan pasangan pekerja dan pekerjaan sehingga diperoleh biaya paling kecil atau hasil yang paling optimal. Metode ini dilakukan dengan mengolah matriks biaya melalui beberapa langkah, seperti mengurangi nilai minimum pada setiap baris dan kolom hingga terbentuk nilai nol. Nilai nol tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan penugasan yang memenuhi syarat bahwa setiap pekerja hanya mengerjakan satu pekerjaan dan setiap pekerjaan hanya dikerjakan oleh satu pekerja (Taha, 2017). Berikut ini merupakan contoh model Hungarian.



Gambar 2.16 Contoh model Hungarian (Taha, 2017)

Gambar tersebut menunjukkan bentuk umum model penugasan (*assignment* model) dalam bentuk matriks. Baris pada matriks mewakili pekerja (*worker*), sedangkan kolom mewakili pekerjaan (*jobs*). Setiap elemen pada matriks, yang dilambangkan dengan c_{ij}, menunjukkan biaya atau nilai yang terjadi apabila pekerja ke-i mengerjakan pekerjaan ke-j. Pada model ini, setiap pekerja hanya dapat ditugaskan pada satu pekerjaan dan setiap pekerjaan hanya dapat dikerjakan oleh satu pekerja. Oleh karena itu, jumlah penugasan pada setiap baris dan setiap kolom bernilai satu. Model matriks ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam penerapan metode Hungarian untuk menentukan kombinasi penugasan yang menghasilkan biaya paling optimal (Taha, 2017).

Penyelesaian masalah penugasan dengan metode Hungarian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Reduksi baris (*row reduction*)

Tahap pertama adalah melakukan reduksi baris, yaitu setiap elemen pada suatu baris dikurangi dengan nilai terkecil yang terdapat pada baris tersebut.

2. Reduksi kolom (*column reduction*)

Setelah reduksi baris dilakukan, tahap berikutnya adalah reduksi kolom. Pada tahap ini, setiap elemen pada suatu kolom dikurangi dengan nilai terkecil yang terdapat pada kolom tersebut.

3. Penentuan penugasan dari elemen nol

Matriks hasil reduksi kemudian digunakan untuk menentukan kemungkinan penugasan berdasarkan elemen yang bernilai nol, dengan ketentuan bahwa setiap baris dan setiap kolom hanya dipilih satu kali.

4. Penutupan elemen nol dengan jumlah garis minimum

Apabila penugasan belum dapat dilakukan secara lengkap, maka seluruh elemen nol pada matriks ditutup menggunakan garis horizontal dan vertikal dengan jumlah seminimum mungkin.

5. Penyesuaian matriks

Nilai terkecil yang tidak tertutup garis kemudian digunakan untuk melakukan penyesuaian pada matriks, yaitu dengan mengurangkan nilai tersebut dari elemen yang tidak tertutup garis dan menambahkannya pada elemen yang berada pada perpotongan garis.

6. Pengulangan proses

Tahapan penentuan penugasan diulangi hingga diperoleh kombinasi penugasan yang memenuhi seluruh baris dan kolom sehingga menghasilkan solusi optimal (Taha, 2017).

ii Metode *Linear Programming*

Metode *Linear Programming* merupakan metode optimasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah pengambilan keputusan yang melibatkan variabel diskrit, khususnya ketika keputusan hanya dapat direpresentasikan dalam bentuk bilangan bulat. Menurut Taha (2017), *Linear Programming* juga sangat sesuai untuk masalah penugasan karena variabel keputusannya dapat dinyatakan dalam nilai biner, yaitu 1 apabila suatu penugasan dipilih dan 0 apabila tidak dipilih. Struktur tersebut memungkinkan *Linear Programming* memodelkan keputusan “menugaskan atau tidak menugaskan” secara logis dan sistematis.

Secara umum, model *Linear Programming* dapat dinyatakan sebagai berikut.

1. Fungsi tujuan

Berikut ini merupakan persamaan fungsi tujuan yang digunakan.

$$Max/Min\ Z : c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \quad (2.5)$$

2. Kendala

Berikut ini merupakan persamaan kendala yang digunakan.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (2.6)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22x2} + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \ldots, x_n \geq 0$$

Keterangan:

Z = nilai fungsi tujuan yang akan dimaksimalkan atau diminimalkan

$x_1, x_2, \ldots, x_n$ = variabel keputusan

$c_1, c_2, \ldots, c_n$ = nilai atau bobot dari masing-masing variabel keputusan terhadap fungsi tujuan

a_{ij} = nilai yang menunjukkan pengaruh variabel ke-j terhadap kendala ke-i

$b_1, b_2, \ldots, b_n$ = batas atau kapasitas dari masing-masing kendala

m = jumlah kendala

n = jumlah variabel keputusan

Pada beberapa kasus, terutama yang berkaitan dengan keputusan ya atau tidak, variabel keputusan dapat dinyatakan dalam bentuk 0 dan 1 (biner). Nilai 1 menunjukkan bahwa suatu keputusan dipilih, sedangkan 0 menunjukkan tidak dipilih. Model seperti ini dikenal sebagai Integer *Linear Programming* (ILP), di mana hasil yang diperoleh berupa bilangan bulat.

Metode *Linear Programming* banyak digunakan dalam berbagai permasalahan, seperti perencanaan produksi, pembagian sumber daya, penjadwalan, dan penugasan. Metode ini mampu memberikan solusi yang optimal karena menggunakan perhitungan matematis yang jelas dan terstruktur.

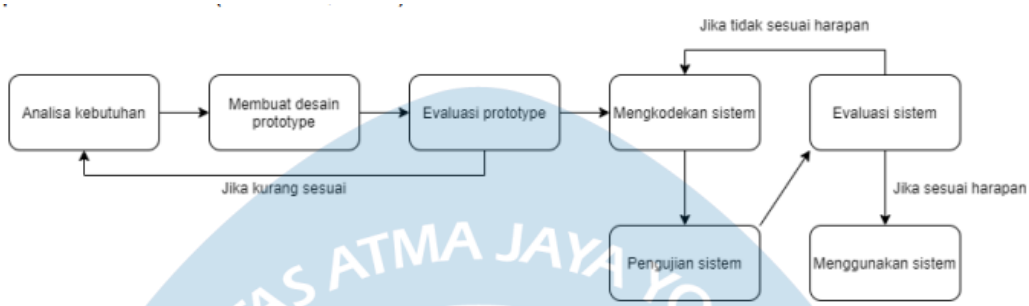
2.2.2.3 Proses bisnis sistem informasi

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah ini.

a Metode *prototype*

Metode *prototype* merupakan metode pendekatan pengembangan sistem yang dilakukan secara bertahap, di mana sistem dibangun dalam bentuk model awal

kemudian dievaluasi bersama pengguna hingga sistem benar-benar sesuai dengan kebutuhan (Setiawan, 2021). Kelebihan metode ini adalah pengguna dapat melihat dan mencoba sistem lebih awal sebelum sistem selesai sepenuhnya, sehingga apabila terdapat ketidaksesuaian dapat segera diperbaiki tanpa harus mengulang dari awal. Berikut ini merupakan tahapan metode *prototype* yang dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2.17 Metode *prototype* (Setiawan, 2021)

Metode *prototype* dipilih karena memungkinkan penggunanya untuk melihat dan mengevaluasi sistem secara langsung sebelum sistem sepenuhnya dikembangkan, sehingga mengurangi risiko ketidaksesuaian antara sistem yang dibangun dengan kebutuhan pengguna. Selain itu, metode ini cocok digunakan ketika kebutuhan sistem belum sepenuhnya dipahami di awal pengembangan. Tahapan metode *prototype* menurut Setiawan (2021) adalah sebagai berikut.

i Pengumpulan kebutuhan

Pengumpulan kebutuhan merupakan tahap awal untuk mengetahui kebutuhan sistem secara menyeluruh. Tahap ini berfokus pada identifikasi permasalahan serta penentuan fitur yang dibutuhkan. Proses pengumpulan kebutuhan dilakukan melalui observasi, wawancara dan analisis terhadap sistem yang sedang berjalan.

ii Membuat desain *prototype*

Pembuatan desain *prototype* merupakan tahap pembuatan gambaran awal sistem berdasarkan kebutuhan yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya. *Prototype* berisi rancangan tampilan, alur proses, dan fitur utama, sehingga dapat memberikan gambaran awal sistem secara jelas.

iii Evaluasi *prototype*

Evaluasi *prototype* merupakan tahap penilaian terhadap rancangan *prototype* yang telah dibuat pada tahapan sebelumnya. Tahap ini bertujuan untuk melihat kesesuaian antara sistem dengan kebutuhan. Jika masih terdapat kekurangan, maka dapat dilakukan perbaikan hingga sesuai.

iv Mengkodekan sistem

Mengkodekan sistem merupakan tahap penerapan *prototype* menjadi sistem yang dapat dijalankan. Pada perancangan sistem penugasan ini, sistem dibuat menggunakan VBA pada Microsoft Excel.

v Pengujian sistem

Pengujian sistem merupakan tahap untuk memastikan bahwa sistem sudah berjalan sesuai dengan kebutuhan. Pengujian mencakup seluruh bagian sistem agar kesalahan dapat ditemukan lebih awal.

vi Evaluasi sistem

Evaluasi sistem merupakan tahap akhir dalam metode *prototype* yang bertujuan untuk menilai kesesuaian antara sistem dengan kebutuhan. Jika sistem sudah berjalan dengan baik, maka sistem siap untuk digunakan. Jika masih terdapat kekurangan, maka dilakukan perbaikan hingga sesuai.

2.2.2.4 Statistika Deskriptif

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah ini.

a Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang relevan dan akurat sebagai dasar dalam memahami kondisi nyata di lapangan. Data yang dikumpulkan berfungsi sebagai dasar analisis sehingga setiap keputusan ataupun rekomendasi yang diambil dapat dipertanggungjawabkan. Pengambilan data dapat dilakukan dengan berbagai cara. Berikut ini merupakan beberapa contoh pengambilan data.

i Kuesioner

Kuesioner merupakan salah satu metode pengumpulan data yang banyak digunakan dalam penelitian dan manajemen sumber daya manusia karena efisien, terstruktur, dan memungkinkan pengumpulan informasi dari banyak responden secara sistematis (Sekaran dan Bougie, 2010). Secara umum, kuesioner terdiri dari sekumpulan pertanyaan tertulis yang dirancang untuk mengumpulkan data mengenai sikap, pengetahuan, keterampilan, pengalaman, atau perilaku responden. Kuesioner memungkinkan peneliti atau manajer untuk memperoleh data yang terukur dan dapat dianalisis secara kuantitatif maupun kualitatif, sehingga mempermudah pengambilan keputusan berbasis data.

Kuesioner digunakan untuk menilai kompetensi, penguasaan teknik, maupun kemampuan kognitif dan perilaku operator dalam menjalankan tugas tertentu. Pertanyaan dapat berbentuk pilihan ganda, skala *Likert*, *checklist*, atau pertanyaan terbuka, tergantung pada jenis *skill* yang diukur. Data dari kuesioner *skill* ini dapat

digunakan untuk mendeteksi gap *skill*, merancang penugasan berbasis kemampuan, serta menentukan program pelatihan yang diperlukan (Noe, 2010).

ii Metode wawancara

Metode wawancara adalah cara pengambilan data melalui percakapan langsung antara perancang dan responden untuk mendapatkan informasi yang lebih jelas dan mendalam. Teknik ini membantu perancang memahami alasan, pengalaman, dan pandangan responden yang mungkin tidak muncul dari kuesioner. Wawancara dapat dilakukan secara terstruktur, semi-terstruktur, atau bebas, tergantung kebutuhan penelitian. Perancang dapat mengajukan pertanyaan lanjutan sehingga data yang diperoleh lebih detail dan sesuai kondisi lapangan.

Wawancara digunakan untuk menggali kompetensi, pemahaman prosedur, serta kendala yang mereka hadapi saat bekerja. Proses ini memungkinkan perancang menilai kemampuan operator secara lebih akurat karena jawaban dapat dikonfirmasi langsung. Wawancara juga membantu menemukan informasi yang tidak tertulis tetapi penting bagi perbaikan proses. Oleh karena itu, metode ini sangat berguna untuk melengkapi data kuantitatif dan memperkuat hasil analisis.

iii Pembuatan pertanyaan

Penyusunan pertanyaan wawancara merupakan langkah penting karena pertanyaan yang tepat membantu perancang mendapatkan informasi yang akurat. Setiap pertanyaan perlu dibuat jelas, tidak berbelit, dan sesuai dengan topik yang ingin digali. Fokus pertanyaan diarahkan pada aspek seperti keterampilan teknis, pemahaman prosedur, kebiasaan kerja, atau hambatan yang dialami operator. Pertanyaan yang baik membantu responden menjawab secara jujur dan mudah tanpa merasa terbebani.

Format pertanyaan wawancara umumnya bersifat terbuka sehingga responden dapat menjelaskan pengalaman dan pandangannya secara lebih lengkap. Penyusunan perlu melalui proses review untuk memastikan tidak ada kata yang ambigu atau menimbulkan salah tafsir. Uji coba kecil sering dilakukan agar perancang mengetahui apakah pertanyaannya sudah efektif. Hasil akhir yang diharapkan adalah daftar pertanyaan yang mampu menggali informasi relevan untuk mendukung analisis dan pengambilan keputusan.

b Pengolahan data

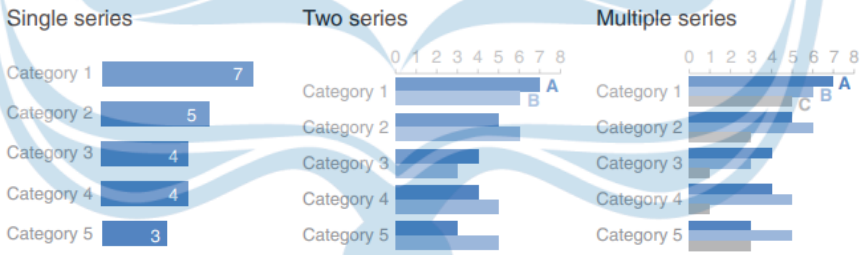
Pengolahan data dilakukan untuk mengubah data mentah menjadi informasi yang lebih mudah dianalisis dan dipahami. Proses ini mencakup pengelompokan, penyederhanaan, dan penyajian data dalam bentuk visual sehingga pola, kecenderungan, serta hubungan antar variabel dapat terlihat dengan lebih jelas. Salah

satu cara yang digunakan dalam pengolahan data adalah menampilkan hasil dalam bentuk grafik. Berikut ini merupakan grafik-grafik yang digunakan.

i *Bar chart*

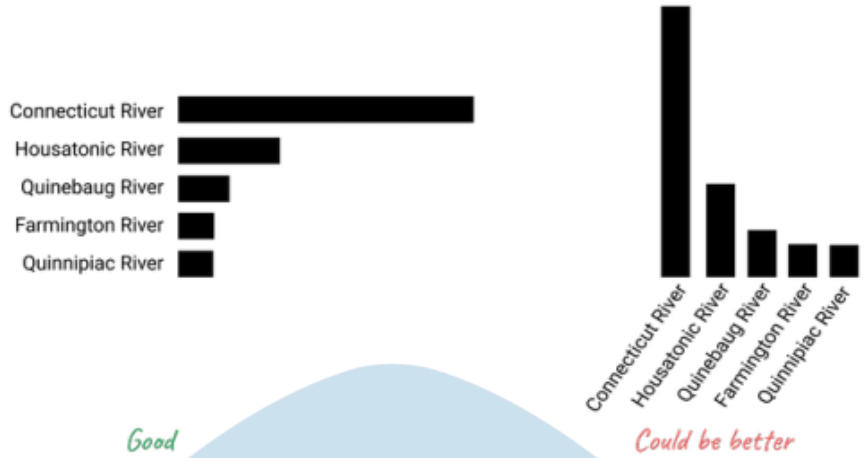
Bar chart merupakan salah satu bentuk visualisasi data yang paling sederhana dan efektif untuk menampilkan perbandingan antar kategori. Menurut Knaflic (2015), grafik batang mempermudah pembaca dalam membedakan nilai karena panjang batang secara langsung merepresentasikan besarnya data. Representasi visual seperti ini membuat *bar chart* menjadi pilihan utama ketika tujuan analisis adalah memperlihatkan perbedaan nilai antar kelompok. Dibandingkan bentuk visual lain yang lebih kompleks, *bar chart* memberikan kejelasan tinggi dan meminimalkan risiko interpretasi yang salah.

Bar chart dapat dibuat dalam bentuk vertikal maupun horizontal. Knaflic (2015) menekankan bahwa batang horizontal sering kali lebih mudah dibaca, terutama ketika jumlah kategori cukup banyak atau ketika nama kategorinya panjang. Jika nama kategori cukup panjang atau jumlahnya banyak, lebih baik menggunakan bentuk horizontal agar tulisan tetap mudah dibaca. Selain itu, data juga sebaiknya diurutkan, misalnya dari nilai terbesar ke terkecil, supaya lebih mudah dibandingkan. Jika menggunakan bentuk vertikal pada kondisi tersebut, biasanya tulisan akan miring dan jadi sulit dibaca. Berikut ini merupakan penggambaran dari horizontal *bar chart*.



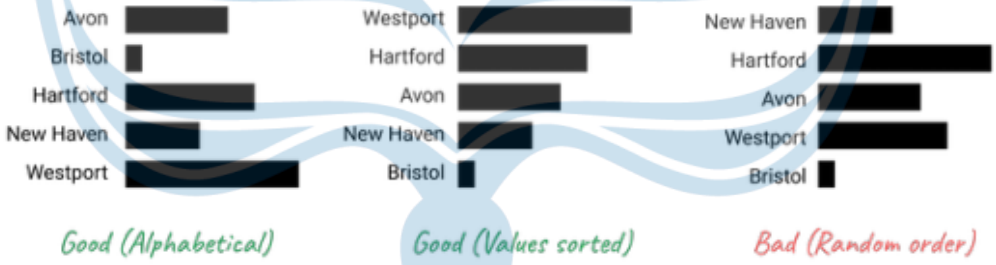
Gambar 2.18 Contoh horizontal *bar chart* (Knaflic, 2022)

Gambar kedua menunjukkan perbandingan antara penggunaan *bar chart* horizontal dan vertikal dalam penyajian data. Terlihat bahwa bentuk horizontal lebih mudah dibaca karena label kategori tetap sejajar dan jelas, sedangkan pada bentuk vertikal label menjadi miring sehingga kurang nyaman dibaca. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pemilihan bentuk grafik berpengaruh terhadap kejelasan informasi yang disampaikan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.19 Perbandingan *bar chart* vertikal dan horizontal (Dougherty dan Ilyankou, 2021)

Dalam membuat *bar chart*, urutan data juga perlu diperhatikan karena memengaruhi kemudahan dalam membaca grafik. Data bisa disusun berdasarkan nilai, misalnya dari yang terbesar ke yang terkecil, sehingga perbandingan antar kategori lebih jelas. Jika data disusun tanpa urutan yang jelas, maka grafik akan lebih sulit dipahami karena tidak menunjukkan pola tertentu. Perbandingan urutan data pada *bar chart* dapat dilihat pada Gambar 2.20 di bawah ini.

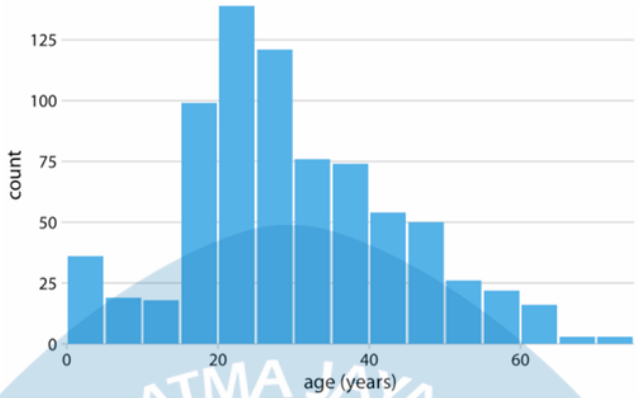


Gambar 2.20 Perbandingan urutan data pada *bar chart* (Dougherty dan Ilyankou, 2021)

ii Histogram

Histogram adalah grafik yang digunakan untuk menunjukkan bagaimana data tersebar dalam suatu rentang nilai. Grafik ini bekerja dengan membagi data ke dalam beberapa interval yang disebut bins, kemudian menghitung jumlah data yang berada pada setiap interval tersebut. Menurut Wilke (2019), histogram memberikan gambaran awal mengenai pola penyebaran data, seperti apakah data terkonsentrasi pada nilai tertentu atau menyebar secara luas. Visualisasi ini membantu memahami karakteristik umum

suatu data tanpa memerlukan perhitungan statistik yang kompleks. Berikut ini merupakan contoh penggambaran dari histogram.

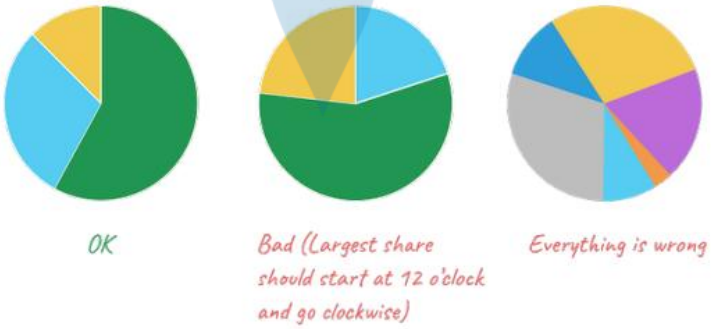


Gambar 2.21 Contoh histogram (Wilke, 2019)

iii *Pie chart*

Pie chart merupakan grafik yang digunakan untuk menunjukkan perbandingan bagian terhadap keseluruhan. Data ditampilkan dalam bentuk lingkaran yang dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan proporsi masing-masing kategori. Grafik ini biasanya digunakan untuk melihat komposisi data dalam satu waktu. Namun, pie chart lebih cocok digunakan jika jumlah kategori tidak terlalu banyak dan perbedaannya cukup jelas, agar mudah dibaca dan dipahami.

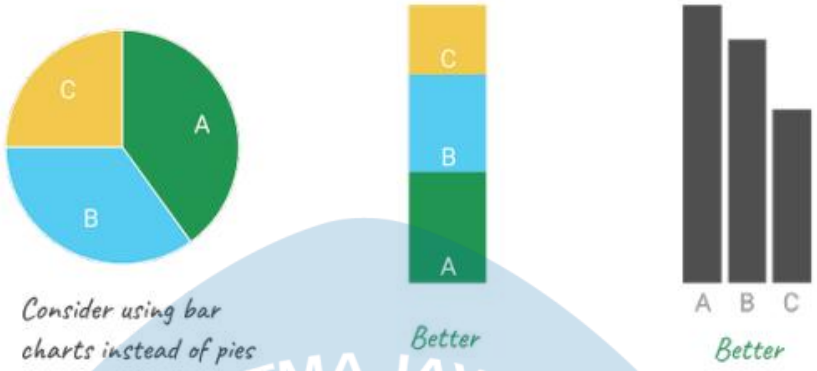
Dalam penggunaannya, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan agar *pie chart* tetap mudah dipahami. Bagian terbesar sebaiknya diletakkan pada posisi awal (atas) dan diurutkan searah jarum jam agar alurnya jelas. Berikut ini merupakan contoh penggunaan *pie chart* yang dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Contoh penggunaan *pie chart* (Dougherty dan Ilyankou, 2021)

Pada kondisi tertentu, penggunaan grafik lain seperti bar chart dapat memberikan tampilan yang lebih jelas dan mudah dibandingkan. Hal ini karena perbandingan nilai

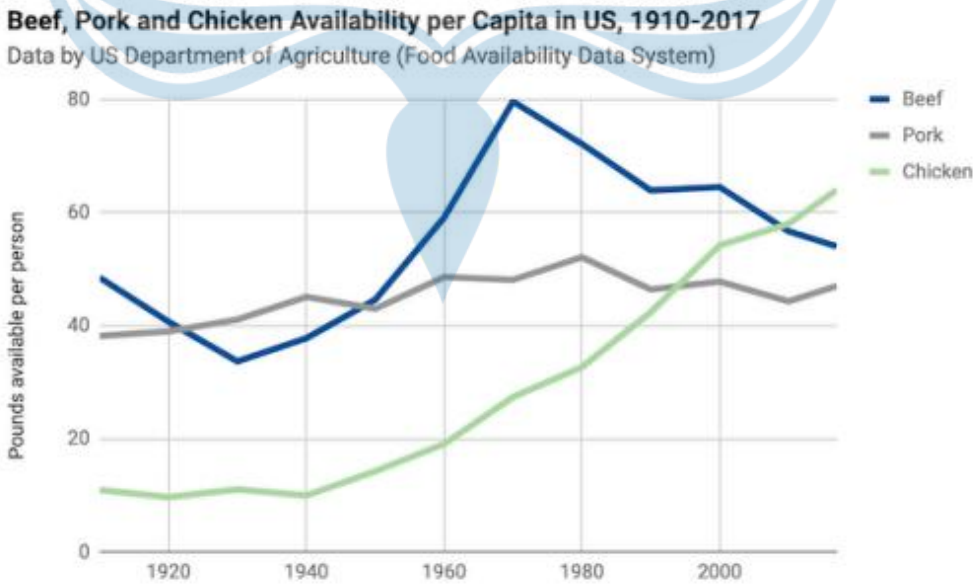
antar kategori lebih mudah dilihat dalam bentuk batang dibandingkan potongan lingkaran. Berikut ini merupakan contoh perbandingan *pe chart* dengan grafik lain.



Gambar 2.23 Perbandingan *pie chart* dengan grafik lain (*bar chart*) (Dougherty dan Ilyankou, 2021)

iv *Line chart*

Line chart merupakan grafik yang digunakan untuk menampilkan perubahan data dari waktu ke waktu atau berdasarkan urutan tertentu. Grafik ini ditampilkan dalam bentuk titik-titik data yang kemudian dihubungkan dengan garis, sehingga pola atau tren data dapat terlihat dengan jelas. Oleh karena itu, line chart sering digunakan untuk melihat kenaikan, penurunan, atau kestabilan suatu data dalam periode tertentu (Dougherty dan Ilyankou, 2021)



Gambar 2.24 Contoh *line chart*

2.2.5 Statistika inferensial

Berikut ini merupakan dasar teori yang digunakan dalam penerapan mata kuliah ini.

a Uji statistik

Uji statistik merupakan bagian dari statistika inferensial yang digunakan untuk menarik kesimpulan dari data sampel terhadap suatu populasi. Proses ini biasanya diawali dengan penyusunan hipotesis, yaitu hipotesis nol (H0) dan hipotesis alternatif (H1), kemudian diuji menggunakan data yang ada. Hasil uji statistik membantu menentukan apakah suatu perbedaan bersifat signifikan atau hanya terjadi secara kebetulan. Penentuan ini dilakukan dengan membandingkan nilai probabilitas (p-*value*) dengan tingkat signifikansi yang telah ditetapkan, misalnya 0,05. Jika nilai p lebih kecil dari tingkat signifikansi, maka hasil perancangan dapat dianggap memiliki makna secara statistik.

Uji statistik terbagi menjadi dua jenis, yaitu uji parametrik dan nonparametrik. Uji parametrik digunakan jika data memenuhi asumsi tertentu, seperti distribusi normal dan varians yang homogen, sedangkan uji nonparametrik digunakan jika asumsi tersebut tidak terpenuhi. Beberapa uji statistika yang sering digunakan antara lain uji t, uji f, dan ANOVA.

i Uji t (t-*test*)

Uji t (t-*test*) digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara dua kelompok atau antara sampel dengan nilai tertentu. Uji ini termasuk dalam uji parametrik dan biasanya digunakan pada data berskala interval atau rasio yang berdistribusi normal. Beberapa jenis uji t yang umum digunakan yaitu *one sample t-test*, *independent sample t-test,* dan *paired sample t-test*, yang masing-masing disesuaikan dengan kondisi data.

ii Uji f (f-*test*)

Uji f (f-*test*) digunakan untuk membandingkan varians antar kelompok serta menguji perbedaan lebih dari dua kelompok dalam analisis varians (ANOVA). Jika nilai signifikansi yang diperoleh lebih kecil dari tingkat yang telah ditentukan, misalnya 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang bermakna antar kelompok yang diuji.

b Uji kecukupan

Uji kecukupan data digunakan untuk mengetahui apakah jumlah data yang dikumpulkan sudah cukup untuk mewakili kondisi sebenarnya atau belum. Jika data belum cukup, maka perlu dilakukan penambahan data agar hasil analisis menjadi lebih akurat dan

dapat dipercaya. Uji ini umumnya digunakan dalam studi kerja, seperti pengukuran waktu kerja atau pengamatan *output* operator.

Secara umum, uji kecukupan data dilakukan dengan membandingkan jumlah data yang telah dikumpulkan (N) dengan jumlah data minimum yang dibutuhkan (N'). Apabila N ≥ N', maka data dianggap cukup. Sebaliknya, jika N < N', maka data perlu ditambah. Uji kecukupan data dipengaruhi oleh dua hal utama, yaitu ketelitian dan tingkat kepercayaan (Sutalaksana, 2006).

Tingkat ketelitian menunjukkan seberapa besar batas kesalahan yang masih bisa diterima dari hasil perhitungan dibandingkan dengan kondisi sebenarnya. Semakin kecil batas kesalahan yang diinginkan, maka data yang dibutuhkan juga semakin banyak agar hasilnya lebih mendekati kondisi nyata. Sementara itu, tingkat kepercayaan menunjukkan seberapa yakin data yang diambil sudah mewakili kondisi sebenarnya. Jika tingkat kepercayaan yang digunakan tinggi, maka jumlah data yang dibutuhkan juga akan semakin banyak. Persamaan yang digunakan dalam uji kecukupan data adalah sebagai berikut.

$$N' = \left[\frac{k/s \sqrt{N(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2}}{\sum x} \right]^2 \quad (2.7)$$

Keterangan:
N': jumlah data yang dibutuhkan (hitungan)
N: jumlah data yang didapatkan
K: tingkat keyakinan
s: tingkat ketelitian
Xi: Data ke-i

c Minitab

Minitab adalah *software* statistik yang dirancang untuk membantu pengguna dalam mengolah data secara cepat dan akurat tanpa harus melakukan perhitungan manual. Ryan et al. (2012) menjelaskan bahwa Minitab menyediakan berbagai alat analisis statistik yang dapat digunakan baik oleh pemula maupun pengguna tingkat lanjut, sehingga sangat membantu dalam penyederhanaan proses analisis data. Fitur-fitur seperti pengolahan data, uji statistik, dan pembuatan grafik sudah tersedia dalam bentuk menu yang mudah diakses, sehingga pengguna dapat melakukan proses analisis hanya dengan beberapa langkah sederhana. Minitab digunakan sebagai *software* untuk melakukan uji statistik pada perancangan ini.

2.2.3 Perancangan sistem *preventive maintenance*

Perancangan solusi yang telah dipilih menggunakan sejumlah teori yang diuraikan pada bagian ini, yang merujuk pada mata kuliah *Maintenance System* (STIN65602) secara keseluruhan mulai dari deskripsi sistem, alur sistem hingga hasil perancangan. Pengantar Probabilitas (STIN13203) dalam analisis keandalan khususnya pada perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF), laju kerusakan serta penentuan interval *maintenance*. Pada penerapan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko kegagalan komponen merujuk pada mata kuliah Pengendalian Kualitas (STIN48603). Pada bagian mengkaji dampak *downtime* atau kegagalan mesin terhadap proses produksi merujuk pada mata kuliah Sistem Produksi (STIN24302), kemudian pada penyusunan jadwal *preventive maintenance* akan merujuk pada mata kuliah SIstem Perencanaan dan Pengendalian Produksi (STIN36502) agar jadwal selaras dengan aktivitas produksi.

a *Maintenance*

Maintenance merupakan proses dalam menjaga, memulihkan dan meningkatkan keandalan suatu aset agar tetap berfungsi sesuai standar operasional yang direncanakan. Mobley (2020) menjelaskan bahwa *maintenance* tidak hanya berfokus pada perbaikan kerusakan, tetapi juga mencakup pengelolaan sistem pemeliharaan untuk menjaga keberlangsungan produksi dan memperpanjang umur pakai peralatan. *Maintenance* memiliki peranan penting dalam mendukung efektivitas operasional karena berkaitan langsung dengan tingkat keandalan dan ketersediaan mesin. Aktivitas *maintenance* yang direncanakan dengan baik dapat membantu mengurangi *downtime*, meningkatkan efisiensi kerja dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya pemeliharaan. Jenis-jenis *maintenance* yaitu *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*.

i *Corrective maintenance*

Corrective maintenance merupakan tindakan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan pada mesin atau komponen. Menurut Ben-Daya et al. (2009), *corrective maintenance* dilakukan untuk mengembalikan fungsi mesin atau komponen agar dapat kembali beroperasi setelah mengalami kegagalan. Mobley (2020) menjelaskan bahwa *corrective maintenance* dilakukan sebagai respons atas terjadinya *breakdown* pada mesin. *Breakdown* merupakan kegagalan atau kerusakan mendadak yang menyebabkan mein berhenti beroperasi. Hal ini juga menyebabkan adanya *downtime*, yaitu waktu henti total mulai proses identifikasi kerusakan hingga mesin dinyatakan dapat kembali beroperasi. *Breakdown* termasuk ke dalam bentuk dari *unscheduled maintenance* yang menyebabkan kerugian karena *downtime* yang panjang

dapat meningkatkan biaya perbaikan serta biaya operasional lain yang muncul selama mesin tidak berfungsi.

ii *Preventive maintenance*

Preventive maintenance merupakan aktivitas pemeliharaan yang dilakukan secara terencana sebelum terjadinya kerusakan pada mesin atau komponen. Palmer (2019) menjelaskan bahwa *preventive maintenance* dilakukan berdasarkan interval waktu maupun jam operasi tertentu untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan selama proses produksi. Tujuan utama *preventive maintenance* ialah menjaga keandalan mesin dan memperpanjang umur pakai mesin melalui tindakan pencegahan dalam interval waktu tertentu (Mobley, 2020). *Preventive maintenance* juga membantu mencegah kerusakan mendadak, mengurangi *downtime*, mengurangi biaya perbaikan besar dan memastikan keselamatan operator.

Preventive maintenance merupakan aktivitas pemeliharaan yang dilakukan secara terencana sebelum terjadinya kerusakan pada mesin atau komponen. Palmer (2019) menjelaskan bahwa *preventive maintenance* dilakukan berdasarkan interval waktu maupun jam operasi tertentu untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan selama proses produksi. Tujuan utama *preventive maintenance* ialah menjaga keandalan mesin dan memperpanjang umur pakai mesin melalui tindakan pencegahan dalam interval waktu tertentu (Mobley, 2020). *Preventive maintenance* juga membantu mencegah kerusakan mendadak, mengurangi *downtime*, mengurangi biaya perbaikan besar dan memastikan keselamatan operator.

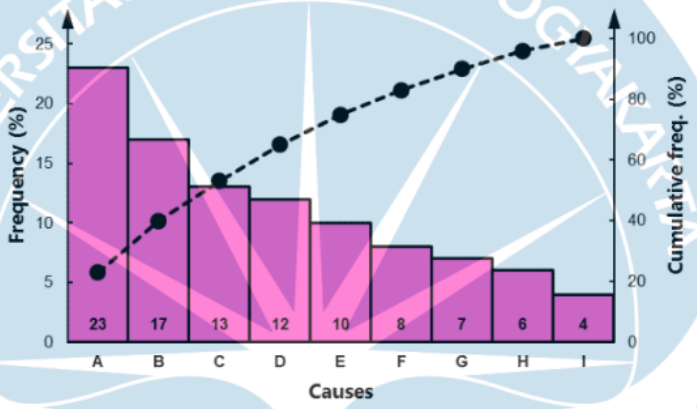
b *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan metode pemeliharaan yang berfokus pada upaya menjaga fungsi sistem melalui identifikasi kegagalan dan penentuan tindakan *maintenance* yang sesuai. Ben-Daya et al. (2009) menyatakan bahwa RCM bertujuan untuk meningkatkan strategi *maintenance* yang paling efektif. Penentuan tindakan *maintenance* dilakukan dengan menganalisis konsekuensi kegagalan sehingga dapat disesuaikan dengan tingkat risiko yang ditimbulkan. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan metode pemeliharaan yang berfokus pada upaya menjaga fungsi sistem melalui identifikasi kegagalan dan penentuan tindakan *maintenance* yang sesuai. Ben-Daya et al. (2009) menyatakan bahwa RCM bertujuan untuk meningkatkan strategi *maintenance* yang paling efektif. Penentuan tindakan *maintenance* dilakukan dengan menganalisis konsekuensi kegagalan sehingga dapat disesuaikan dengan tingkat risiko yang ditimbulkan. RCM dapat membantu dalam meningkatkan efektivitas *maintenance* karena tindakan pemeliharaan dilakukan berdasarkan kondisi dan tingkat kritis komponen (Mobley,

2020). Tahapan dalam metode RCM meliputi identifikasi sistem dan komponen, penentuan prioritas sistem, analisis fungsi sistem, identifikasi *functional failure*, mendefinisikan *failure mode* dan *effect failure* hingga penentuan tindakan *maintenance*.

c Diagram pareto

Diagram pareto merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan prioritas permasalahan berdasarkan ketidaksesuaian suatu sistem (Allen, 2019). Menurut Heizer et al. (2020), diagram ini digunakan untuk membantu proses pengambilan keputusan dengan menunjukkan faktor-faktor yang paling dominan terhadap suatu permasalahan. Konsep pareto menggunakan prinsip 80:20 dalam melakukan pengelompokkan pada data yang sudaj dikumpulkan untuk dapat diketahui.



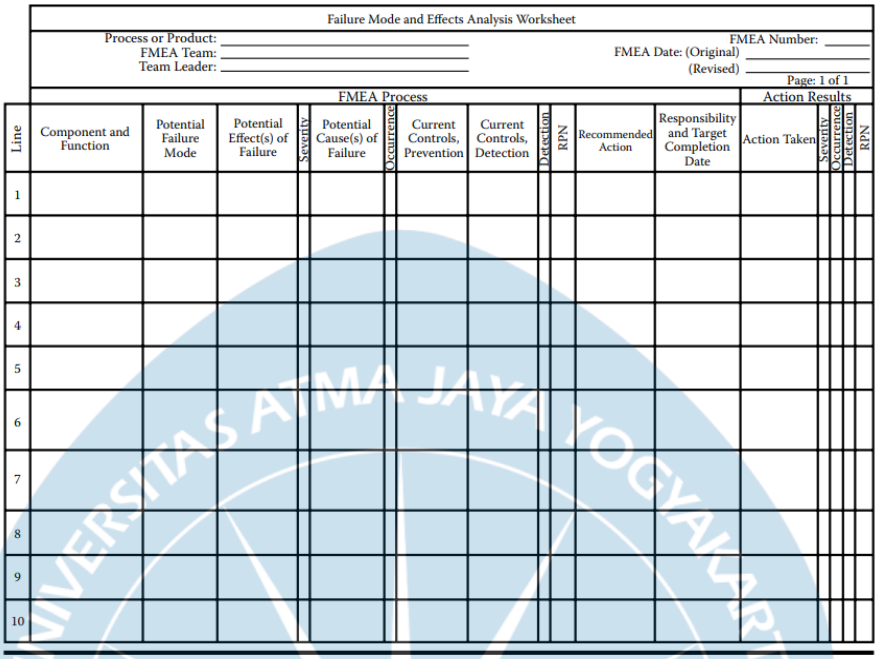
Gambar 2.25 Diagram pareto (Rosyidi, 2021)

d *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan kegagalan, penyebab kegagalan serta dampak yang ditimbulkan terhadap sistem. Metode analisis ini dapat membantu dalam penentuan tindakan perbaikan maupun pencegahan terhadap potensi kegagalan. Pada FMEA digunakan tiga parameter yaitu *severity*, *occurrence* dan *detection* (McDermott et al., 2017). *Severity* digunakan untuk menunjukkan tingkat dampak kegagalan terhadap sistem, *occurrence* menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan dan *detection* menunjukkan kemampuan mendeteksi kegagalan sebelum terjadi dampak yang lebih besar. Mobley (2020) juga menjelaskan bahwa ketiga parameter tersebut digunakan untuk menentukan tingkat prioritas risiko kegagalan pada suatu komponen atau *Risk Priority Number* (RPN). Di bawah ini merupakan rumus perhitungan untuk RPN.

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.8)$$

Di bawah ini merupakan contoh tabel FMEA menurut McDermott et al. (2017)dalam buku yang berjudul *The Basic of FMEA*.



Failure Mode and Effects Analysis Worksheet

Process or Product: _____ FMEA Number: _____
FMEA Team: _____ FMEA Date: (Original) _____
Team Leader: _____ (Revised) _____
Page: 1 of 1

FMEA Process											Action Results				
Line	Component and Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Controls, Prevention	Current Controls, Detection	Detection	RPN	Recommended Action	Responsibility and Target Completion Date	Action Taken	Severity	Occurrence	Detection	RPN
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

Gambar 2.26 Contoh tabel FMEA ***(McDermott et al., 2017)***

e Konsep keandalan

Keandalan (*reliability*) merupakan fondasi utama analisis dalam *preventive maintenance* yang berfungsi untuk mengukur kemampuan suatu komponen atau sistem dalam menjalankan fungsinya sesuai standar, selama periode waktu tertentu di bawah kondisi operasional yang telah ditetapkan. O'Connor dan Kleyner (2012) menjelaskan keandalan sebagai probabilitas suatu item untuk menjalankan fungsi di bawah kondisi yang telah ditetapkan selama interval waktu tertentu. Keandalan tidak hanya berhubungan dengan kegagalan produk secara fisik, tetapi juga mencakup aspek desain, manufaktur, penggunaan, serta pemeliharaan yang membentuk suatu sistem (Ebeling, 2019). Fungsi keandalan R(t) secara sistematis dinyatakan sebagai probabilitas bahwa suatu sistem tindak mengalami kegagalan hingga waktu t, yang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$R(t) = P(T > t) \qquad 2.9$$

dengan:

R(t) = fungsi keandalan pada waktu t

T = variabel acak yang menyatakan waktu hingga kegagalan

t = waktu operasi

Di bawah ini merupakan penjelasan mengenai laju kerusakan, distribusi statistik analisis keandalan, *Mean Time To Failure* (MTTF), *Mean Time To Repair* (MTTR), *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan *availability*.

i Laju kerusakan

Laju kerusakan λ(t) atau *hazard rate* merupakan parameter penting yang menggambarkan kecepatan atau intensitas terjadinya kegagalan pada suatu komponen tersebut masih beroperasi hingga waktu t. Ebeling (2019), menjelaskan bahwa laju kerusakan adalah tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan pada suatu sistem dalam interval waktu yang sangat kecil, selama sistem masih beroperasi hingga sebelum interval tersebut dimulai. O'Connor dan Kleyner (2012) menambahkan bahwa laju kerusakan merupakan dasar dalam memahami karakteristik penuaan suatu komponen. Secara matematis, laju kerusakan dinyatakan sebagai.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad 2.9$$

dengan:

$\lambda(t)$ = laju kerusakan pada waktu t

$f(t)$ = fungsi kepadatan probabilitas kegagalan

$R(t)$ = fungsi keandalan pada waktu t

ii Distribusi eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi paling sederhana dan paling banyak digunakan dalam analisis keandalan, terutama untuk memodelkan komponen atau sistem yang memiliki laju kerusakan konstan sepanjang masa pakainya. Distribusi ini mengasumsikan bahwa komponen tidak mengalami proses penuaan (*memoryless property*), artinya probabilitas kegagalan di masa depan tidak bergantung pada seberapa lama komponen telah beroperasi sebelumnya (O'Connor & Kleyner, 2012). Ebeling (2019) menjelaskan bahwa sifat *memoryless* ini menjadikan distribusi eksponensial cocok diaplikasikan pada komponen elektronik dan komponen yang beroperasi dalam fase *useful life*, yakni kegagalan terjadi secara acak dan tidak dipengaruhi oleh akumulasi keausan. Di bawah ini merupakan model matematis distribusi eksponensial.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},\ t \geq 0 \qquad 2.10$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \qquad 2.11$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \qquad 2.12$$

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} = MTTF \qquad 2.13$$

dengan:

λ = laju kerusakan

t = waktu operasi

MTTF = Mean Time To Failure

iii Distribusi weibull

Distribusi weibull merupakan distribusi yang paling fleksibel dan paling luas penggunaanya dalam rekayasa keandalan karena kemampuannya untuk memodelkan berbagai pola laju kerusakan baik yang menurun, konstan maupun meningkat, hanya dengan mengubah nilai parameter bentuknya. O'Connor dan Kleyner (2012) menjelaskan bahwa distribusi ini pertama kali diperkenalkan oleh Waloddi Weibull pada tahun 1951 dan sejak saat itu menjadi alat analisis keandalan yang dominan dalam berbagai industri. Parameter bentuk β pada distribusi weibull merupakan indikator langsung dari fase kehidupan komponen dengan nilai $\beta < 1$ menunjukkan fase *infant mortality*, $\beta = 1$ menunjukkan fase *wear out* dengan laju kerusakan yang meningkat seiring waktu (Ebeling,2019). Distribusi Weibull digunakan ketika terdapat indikasi bahwa laju kerusakan tidak konstan (berubah terhadap waktu), data historis kegagalan komponen mekanis tersedia untuk estimasi parameter, komponen menunjukkan perilaku *wear out* (keausan, korosi) serta analisis membutuhkan fleksibilitas dalam pemodelan tanpa mengetahui pola kegagalan sebelumnya. Di bawah ini merupakan model matematis distribusi weibull.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right],\ t \geq 0 \qquad 2.14$$

$$R(t) = exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right] \qquad 2.15$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \qquad 2.16$$

$$E(T) = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \qquad 2.17$$

dengan:

β = parameter bentuk

η = parameter skala

Γ = fungsi gamma

t = waktu operasi

iv Distribusi normal

Distribusi normal dalam konteks analisis keandalan digunakan untuk memodelkan kegagalan komponen yang disebabkan oleh akumulasi tekanan, seperti keausan mekanis bertahap dan kelelahan material. O'Connor dan Kleyner (2012) menjelaskan bahwa distribusi normal memiliki laju kerusakan yang selalu meningkat terhadap waktu, sehingga distribusi ini hanya sesuai untuk memodelkan komponen pada fase *wear out*.

Walaupun distribusi ini jarang digunakan sebagai model keandalan utama dibandingkan distribusi weibull, distribusi ini sangat relevan dalam analisis kekuatan material, toleransi dimensi komponen dan pemodelan umur kelelahan, yakni variasi kegagalan mengikuti pola simetris di sekitar nilai rata-rata (Ebeling,2019). Distribusi normal sesuai digunakan ketika kegagalan diakibatkan oleh proses *wear out* yang bersifat gradual dan simetris, data umur komponen menunjukkan distribusi yang mendekati simetris dan terdapat kombinasi banyak faktor independen kecil yang berkontribusi terhadap kegagalan. Distribusi ini tidak sesuai untuk memodelkan kegagalan acak (*random failure*) karena bernilai negatif pada domain $t > 0$ secara teoritis. Di bawah ini merupakan model matematis distribusi normal

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right], -\infty < t < \infty \quad (2.18)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{\sigma}\right) \quad (2.19)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)}{\sigma \cdot \Phi\left(\frac{\mu-t}{\sigma}\right)} \quad (2.20)$$

dengan:

μ = rata-rata umur komponen

σ = simpangan baku

$\Phi(\cdot)$ = fungsi distribusi kumulatif standar normal

$\phi(\cdot)$ = fungsi kepadatan probabilitas standar normal

v Distribusi lognormal

Distribusi lognormal merupakan distribusi yang variabel acaknya berdistribusi normal apabila diambil logaritmanya, dan distribusi ini umum ditemukan dalam pemodelan umur komponen yang mengalami kegagalan akibat pertumbuhan retak dan korosi. Distribusi ini sering digunakan dalam analisis keandalan komponen mekanis dan elektronik, terutama karena banyak mekanisme kegagalan di dunia nyata mengikuti pola pertumbuhan yang proporsional terhadap ukuran saat ini (O'Connor dan Kleyner, 2012). Lalu Ebeling (2019) menjelaskan bahwa distribusi lognormal memiliki fungsi laju kerusakan yang mula-mula meningkat hingga mencapai nilai puncak kemudian menurun kembali, sehingga memberikan gambaran yang berbeda dari distribusi weibull dan cocok untuk komponen dengan mekanisme kegagalan kompleks. Di bawah ini merupakan model matematis distribusi lognormal.

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{ln\, t - \mu l}{\sigma l}\right)^2\right], t > 0 \quad (2.21)$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{ln\, t - \mu l}{\sigma l}\right) \quad (2.22)$$

$$E(T) = \exp(\mu l + \frac{\sigma_l^2}{2}) \quad 2.23$$

dengan:

μl = nilai rata-rata dari $ln(t)$

σl = simpangan baku dari $ln(t)$

$\Phi(\cdot)$ = fungsi distribusi kumulatif standar normal

vi *Mean Time To Failure* (MTTF)

Mean Time To Failure merupakan parameter keandalan yang menunjukkan perkiraan rata-rata waktu operasi suatu komponen atau sistem hingga mengalami kegagalan pertama, khususnya pada komponen yang tidak dapat diperbaiki setelah mengalami kerusakan (Ebeling, 2019). Menurut O'Connor & Kleyner (2012), nilai ini bukan waktu pasti terjadinya kegagalan, tetapi ukuran rata-rata umur komponen yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar penentuan jadwal penggantian komponen. Di bawah ini merupakan model sistematis MTTF untuk masing-masing distribusi.

- Distribusi eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad 2.24$$

- Distribusi weibull

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma\,(1 + \frac{1}{\lambda}) \quad 2.25$$

- Distribusi normal

$$MTTF = \mu \quad 2.26$$

- Distribusi lognormal

$$MTTF = \exp(\mu l + \frac{\sigma_l^2}{2}) \quad 2.27$$

dengan:

λ = laju kerusakan konstan (distribusi eksponensial)

η,β = parameter skala dan bentuk distribusi Weibull

$\Gamma(\cdot)$ = fungsi Gamma

μ = rata-rata waktu kegagalan (distribusi normal)

$\mu l,\sigma l$ = parameter distribusi lognormal

vii *Mean Time To Repair* (MTTR)

Mean Time To Repair merupakan parameter *maintainability* yang menyatakan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki sistem hingga kembali beroperasi normal,

mulai dari deteksi kerusakan sampai pengujian setelah perbaikan. Menurut Ebeling (2019), MTTR menggambarkan tingkat kemudahan sistem untuk diperbaiki, yakni nilai MTTR yang rendah menunjukkan proses perbaikan yang lebih cepat dan berdampak pada peningkatan *availability* sistem. Waktu perbaikan umumnya mengikuti distribusi lognormal, sehingga analisis MTTR perlu mempertimbangkan distribusi data di lapangan (O'Connor dan Kleyner, 2012). Di bawah ini merupakan model sistematis MTTR.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{n} TTR_i}{n} \quad 2.28$$

dengan:

TTR_i = waktu perbaikan untuk kegagalan ke-i

n = jumlah kejadian kegagalan yang tercatat

viii *Mean Time Between Failure* (MTBF)

Mean Time Between Failure merupakan parameter keandalan yang menunjukkan rata-rata selang waktu antara kedua kejadian kegagalan berturut-turut pada sistem yang dapat diperbaiki. Berbeda dengan MTTF yang digunakan untuk komponen yang tidak dapat diperbaiki, MTBF menggambarkan pola kegagalan pada sistem yang kembali beroperasi setelah dilakukan perbaikan. O'Connor dan Kleyner (2012) menjelaskan bahwa MTBF mencakup waktu operasi sistem serta waktu yang diperlukan untuk perbaikan, sehingga mencerminkan satu siklus lengkap dari suatu kegagalan hingga terjadinya kegagalan berikutnya. Menurut Ebeling (2019), nilai MTBF yang tinggi menunjukkan sistem yang lebih andal dengan interval kegagalan yang lebih panjang, sehingga jadwal pemeliharaan dapat ditentukan secara lebih optimal. Di bawah ini merupakan model sistematis MTBF.

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad 2.29$$

$$MTBF = \frac{Total\ Waktu\ Operasi}{Jumlah\ Kegagalan} = \frac{\sum_{i=1}^{n} TTR_i}{n} \quad 2.30$$

dengan:

MTTF = Mean Time To Failure

MTTR = Mean Time To Repair

T_i = waktu operasi antara kegagalan ke-i dan kegagalan ke-i

n = jumlah kejadian kegagalan yang tercatat

ix *Availability*

Availability merupakan parameter yang mengukur tingkat kesiapan suatu sistem untuk beroperasi dalam periode tertentu, yang dipengaruhi oleh *reliability* dan *maintaibility*. Menurut Ebeling (2019), *availability* menunjukkan peluang suatu sistem berada dalam kondisi operasional sesuai kondisi penggunaan dan pemeliharaan yang ditentukan. O'Connor dan Kleyner (2012) menjelaskan bahwa *availability* memiliki peran penting

dalam industri karena secara langsung berkaitan dengan kapasitas produktif mesin atau sistem. Di bawah ini merupakan model sistematis MTBF.

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \tag{2.31}$$

f Penentuan tindakan *maintenance*

Penentuan jenis tindakan *preventive maintenance* merupakan salah satu tahap dari metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Pada tahap ini perlu dilakukan evaluasi konsekuensi kegagalan (*failure consequences*) untuk menentukan tindakan perawatan yang paling tepat dalam mencegah terjadinya kerusakan. Menurut Moubray (1997), konsekuensi kegagalan dibedakan menjadi empat kategori sebagai berikut.

i *Hidden failure consequences* adalah kegagalan yang tidak dapat diketahui pada kondisi operasi normal namun berpotensi menyebabkan kerusakan pada komponen lain.

ii *Safety and environmental consequences* adalah kegagalan yang dapat menimbulkan risiko keselamatan kerja, seperti cedera hingga membahayakan nyawa pekerja. Selain itu kegagalan juga dapat berdampak pada lingkungan apabila melanggar standar lingkungan perusahaan maupun peraturan regional dan nasional.

iii *Operational consequences* adalah kegagalan yang memengaruhi proses operasi atau produksi, seperti penurunan *output*, kualitas produk, pelayanan konsumen serta meningkatnya biaya perbaikan.

iv *Non-operational consequences* adalah kegagalan yang tidak berdampak pada aspek keselamatan, lingkungan maupun proses produksi, sehingga konsekuensi yang timbul hanya berupa biaya perbaikan.

Tindakan untuk mengatasi kegagalan dalam metode RCM dibagi menjadi dua kategori, yaitu *proactive task* dan *default action*. *Proactive task* merupakan tindakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan dengan tujuan mencegah kegagalan pada mesin atau komponen. Menurut Moubray (1997), *proactive task* terdiri dari beberapa jenis sebagai berikut.

i *Scheduled restoration task* adalah tindakan perbaikan yang dilakukan secara terjadwal dan berkala tanpa mempertimbangkan kondisi komponen saat dilakukan perawatan, dengan tujuan mengembalikan mesin atau komponen ke kondisi awal.

ii *Scheduled discard task* adalah tindakan penggantian komponen dengan komponen baru pada interval waktu tertentu sebelum komponen mencapai batas usia pakainya, tanpa memperhatikan kondisi aktual komponen saat perawatan dilakukan.

iii *On condition maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan dengan mendeteksi potensi kerusakan sebelum kegagalan terjadi. Kegiatan ini umumnya dilakukan melalui pemantauan kondisi mesin atau komponen menggunakan alat inspeksi maupun pengamatan berdasarkan indra manusia.

Sementara itu, *default action* merupakan tindakan yang dilakukan ketika mesin atau komponen telah mengalami kerusakan. Tindakan ini dipilih apabila tidak ditemukan *proactive task* yang efektif. *Default action* terdiri dari beberapa jenis sebagai berikut.

i *Failure finding* adalah kegiatan inspeksi berkala untuk memastikan mesin atau komponen masih dapat berfungsi dengan baik. Pada tindakan dilakukan pengecekan terhadap respon mesin atau komponen.

ii *Redesign* adalah tindakan modifikasi atau perubahan pada sistem maupun komponennya. Tindakan ini dapat berupa perubahan spesifikasi komponen, penambahan komponen baru, hingga penggantian mesin dengan jenis yang berbeda. *Redesign* biasanya dilakukan apabila kegagalan memiliki dampak terhadap keselamatan dan lingkungan sehingga diperlukan perubahan pada komponen atau proses kerja yang digunakan.

iii *No scheduled maintenance* adalah keputusan untuk membiarkan mesin atau komponen tetap beroperasi hingga terjadinya kegagalan fungsional, kemudian dilakukan tindakan perbaikan. Keputusan ini diambil apabila tidak terdapat *proactive task* yang sesuai kerusakan tidak berdampak pada keselamatan maupun lingkungan, serta biaya tindakan pencegahan lebih besar dibandingkan biaya perbaikan setelah kerusakan terjadi.

Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) digunakan RCM II *decision worksheet* untuk menentukan jenis tindakan perawatan yang paling tepat dan efektif. Penentuan tindakan perawatan dilakukan melalui evaluasi terhadap konsekuensi kegagalan (*failure consequences*) serta pertimbangan jenis tindakan perawatan yang sesuai berdasarkan informasi kerusakan yang diperoleh dari RCM II *in*format*ion worksheet* (Moubray, 1997). Di bawah ini merupakan bentuk RCM II *decision worksheet*.

RCM II DECISION WORKSHEET															
Mesin :															
INFORMATION REFERENCE			CONSEQUENCE EVALUATION				H1	H2	H3	DEFAULT ACTION			PROPOSED TASK	INITIAL INTERVAL	CAN BE DONE BY
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)

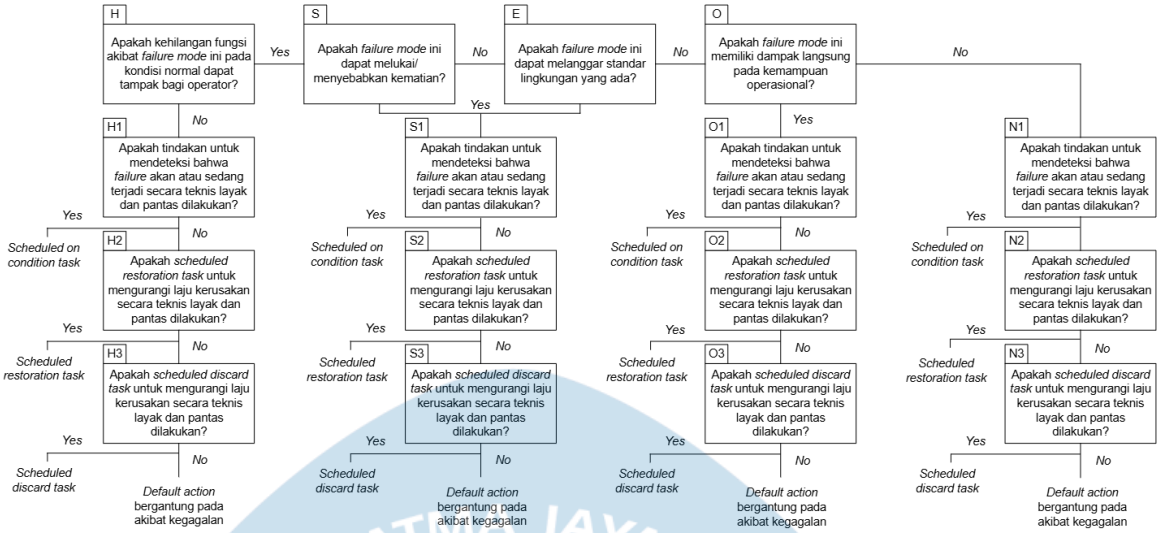
Gambar 2.27 RCM II *decision worksheet* (Moubray, 1997)

RCM II *decision worksheet* terdiri atas 16 kolom utama yang digunakan untuk menentukan tindakan perawatan berdasarkan hasil analisis kegagalan. Kolom 1, 2 dan 3 mengacu pada RCM II *information worksheet* yaitu *Function* (F), *Functional Failure* (FF) dan *Failure Mode* (FM). Ketiga informasi tersebut merupakan dasar identifikasi kerusakan yang selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan RCM II *decision worksheet*.

Pada kolom 4 hingga 7 berisi evaluasi terhadap konsekuensi kegagalan (*failure consequences*) dari setiap kerusakan yang dianalisis, meliputi *hidden failure consequences* (H), *safety consequences* (S), *environmental consequences* (E) dan *operational consequences* (O). Setiap kolom diisi dengan keterangan *Yes* (Y) atau *No* (N) sesuai dengan dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh masing-masing kerusakan.

Kolom 8 sampai 10 digunakan untuk menentukan *proactive task* sebagai tindakan perawatan yang sesuai terhadap kerusakan yang dianalisis. Kolom 8 (H1/S1/O1/N1) menunjukkan pilihan *on condition task*, kolom 9 (H2/S2/O2/N2) menunjukkan pilihan *scheduled restoration task*, sedangkan kolom 10 (H3/S3/O3/N3) menunjukkan pilihan *scheduled discard task*. Selanjutnya, kolom 11 hingga 13 digunakan untuk menentukan *default action* apabila *proactive task* dinilai tidak efektif diterapkan. Kolom 11 (H4) digunakan untuk pilihan *failure finding task*, kolom 12 (H5) untuk pilihan *redesign* dan kolom 13 (S4) untuk pilihan *combination task*.

Tindakan perawatan terpilih beserta uraian aktivitas perawatan yang akan dilakukan diuraikan pada kolom 14. Lalu pada kolom 15 berisi interval pelaksanaan perawatan, sedangkan kolom 16 menjelaskan pihak yang bertanggung jawab dalam pelaksanaan aktivitas perawatan. Kerangka kerja yang digunakan dalam menentukan tindakan perawatan adalah RCM *decision diagram*. Di bawah ini merupakan gambar alur dari logika pengambilan keputusan metode RCM menggunakan RCM *decision diagram*.



Gambar 2.28 RCM II *decision diagram* (Moubray, 1997)

2.3 Standar dan Kode Etik

Standar dan kode etik menjadi acuan dalam perancangan sistem. Standar digunakan sebagai pedoman teknis agar proses perancangan berjalan konsisten, terukur, dan sesuai praktik yang diterima secara umum. Sementara itu, kode etik memberikan arahan tentang sikap profesional, tanggung jawab, serta nilai moral yang perlu dipatuhi selama pengumpulan data, analisis, hingga pengambilan keputusan.

2.3.1 Standar

Standar digunakan untuk memastikan bahwa setiap prosedur yang dilakukan mengikuti aturan yang jelas, sehingga hasil yang diperoleh konsisten dan dapat dipercaya. Dengan adanya standar, proses pengukuran, pengolahan data, hingga perancangan dapat dilakukan dengan cara yang seragam sehingga meminimalkan kesalahan dan memudahkan evaluasi. Berikut merupakan standar yang ditetapkan dalam merancang sistem.

a Perancangan sistem pengelolaan *order* dan *dashboard monitoring* produksi

Penilaian kondisi sistem pengelolaan *order* mengacu pada SNI ISO 9001:2015 Klausul 9.1.3 (*Analysis and Evaluation*) untuk mengevaluasi efektivitas proses yang berjalan berdasarkan data aktual. Pelaksanaan wawancara dilakukan sesuai Klausul 7.4 (*Communication*) agar proses pengumpulan data berlangsung terstruktur dan konsisten. Hasil wawancara didokumentasikan berdasarkan Klausul 7.5 (*Documented Inf*orma*tion*) sehingga data dapat ditelusuri dan digunakan sebagai dasar perancangan sistem. Pengujian sistem mengacu pada Klausul 9.1 (*Monitoring, Measurement, Analysis and Evaluation*) untuk memastikan kinerja sistem sesuai kebutuhan perusahaan. Evaluasi dan penyempurnaan sistem dilakukan berdasarkan Klausul 10 (*Improvement*),

khususnya Klausul 10.1 untuk identifikasi peluang peningkatan dan Klausul 10.2 untuk tindakan korektif terhadap ketidaksesuaian yang ditemukan.

Penentuan kriteria tampilan visual sistem pengelolaan *order* mengacu pada ISO/IEC 25010:2011. Klausul 3.1 (*Quality Model*) digunakan sebagai dasar penetapan kualitas tampilan sistem. Perancangan *dashboard* yang mendukung efektivitas, efisiensi, dan kenyamanan pengguna mengacu pada Klausul 3.2 (*Quality in Use Model*). Sementara itu, penetapan elemen visual seperti navigasi, keterbacaan informasi, konsistensi ikon, dan estetika antarmuka mengacu pada Klausul 3.3 (*Product Quality Model*), khususnya karakteristik *Usability* yang mencakup *Operability, Learnability*, dan *User Interface Aesthetics*. Penggunaan standar ini bertujuan memastikan tampilan sistem mudah digunakan, terstruktur, dan mendukung kegiatan *monitoring* produksi secara optimal.

ISO/IEC 27001:2022 digunakan sebagai acuan dalam penerapan keamanan pada sistem berbasis web yang dirancang. Secara konkret, Annex A.5.15 (*Access Control*) diterapkan melalui pembagian hak akses berdasarkan peran pengguna, yaitu admin dan operator produksi, sehingga setiap pengguna hanya dapat mengakses fitur sesuai kewenangannya. Annex A.8.25 (*Secure Development Life Cycle*) dijadikan rujukan dalam proses pengembangan sistem agar aspek keamanan dipertimbangkan sejak tahap perancangan. Annex A.8.29 (*Security Testing in Development and Acceptance*) digunakan saat pengujian sistem untuk memverifikasi bahwa fitur login, pengelolaan data *order*, dan akses *dashboard* berjalan aman sesuai kebutuhan.

b Perancangan sistem penugasan operator dan *skill monitoring*

Perancangan sistem mengacu pada beberapa standar dan peraturan yang relevan sebagai referensi dalam pengembangan sistem. ISO 9001:2015 digunakan sebagai acuan dalam penyusunan proses pengelolaan dan dokumentasi data, sedangkan ISO 25010 digunakan sebagai acuan dalam pengembangan dan pengujian sistem dengan mempertimbangkan aspek *functionality, usability*, dan *reliability*. Selain itu, ISO 45001:2018 digunakan sebagai referensi dalam penyusunan fitur penugasan operator yang mempertimbangkan kemampuan operator dan kondisi kerja di area produksi.

Selain standar, perancangan sistem juga memperhatikan peraturan yang berlaku terkait perlindungan data dan ketenagakerjaan. Pengelolaan data operator mengacu pada UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi dan UU No. 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik. Sementara itu, proses penugasan operator memperhatikan UU No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yang mengatur penempatan tenaga kerja sesuai dengan kemampuan dan kompetensi yang dimiliki.

Standar dan peraturan tersebut digunakan sebagai referensi dalam perancangan sistem dan tidak digunakan sebagai dasar audit atau *assessment formal*.

c Perancangan sistem *preventive maintenance*

Proses pengumpulan data dan informasi dari perusahaan menggunakan ISO 9001:2015 klausul 4.1 dan 4.2 untuk memahami situasi internal dan eksternal perusahaan, serta kebutuhan dan harapan pihak-pihak yang berkepentingan seperti penanggung jawab produksi dan operator. Selanjutnya ISO 9001:2015 klausul 6.1 digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi risiko yang berpotensi mengganggu performa mesin. Pada ISO 9001:2015 klausul 7.5 digunakan dalam penyusunan dokumentasi sistem, untuk memastikan seluruh dokumen dan pencatatan perawatan dikelola, diperbarui dan dikendalikan dengan baik.

Perancangan dan pengelolaan aset mesin dalam perancangan ini mengacu pada SNI ISO 55001:2024 untuk mendukung pengambilan keputusan terkait prioritas dan pengelolaan mesin. Pada aspek keselamatan kerja, setiap aktivitas *maintenance* mengacu pada ISO 45001:2018 untuk memastikan seluruh kegiatan perawatan mesin dilaksanakan dengan mempertimbangkan risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Selain itu, pengelolaan data akan menggunakan ISO 27001:2022 untuk menjamin keamanan data mesin serta aktivitas *maintenance* dari potensi risiko keamanan informasi. Penerapan standar ini digunakan karena sistem yang dirancang akan melibatkan pencatatan data operasional dan perawatan mesin yang bersifat internal, sehingga kerahasiaan data perlu dijaga dengan baik.

2.3.2 Kode etik

Kode etik berfungsi sebagai panduan sikap agar setiap langkah yang dilakukan mulai dari pengumpulan informasi, observasi, hingga pengambilan keputusan tetap dilakukan secara jujur, objektif, dan bertanggung jawab. Penerapan kode etik penting agar proses perancangan tidak hanya benar secara teknis, tetapi juga menjaga integritas dan kepercayaan semua pihak yang terlibat. Berikut merupakan kode etik yang menjadi acuan dalam merancang sistem.

a Perancangan sistem pengelolaan *order* dan *dashboard monitoring* produksi

Proses pengumpulan data melalui wawancara dan observasi mengacu pada UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi. Pasal 20 digunakan sebagai dasar bahwa pengumpulan dan pemrosesan data dilakukan untuk tujuan yang jelas sesuai kebutuhan pengembangan sistem. Selain itu, Pasal 65 Ayat (1) digunakan untuk memastikan data yang diperoleh tidak digunakan di luar tujuan perancangan sistem maupun dimanfaatkan secara melawan hukum yang dapat merugikan *stakeholder*.

Pengelolaan informasi pribadi juga mengikuti UU No. 19 tahun 2016 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik, khususnya pada pasal 26 ayat (1) yang menyatakan bahwa penggunaan informasi elektronik yang berkaitan dengan data pribadi harus dilakukan atas persetujuan pihak yang bersangkutan. Pasal ini digunakan dalam perolehan data perancangan sebagai dasar etika penggunaan data serta informasi yang diberikan oleh Pengelolaan data digital dalam sistem mengacu pada PP No. 71 Tahun 2019 tentang Penyelenggaraan Sistem dan Transaksi Elektronik. Pasal 8 digunakan sebagai dasar bahwa perangkat lunak yang dirancang harus memiliki keamanan, keandalan operasional, dan mampu menjamin keberlanjutan layanan sistem. Selain itu, pada perancangan juga digunakan Pasal 9 tentang kewajiban perancang untuk menyerahkan, menyimpan, dan menjaga kerahasiaan kode sumber.

b Perancangan sistem penugasan operator dan *skill monitoring*

Penerapan kode etik dalam sistem penugasan operator didasarkan pada prinsip kerahasiaan data, tanggung jawab, dan keadilan dalam pengambilan keputusan. Pada proses pengumpulan data operator, sistem mengacu pada UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi dan UU No. 11 Tahun 2008 Pasal 26 terkait penggunaan data pribadi. Implementasi dari ketentuan tersebut dilakukan dengan membatasi penggunaan data operator hanya untuk kebutuhan sistem, seperti penyimpanan data *skill* operator, riwayat penugasan, dan proses pengambilan keputusan penugasan. Selain itu, data yang diperoleh melalui wawancara dan observasi digunakan sesuai tujuan pengembangan sistem dan tidak disebarluaskan kepada pihak yang tidak berkepentingan.

Pada tahap implementasi sistem, proses penugasan operator juga mengacu pada UU No. 13 Tahun 2003 Pasal 35 mengenai penempatan tenaga kerja sesuai kemampuan dan kompetensi. Penerapannya diwujudkan melalui fitur pemetaan dan *monitoring skill* operator yang digunakan sebagai dasar dalam menghasilkan rekomendasi penugasan operator pada setiap mesin. Selain itu, penggunaan sistem elektronik dalam pengolahan data mengacu pada UU No. 11 Tahun 2008 Pasal 15 dan 16 mengenai keandalan sistem elektronik. Implementasi ketentuan tersebut dilakukan melalui penyimpanan data operator dan data penugasan secara terstruktur dalam sistem sehingga informasi dapat dikelola dengan lebih akurat dan mendukung proses pengambilan keputusan oleh penanggung jawab produksi.

c Perancangan sistem *preventive maintenance*

Pengelolaan dan penggunaan data dalam perancangan ini berpedoman pada Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2022 tentang perlindungan data pribadi, yang mengatur bahwa setiap data pribadi yang dikumpulkan, diolah dan digunakan harus dilindungi.

Berdasarkan hal tersebut, data yang digunakan dalam perancangan sistem ini seperti informasi mesin, hasil observasi dan hasil wawancara dikelola secara bertanggung jawab dan hanya digunakan untuk kepentingan perancangan sistem.

Pada aspek keselamatan tenaga kerja, digunakan UU Nomor 13 Tahun 2003 Pasal 86 tentang ketenagakerjaan yakni menjamin keselamatan pekerja untuk mewujudkan produktivitas kerja yang optimal. Seluruh rekomendasi kegiatan *maintenance* dalam perancangan sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan potensi bahaya yang dapat timbul dari aktivitas yang melibatkan mesin produksi, seperti risiko dari komponen bergerak dan bahaya kelistrikan, sehingga prosedur perawatan yang diusulkan tetap aman untuk diterapkan di lingkungan kerja perusahaan.